

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE ET VÉGÉTALE

N°...../SNV/2014

MÉMOIRE

Présenté par

HAMZA Nabila

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER EN BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

Option: VALORISATION DES RESSOURCES VÉGÉTALES

THÈME

**Application des mycorhizes arbusculaires en culture
maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*)**

Soutenue publiquement le/...../2014

DEVANT LE JURY

Président	Pr. FENNI Mohammed	Pr UFA Sétif 1
Directeur	Pr HAFSI Miloud	Pr UFA Sétif 1
Examineurs	Pr BENMOHAMMED Omor	Pr UFA Sétif 1
	Pr HARZALLAH Daoued	Pr UFA Sétif 1



Remerciements



Gloire à « ALLAH » le tout puissant et le miséricordieux, qui a exaucé mon rêve et m'a donné force et patience d'accomplir ce modeste travail.

Mes remerciements les plus sincères accompagnés de mon profond respect vont à mon Directeur Mr le Pr HAFSI Miloud pour m'avoir dirigée et encouragée tout au long de ce travail, je le remercie pour sa disponibilité, son aide précieuse, son écoute ses conseils avisés et pour la confiance qu'il a bien voulu m'accorder et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Les mots ne suffisent pas à exprimer ma profonde gratitude à l'égard de ma sœur Dr MEDDAD HAMZA Amel, du département de biologie université de Badji Mokhtar Annaba, qui m'a inspiré, orienté et fait découvrir le monde très intéressant des mycorhizes, qui m'a apporté toutes ses connaissances, son aide précieuse et son soutien sans les quels ce travail n'aurai jamais abouti, je n'oublierai jamais sa disponibilité, son professionnalisme et surtout son infini dévouement.

J'adresse mes vifs remerciements également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions. A Monsieur le Pr FENNI Mohamed, pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury, à Monsieur le Pr BENMOHAMMED Omar et Mr le Pr HARZALLAH Daoued qui ont eu la courtoisie d'accepter d'examiner ce travail.

Je remercie aussi les responsables du laboratoire de biologie végétale et environnement, département de biologie université de Badji mokhtar Annaba, pour m'avoir permis de réaliser une partie de ce travail dans leur laboratoire.

Je remercie les responsables ainsi que tout le personnel de la pépinière de Mansouri commune de Ben Amar wilaya d'El Taref qui n'ont ménagé aucun effort pour m'aider dans la réalisation de ce travail.

Je remercie Mr MERZOULD Aissa agriculteur qui m'a accordé sa confiance, son aide et m'a permis de mener mon expérience sur ses parcelles.

Mes remerciements les plus sincères et les plus chaleureux vont à ma famille et mes amis qui m'ont encouragé, soutenu et ont cru en moi en toute circonstance.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Des expériences ont été menées pour évaluer le bénéfice potentiel de la mycorhization sur une culture maraichère : la pastèque (*Citrullus lanatus*) durant les saisons de 2012 et 2013. Des essais comparatifs en conditions contrôlés de serre sur le mode d'inoculation avec des spores de CMA indigènes, des CMA allogène de commerce et la microflore naturelle d'un sol cultivé de la pastèque ont été effectués.

Des applications d'inoculum mycorhizogène de commerce dans les conditions pratiques de plein champ ont été opérées sur deux sites. Le champ Ben Amar sans apport d'engrais de synthèses et le champ El Karma qui a été traité ou non à NPK, appliquées à des doses recommandées couramment utilisées par les agriculteurs (100% NPK) et à des doses réduites (50 %NPK). Les mesures relevées ont concernées des paramètres de croissance, rendement calibre et nombre de fruits.

Les résultats ont révélés qu'en conditions contrôlées, l'inoculum de commerce était significativement le plus efficace, de même que les espèces de champignons du genre *Glomus* se sont avérées bénéfiques, d'où l'intérêt de renforcer les populations naturelles mycorhizogènes présentes dans les sols agricoles par des apports supplémentaires de CMA pour palier à leur perte dû aux pratiques culturales. En plein champ l'inoculation a eu des effets bénéfiques sur la croissance des plants de pastèques et le rendement. L'apport supplémentaire de CMA Combiné à l'engrais chimique 50 % NPK des doses recommandées donne les meilleurs résultats en matière de gain de rendement. Toutefois, l'application des mycorhizes seules ne vont pas pouvoir rivaliser les engrais de synthèse en agriculture maraichère, mais pourraient diminuer leurs applications et ainsi améliorer le rendement tout en préservant l'environnement.

Mots clés : Mycorhizes, champignon mycorhizogène à arbuscule, *Citrullus lanatus*, bio-fertilisation, agriculture durable, réduction de fertilisation chimique.

ملخص

أجرينا تجارب لتقييم الفوائد المحتملة للميكورايزا (*Mycorrhiza*) على زراعة الخضروات: البطيخ الأحمر (*Citrullus lanatus*) خلال عام موسمي 2012 و 2013.

أجريت اختبارات المقارنة تحت ظروف خاضعة للتحكم للبيت البلاستيكي على طريقة التلقيح، التلقيح بأبواغ CMA محلية، تلقيح باستخدام فطريات CMA تجارية غير محلية والتلقيح بتربة حقل مزروع بالبطيخ الأحمر تحتوي على فطريات CMA محلية.

تم استخدام لقاح فطريات CMA التجارية في الظروف الميدانية العملية في موقعين مختلفين. حقل بن عمار من دون استخدام أسمدة كيماوية و حقل الكرمة الذي تم معالجته أم لا بالأسمدة الكيماوية NPK، باستعمال الكمية الاعتيادية المعتمدة من طرف الفلاحين بنسبة % 100 من NPK، و كمية مخفضة إلى % 50 من NPK. كانت القياسات المأخوذة متعلقة بمعلمات نمو النبات والإنتاج من حجم وعدد الثمار .

أظهرت النتائج المتحصل عليها أنه تحت الظروف الخاضعة للتحكم، لقاح الميكورايزا التجاري كان الأكثر فعالية و كذا أبواغ الفطريات المحلية من نوع *Glomus* التي كان لها تأثير مفيد، مما يبين أهمية دعم الفطريات المتواجدة طبيعيا في الحقول المزروعة بإسهامات إضافية لفطريات CMA لمقاومة تناقصهم بسبب مختلف الممارسة الزراعية. في الظروف العملية للحقل كان للتلقيح بالميكورايزا آثار مفيدة على نمو النبات وزيادة الإنتاج. الإسهام الإضافي لفطريات CMA مع دمجها مع الأسمدة الكيماوية NPK بنسبة % 50 من الكميات المعتمدة أعطى النتائج الأفضل من حيث إكتساب الزيادة في المحصول. إن إستعمال الميكورايزا وحده لا يمكن أن ينافس الأسمدة الكيماوية في زراعة الخضروات، لكن يمكن أن يؤدي إلى تخفيض الكمية المستعملة لتحسين المحصول و في نفس الوقت المحافظة على البيئة.

الكلمات المفتاحية: الميكورايزا، *champignon mycorrhizogène à arbuscule*، *Citrullus lanatus*، التسميد الحيوي، الزراعة المستدامة، تخفيض التسميد الكيماوي.

Abstract

Experiments were conducted to evaluate the potential benefit of mycorrhiza on market gardening: watermelon (*Citrullus lanatus*) during the seasons of 2012 and 2013.

Comparative tests in controlled conditions of greenhouse on the method of inoculation using AMF spores natives, allogeneic AMF of trade and the natural microflora of cultivated soil of watermelon were made.

Applications of commercial mycorrhizal inoculum in practical field conditions were made at two sites. Ben Amar field without fertilizer of synthesis and El Karma field that has been treated or not with NPK applied at recommended doses commonly used by farmers (100% NPK) and lower doses (50% NPK). The measurements taken are affected to growth parameters, yield, caliber and number of fruits.

The results revealed that in controlled conditions, the inoculum of trade was significantly more effective, as well as species of fungi of genus *Glomus* that had proved beneficial, hence the need to strengthen natural mycorrhizal populations present in agricultural soils by additional contributions of AMF to compensate their loss due to agricultural practices. In field, inoculation had beneficial effects on the plant growth and yield of watermelon. The addition of AMF combined with NPK chemical fertilizer at rate of 50% of the recommended doses gives the best results in terms of performance gain. However, the application of mycorrhizae alone will not be able to compete synthetic fertilizers in market gardening but may reduce their applications and improve efficiency while preserving the environment.

Keywords: Mycorrhizae, mycorrhizal fungi arbuscular, *Citrullus lanatus*, biofertilization, sustainable agriculture, reducing chemical fertilization.

SOMMAIRE

Introduction	1
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1. Généralité sur la pastèque	4
1.1 Description botanique et classification.....	4
1.2 Origine et domestication de la pastèque.....	5
1.3 Propriété de la pastèque.....	5
1.4 Cycle de développement	6
1.5 Production mondiale	6
2. Généralité sur les mycorhizes	7
2.1 Symbiose mycorhizienne	7
2.2 Les différents types de mycorhizes	7
2.2.1 Les ectomycorhizes	7
2.2.2 Les ectendomycorhizes.....	9
2.2.3 Les endomycorhizes	9
2.2.3.1 Les mycorhizes à arbuscule.....	9
2.3 Physiologie des mycorhizes	13
2.3.1 Absorption de l'eau et des éléments nutritifs	13
2.3.2 Activités hormonales.....	13
2.3.3 Agrégation des sols	14
2.3.4 Protection contre les organismes pathogènes.....	14
CHAPITRE 2 : MATÉRIELS ET MÉTHODES	16
1. Expérience en condition contrôlée	16
1.1 Présentation de la station d'étude.....	16
1.2 Matériels.....	16
1.2.1 Plants de pastèque	16
1.2.2 Spores de champignons mycorhiziens arbusculaires autochtones	17
1.2.3 Inoculum à base de champignons mycorhiziens allochtones	17
1.2.4 Substrat de culture.....	17
1.2.5 Eaux de lavage	17
1.3 Stratégie expérimentale	18
1.3.1 Dispositif expérimental et mise en place.....	18
1.3.1.1 Phase pépinière.....	18
1.3.1.2 Phase serre.....	20

1.3.2 Paramètres mesurés	21
1.3.3 Analyse statistique.....	22
2. Expériences en conditions plein champ	22
2.1 Présentation des stations d'étude.....	22
2.1.1 Station de Ben Amar	22
2.1.2 Station El Karma	22
2.2 Caractéristiques climatiques de la région d'étude.....	23
2.3. Matériel biologique végétal et fongique.....	23
2.4 Stratégie expérimentale	23
2.4.1 Dispositif expérimental	24
2.4.2 Paramètres mesurés	26
2.4.3 Analyses statistique	26
2.5 Prélèvement des échantillons de sols et de racines	26
2.6 Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne	26
2.6.1 Coloration des fragments de racines	26
2.7 Mise en évidence du potentiel mycorizogène des sols étudiés.....	28
2.7.1 Préparation du dispositif.....	28
2.7.2 Coloration et observation des systèmes racinaires	30
2.7.3 Calcul du pouvoir mycorhizogène	30
3. Evaluation de la biodiversité et de l'abondance des spores de CMA dans les champs cultivé en pastèque.....	30
3.1 Extraction des spores.....	30
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS	33
1. Communautés mycorhiziennes et abondance des spores CMA des champs de pastèque.....	33
2. Descriptions de quelques morphotypes CMA extraits des champs Ben Amar et Ben Azzouz.....	35
3. Evaluation de l'impact des champignons mycorhiziens arbusculaires autochtones et allochtones sur les plants de pastèque en condition contrôlée	38
4. Evaluation de l'application de mycorhizes à arbuscules sur la culture de pastèque en plein champ station Ben Amar.....	42
4.1 Potentiel mycorhizogène du sol	42
4.2 Croissance des plants de pastèque.....	42
4.3 Production et rendement.....	44
5. Fertilisation raisonnée interaction fertilisants et mycorhizes sur la culture de pastèque dans la station d'El Karma	45
5.1 Potentiel mycorhizogène	46
5.2 Colonisation mycorhizienne des plants de pastèque	46

5.3 Croissance des plants de pastèque.....	47
5.4 Production de fruits et rendement	48
Conclusion.....	53
Références Bibliographiques.....	56
ANNEXES	64

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Diverses parties de la plante de pastèque	04
Figure 2 : Principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de racine d'après Le Tacon 1985	07
Figure 3 : Structures caractéristiques des champignons mycorhiziens arbusculaires.	10
Figure 4 : Classification phylogénétique des champignons MA selon Schüßler et al, (2001).....	11
Figure 5 : Serre à l'université de Badji-Mokhtar Sidi Ammar, Annaba.....	14
Figure 6 : Schéma dispositif aléatoire complet de l'expérience en serre.....	17
Figure 7 : Préparation des plants de pastèque greffée	18
Figure 8 : Mise en place du dispositif de l'expérience en serre	19
Figure 9 : Localisation géographique des communes de Ben Amar et El Karma.....	20
Figure 10 : Inoculation des plants de pastèque pour les expériences en plain champ ...	21
Figure 11 : Dispositif expérimental en bloc aléatoire complet Ben Amar 2012.....	22
Figure 12 : Dispositif expérimental en bloc aléatoire complet El Karma 2013.....	23
Figure 13 : Schéma de coloration des échantillons racinaires	24
Figure 14 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire.....	25
Figure 15 : Echelle d'évaluation de la présence des arbuscules.....	26
Figure 16: Dispositif expérimental du test MPN	27
Figure 17: Diversité en champignons mycorhiziens à arbuscules.....	30

Figure 18 : Vue générale de <i>Glomus mosseae</i>	31
Figure 19 :Vue générale de <i>Glomus constrictum</i>	32
Figure 20 : Vue générale de <i>Glomus</i> sp1	33
Figure 21 : Parties aériennes et racinaires des plants inoculés avec les spores <i>Glomus mosseae</i> (Gm), <i>Glomus intraradices</i> (Gi) <i>Glomus constrictum</i> (Gc) et la combinaison des trois (Gi +Gm+Gc), symbivit (Sym) sol brut (SB) témoin stérile (TS) et témoin eau de lavage (TL).....	37
Figure 22 : Parties fraîches aériennes et racinaires des plants de pastèques inoculés et les témoins non inoculés	39
Figure 23 : Poids de la matière sèche de la partie aérienne et racine des plants de pastèque inoculés les témoins	39
Figure 24 : Fréquence et taux de mycorhization des racines de pastèque au différents traitements station EL Karma.....	43
Figure 25: Biomasse fraîche et sèche totale des plants inoculés et les témoins non inoculés dans les parcelles traitées station El Karma	44
Figure 26 : Gain de rendement par dose de NPK entre parcelles inoculés et témoins station El Karma.....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification botanique de la pastèque.....	03
Tableau 2 : Les cinq premiers producteurs de pastèque au monde en 2011.....	05
Tableau 3 : Diversité et abondance en spores dans les champs Ben Amar et Ben Azzouz cultivés en pastèque	29
Tableau 4 : Effet de l'inoculation avec un inoculum commercial Symbivit et avec un sol extrait d'un terrain cultivé de la pastèque sur la croissance	35
Tableau 6 : Nombre de fruit et rendement des parcelles traitées et les témoins non traités station Ben Amar.....	40
Tableau 7 : Poids et nombre de fruit par catégorie de poids station Ben Amar.....	41
Tableau 8 : Pouvoir mycorhizogène des parcelles d'El Karma	42
Tableau 9 : Nombre de fruits par traitement station El Karma	45
Tableau 10 : Poids des nombre de fruits par catégories de poids station El Karma.....	45

LISTE DES ANNEXES

Annexes 1 : Tableau de calcul de MPN du sol de Ben Amar	67
Annexe 2 : Tableau de calcul de MPN du sol d'El karma	67
Annexes 3 : Taux de fréquence et de mycorhization expérience de serre.....	67
Annexe 4 : Taux et fréquence de mycorhization expérience de Ben ammar	67
Annexe 5 : Taux et fréquence et de mycorhization expérience d'El karma.....	68
Annexe 6 : Poids sec des parties aériennes racinaires des plants de pastèque de l'expérience de Ben Amar.....	68
Annexe 7 : Rendement par bloc de l'expérience de Ben ammar	68
Annexe 8 : Poids frais et secs des parties aériennes et racinaires des plants de pastèque expérience d'El karma	69
Annexe 9 : Rendement et gain de rendement	69
Annexe 10 : Table d'ALEXENDER (1965) pour déterminer le nombre le plus probable de propagules de champignons mycorhizogène dans un sol	70
Annexe 11 : grilles d'évaluation de la colonisation.....	70

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CMA : champignon mycorhizien à arbuscule

Gm : *Glomus mosseae*

Gi : *Glomus intraradices*

Gc : *Glomus constrictum*

Symb : symbiote

Sb : sol brut non stérilisé

TL : témoin avec eaux de lavages

TS : témoin stérile

KOH : la potasse

F % : Fréquence de la colonisation mycorhizienne

M % : Intensité de la colonisation du cortex racinaire

m % : Intensité de la colonisation développée dans la partie mycorhizée du système racinaire

A % : Teneur arbusculaire de la colonisation ramené au système racinaire entier

a % : Teneur arbusculaire de la colonisation dans la partie mycorhizée du système racinaire

MPN : Most Probable Number

INTRODUCTION

Introduction

La pastèque appelée *Citrullus lanatus* ou *C. vulgaris* (Watermelon, ou "melon d'eau") représente l'une des plus importantes cultures maraichères de la famille des cucurbitacées, elle est très largement répandue de par le monde. Elle a d'abord été cultivée dans les pays chauds et secs, tropicaux et méditerranéens, pour ensuite être introduite dans les régions chaudes et humides (Pitrat et al, 1999).

Les données de la FAO (2006) indiquent que la production totale mondiale de pastèque a plus que quadruplé les 40 dernières années. En Algérie, ce fruit est largement cultivé sur les plaines du Nord, principalement au Nord-est où il est aussi dominant que la tomate industrielle compte tenu de son importance socio-économique et les revenus assez substantiels qu'il génère pour les producteurs. Ces dernières années, cette culture a commencé à se propager dans les régions Sud du pays en raison de la maturation précoce des fruits.

Ce fruit à chair fraîche, sucrée et très prisé en saison estivale possède de nombreuses propriétés anti oxydantes et hydratantes, composé de 90 % d'eau, il est utilisé dans certaines régions arides comme une source précieuse d'eau. Il contient aussi de petites quantités de protéines, lipides, minéraux et vitamines bénéfiques pour la santé.

La pastèque comme la plus part des espèces végétales cultivées peut former des symbioses avec certains champignons du sol appelés mycorhizes.

La mycorhize (du grec *myco* : champignon et *rhiza* : racine) est une relation symbiotique entre les champignons et les racines des plantes par laquelle ils s'échangent des matières. D'une part la mycorhize satisfait les besoins du partenaire fongique en composés carbonés synthétisés par la plante hôte photosynthétiques, et d'autre part elle permet à la plante hôte de bénéficier d'une meilleure nutrition minérale grâce au réseau d'hyphe extra-radiculaire qui s'étend bien au-delà de la zone du sol explorée par les racines (Smith et Read, 1997). La plupart des espèces végétales ne peuvent croître normalement sans leur symbiote fongique dont elles sont fortement dépendantes (Janos, 1980 ; Hetrick, 1984 ; Brundrett, 1991 ; Gobat et al, 2003).

Des études antérieures ont montré que ces mycorhizes peuvent être bénéfiques dans les écosystèmes agricoles (Wang et al, 2005). Ces derniers jouent un rôle important dans la production de la pastèque et peuvent augmenter son rendement et sa qualité (Kayal et al, 2003 ; Li et al, 2004 ; Shi et al, 2006).

La gestion viable des écosystèmes agricoles en utilisant des pratiques de culture durable à faibles intrants chimiques est une priorité pour préserver l'environnement et maximiser les rendements. Les nouvelles biotechnologies basées sur l'utilisation des microbes bénéfiques, notamment, des champignons mycorhiziens à arbuscules ouvrent des alternatives fortes intéressantes en production végétale.

Selon Mosse (1973), plus de 75 % des fertilisants phosphatés utilisés ne sont pas immédiatement disponibles pour les cultures, les différentes réactions biogéochimiques les transforment souvent sous des formes inutilisables particulièrement en milieux alcalins. La nature cosmopolite des champignons mycorhiziens à arbuscules doit être exploitée pour une utilisation plus efficace et plus raisonnée des fertilisants chimiques de synthèse au profit des plantes cultivées (Lovato et al, 1995 ; Bethlenfalvay et Lindermann, 1992).

Bien que les champignons mycorhiziens soient omniprésents dans les sols naturels, les pratiques culturales perturbent le plus souvent leurs populations et leur diversité. Dans ces conditions, les nombreuses expériences conduites depuis plus de 10 ans au Canada et ailleurs dans le monde démontrent le plus souvent que l'addition aux sols de spores ou propagules de ces champignons (*inoculum*) se traduit par un départ plus rapide du développement de la plante et des rendements accrus. L'utilisation de ces *inocula* permet de réduire l'utilisation d'engrais phosphatés de 25% ou même 50 % selon les sols, les espèces végétales et leurs cultivars, ce qui représente pour le producteur des gains significatifs en rendement et en retour sur les investissements, accompagnés de réduction substantielle des fertilisants (Fortin, 2013).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la biotechnologie mycorhizienne appliquée en maraichage, cas de la pastèque. En premier lieu, un essai sur le meilleur mode d'inoculation en condition contrôlée a été effectué. En second lieu une évaluation de l'efficacité de l'application de l'inoculum mycorhizien sur la croissance et le rendement de la pastèque associé aux fertilisants chimiques, appliqués à doses recommandées couramment utilisées par les agriculteurs (100 % NPK) et à des doses réduites (50 %) a été effectuée. Le but est de trouver le meilleur compromis entre fertilisation biologique à base de champignons mycorhizogènes et fertilisation chimique à base d'NPK tout en maintenant de bons rendements dans une optique de réduction des apports chimiques et de préservation de l'environnement.

CHAPITRE 1

SYNTHÉSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralité sur la pastèque

1.1 Description botanique et classification

La pastèque *Citrullus lanatus* est une plante herbacée annuelle de la famille des Cucurbitacées (Tableau 1). Le genre *Citrullus* a été étudié sur le plan taxonomique, et a été divisé en quatre espèces: *Citrullus lanatus* (syn. *C. vulgaris*) qui est la pastèque cultivée et ses trois espèces apparentées : *C. ecirrhosus*, *C. colocynthis* et *C. rehmii* (Wehner, 2008).

Le fruit de la pastèque est une baie particulière, de forme sphérique, plus ou moins oblongue, son diamètre varie de 30 à 60 cm et l'écorce de 10 à 40 mm d'épaisseur. Ce fruit, de couleur vert foncé souvent marbré de blanc, dont la chair est rouge, jaune, verdâtre ou blanche et à graines noires ou rouges, pèse le plus souvent entre 4 à 16 kg, mais des fruits de 120 kg ont été enregistrés. Ses tiges sont rampantes minces, poilus angulaires et peuvent atteindre trois mètres de long. Les feuilles de forme généralement triangulaire, sont très découpées, avec des lobes arrondis, profondément incisés mais aux sinus également arrondis. Certaines feuilles sont transformées en vrilles permettant à la plante de s'accrocher et de grimper sur des supports variés. Cette plante monoïque possède de petites fleurs à corole jaune pâle. Les racines sont étendus mais peu profonde, avec une racine pivotante et de nombreuses racines latérales (Figure 1).

Tableau 1 : Classification botanique de la pastèque (Site 1)

Règne	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Violales</i>
Famille	<i>Cucurbitaceae</i>
Genre	<i>Citrullus</i>

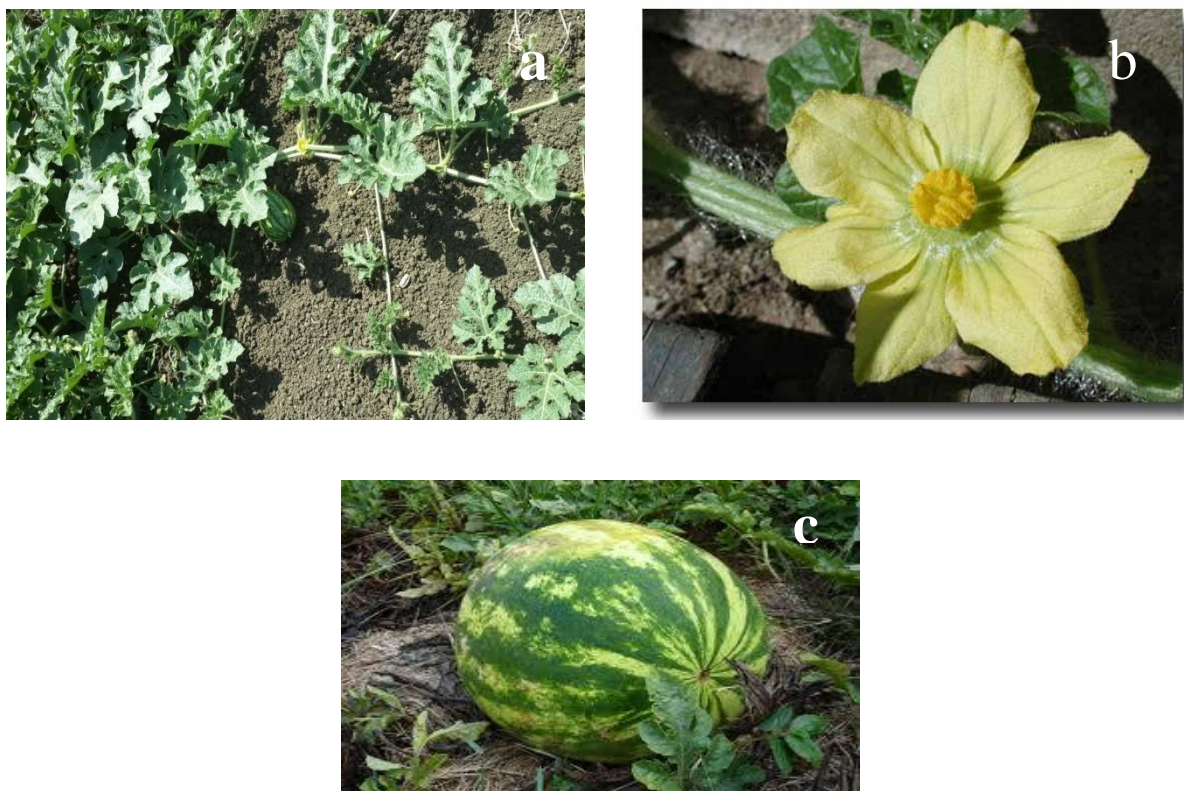


Figure 1 : Diverses parties de la plante de pastèque (a) tige et feuille, (b) fleur, (c) fruit

1.2 Origine et domestication de la pastèque

Mallick et Masui (1986), Esquinas-Alcazar et Gulick (1983) ont proposé l'Afrique centrale et le désert du Kalahari comme le centre d'origine de la pastèque cultivée. Elle peut avoir été domestiquée en Egypte et l'Asie occidentale autour de 2000 avant J.C et a été connue très tôt dans l'Asie centrale (Pitrat et al, 1999). Le Hindustan, une zone englobant l'Inde, le Népal, la Birmanie, le Pakistan et la Thaïlande a également été proposée comme un centre de domestication de cette culture (Zeven et Dewet, 1982).

1.3 Propriété de la pastèque

Les principales composantes nutritionnelles de la pastèque sont les glucides, la vitamine A et C et des éléments minéraux tels que le potassium, le fer et le calcium. La pastèque contient aussi une haute concentration en lycopène, un caroténoïde qui au cours des dernières années a acquis un intérêt considérable pour ses propriétés antioxydantes. Elle contient de 23,0 à 72,0 mg g⁻¹ du poids frais, alors que, pour la tomate fraîche, les concentrations en lycopène varient de 8,8 à 42,0 mg g⁻¹ du poids frais (Fraser and Bramley, 2004 ; Wehner, 2008). La pastèque contient de la citrulline, élément nécessaire à la synthèse de l'arginine aux propriétés cicatrisantes, identifiée

pour la première fois il y a plus de 70 ans à partir de la pastèque *Citrullus vulgaris* dont elle tient son nom. La pastèque est la plus importante source de citrulline connue à ce jour avec 0,7 à 3,6 g·kg⁻¹ (site : 2).

1.4 Cycle de développement

Les semis de pastèque se font du mois de mars au mois d'avril. La germination des graines nécessitant de la chaleur 20°C minimum et de l'humidité, ils se font, la plupart du temps en serre, en comptant environ 4 semaines avant de les transplanter dans une terre drainée, meuble, profonde et bien réchauffée, à une température optimale de sol de 20 à 35°C pour le développement des racines. La pastèque préfère un sol ayant une texture de limon sableux, avec pH de 5.8, 7.2, en lui réservant un espace d'un mètre de rayon. La floraison de la pastèque et le développement des fruits sont favorisés par une forte intensité lumineuse et une haute température.

La longueur du cycle végétatif total est de 80 à 110 jours selon le climat, avec une période végétatif de 20 à 25 jours pour le développement des rameaux, période de floraison de 15 à 20 jours, période de formation de fruits (remplissage) 20 à 30 jours, et enfin période de murissement de 15 à 20 jours. La récolte démarre début juillet, courant août.

1.5 Production mondiale

La production mondiale en pastèque pour l'année 2011 est de 104 472 354 tonnes. En Algérie, elle est de 1 285 134 tonnes. Selon la FAO (2011), les cinq plus gros producteurs au monde de la pastèque sont la Chine, la Turquie, l'Iran, le Brésil et les Etats-Unis (Tableau 2).

Tableau 2 : Les cinq premiers producteurs de pastèque au monde FAO 2011 (Site : 3)

Pays	Production en tonne
Chine	69 139 643
Turquie	3 864 489
Iran	3 250 000
Brésil	2 198 624
Etats-Unis	1 688 040

2. Généralité sur les mycorhizes

2.1 Symbiose mycorhizienne

Le mot symbiose fut utilisé pour la première fois par l'allemand Frank (1877) pour qualifier la coexistence d'organismes différents. Les symbioses mutualistes, où les partenaires coexistent activement d'un point de vue physiologique, écologique et reproductif (Harley, 1989) furent pendant longtemps jugées peu importantes dans les processus écologiques (Lambers et al, 2009). Il est actuellement admis que la symbiose mycorhizienne est une association obligatoire et à bénéfice réciproque entre une racine de plante et un champignon. Dès le 19^{ème} siècle, les mycorhizes ont fait l'objet de descriptions et d'études de distribution de part le globe.

La presque totalité des plantes vertes terrestres vivent en symbiose mycorhizienne. Seuls des membres de quelques familles en sont quelques fois dépourvus, par exemple, les crucifères et les chénopodiacées (Fortin et al, 2008).

2.2 Les différents types de mycorhizes

Cette symbiose prend différentes formes, appelées ectomycorhizes, endomycorhizes ou ectendomycorhizes, selon les caractères anatomiques de l'association (Peyronel et al, 1969), qui dépendent en fait directement des partenaires impliqués (Figure 2). La classification des mycorhizes est basée donc sur le type de champignon associé, selon que celui-ci est asepté, c'est-à-dire zygomycète de l'ordre des Glomales, ou septé, comme les ascomycètes ou basidiomycètes (Smith et Read, 1997).

2.2.1 Les ectomycorhizes

Ces champignons supérieurs se retrouvent dans le sous-bois parce que, sauf exception, ils ne forment des mycorhizes qu'avec les plantes ligneuses, arbres ou arbustes. Beaucoup de ces champignons produisent des carpophores sur le tapis forestier. La symbiose ectomycorhizienne ne concerne que 3 % des espèces végétales (Mousain, 1991) mais elle a été (et est toujours) très étudiée car ces espèces constituent la majorité des ligneux à intérêt économique.

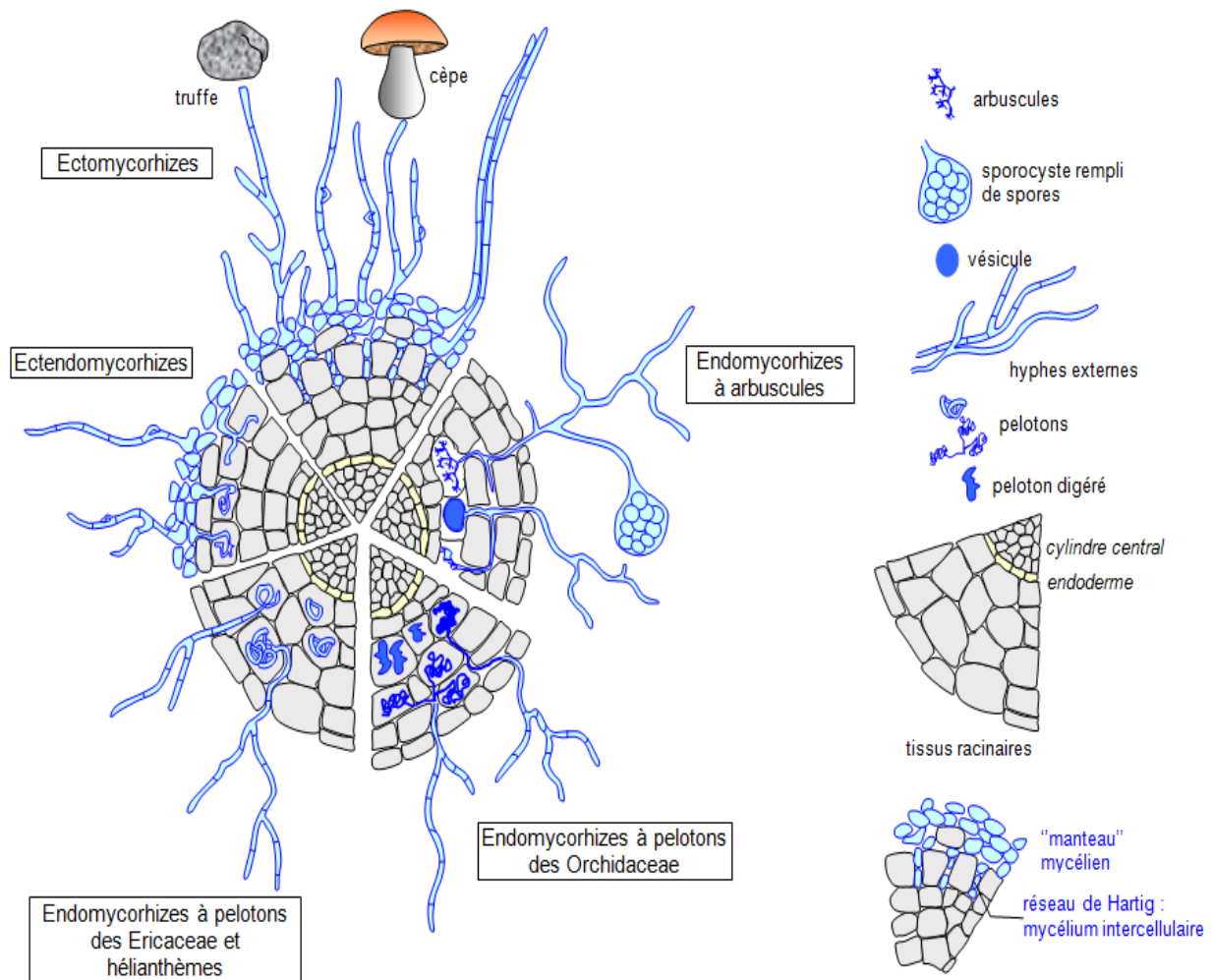


Figure 2 : Principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de racine d'après de Le Tacon, 1985 (site : 4)

Les champignons ectomycorhiziens appartiennent aux ascomycètes et surtout aux basidiomycètes. C'est plus de 25 000 espèces de plantes vasculaires qui portent ce type de mycorhize (Fortin et al, 2008).

Les ectomycorhizes revêtent les racines latérales à structure primaire d'un manteau fongique, le mycélium ne se développe pas dans les cellules de l'hôte, mais plutôt vers l'extérieur des cellules. Les hyphes en s'accrochant les uns aux autres forment un manchon autour des radicelles et pénètrent aussi dans la racine, mais en se confinant aux espaces intercellulaires, formant dans le cortex un système complexe portant le nom de Hartig, chercheur qui l'a observé et décrit le premier. A partir de cet ancrage, le mycélium peut alors se développer et envahir le sol adjacent (Fortin et al, 2008).

2.2.2 Les ectendomycorhizes

Il arrive que les ectomycorhizes et les endomycorhizes soient présents en même temps sur une racine, on parle alors d'ectendomycorhizes, le premier type est minoritaire et concerne surtout les arbres, le second est majoritaire et concerne presque tous les végétaux. Ils montrent simultanément, un manteau réduit ou absent qui possède un réseau de Hartig bien développé, des structures des ectomycorhizes et des hyphes qui pénètrent dans les cellules racinaires, des structures des endomycorhizes.

2.2.3 Les endomycorhizes

Les champignons endomycorhiziens ne sont pas spécifiques et sont normalement associés aux plantes comme les plantes forestières agricoles et horticoles.

Ces symbiotes à colonisation intracellulaire corticale, forment des arbuscules, des vésicules ou des hyphes, ne se cultivent pas et ne sont pas visibles qu'après coloration.

Il existe trois types d'endomycorhizes :

- Les endomycorhizes arbutoides des Ericacées.
- Les endomycorhizes orchidoides des Orchidées.
- Les endomycorhizes à arbuscules.

2.2.3.1 Les mycorhizes à arbuscule

Parmi les associations endomycorhiziennes, ce sont les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) qui sont de loin les plus répandues à la surface du globe. Ils se sont adaptés à de nombreux environnements et différentes plantes hôtes. Ils peuvent former des associations mutualistes avec les racines fines d'environ 80 % de toutes les plantes terrestres (Smith et Read, 1997) ligneuses, herbacées, les mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes plusieurs conifères et la majorité des plantes à fleurs, mono et dicotylédones.

Les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) sont des composantes importantes des écosystèmes terrestres (Liu et Chen, 2007; Smith et Read, 1997). Des techniques de biologie moléculaire ont permis de démontrer que les premières mycorhizes arbusculaires sont apparues au dévonien, il y a environ 450 millions d'années (Fortin et al, 2008). Les CMA sont représentés par

diverses espèces, selon des estimations, il pourrait y avoir 1 250 espèces de CMA dans le monde (Borstler et al, 2006). Au cours des 10 dernières années, environ 113 espèces CMA dans sept genres ont été isolés en Chine, 70 espèces en Afrique, et 84 espèces aux Etats-Unis, la France et l'Allemagne (Liu et al, 2009).

Le champignon mycorhizien à arbuscule forme plusieurs structures à l'intérieur des racines (Figure 3), principalement des arbuscules, des vésicules des spores et des hyphes non spécialisés (Tommerup, 1984). On utilise le terme propagule pour les désigner puisque toutes ces structures servent à propager l'espèce (Fortin et al, 2008).

Le terme arbuscule réfère à une structure microscopique unique que développent ces champignons dans les cellules corticales des racines. Chez ce type de mycorhize, le champignon ne cherche pas à envelopper les cellules de l'hôte, comme chez les ectomycorhizes, mais y pénètre de façon subtile sans trop en perturber les structures. A partir de ce point d'ancrage dans la racine, le champignon mycorhizien à arbuscule développe dans le sol une phase dite extraradiculaire, qui s'étend en un réseau mycélien et envahit le sol adjacent, dans toutes les directions. Ce mycélium de très fine dimension offre une surface considérable de contact avec le sol. On estime que la surface des mycéliums arbusculaires, sous un mètre carré d'un sol de prairie est d'environ 90 m² et que dans un pot d'un litre ou pousse un seul plant de poireau, le mycélium peut atteindre jusqu'à un kilomètre, envahissant les moindres interstices du substrat (Fortin et al, 2008).

2.2.3.1.1 Structure des champignons mycorhiziens à arbuscule

- Spore

La spore sert d'organe de stockage et de propagation des CMA. Elle germe et donne naissance à des filaments mycéliens. Lorsque les hyphes entre en contact avec une jeune racine, ils forment un appressorium, entre et se propage rapidement, il se différencie à l'intérieur des racines en arbuscules et dans certains cas en vésicules.

- Arbuscule

L'arbuscule est l'unité au niveau de laquelle se produisent les échanges entre l'hôte et le champignon. C'est une ramification latérale des hyphes fongiques dans les cellules du cortex racinaire où le champignon pénètre et croit à l'intérieur. La membrane de la cellule hôte s'invagine et enveloppe le champignon, ce nouveau compartiment fournit un contact direct entre le champignon et la plante (Figure 3).

- **Vésicule**

La vésicule est une structure de stockage à paroi fine, à contenu lipidique et apparaît généralement dans les espaces intercellulaires (Harley et Smith, 1983 ; Bonfante-Fasolo, 1984) (Figure 3).

- **Hyphe extraradiculaire**

L'hyphe extraradiculaire produit par le champignon mycorhizien à arbuscule est un des organes de propagation et peut coloniser une plante autre que la plante dont ils sont issus (Figure 3).

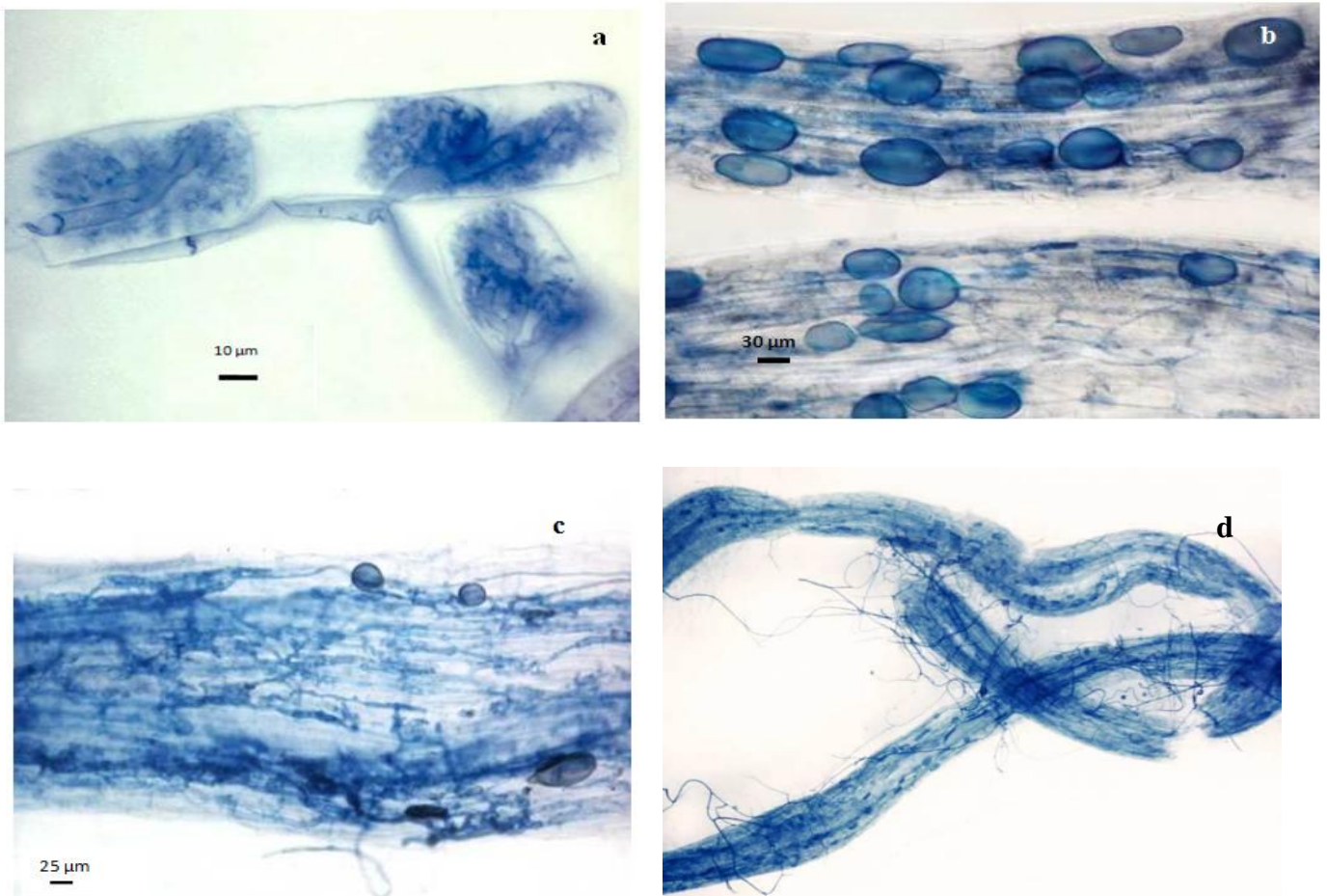


Figure 3 : Structures caractéristiques des champignons mycorhiziens arbusculaires. (a) Arbuscules intercellulaires (b) vésicules intraradiculaires (c) Hyphes intraradiculaires (d) hyphes extraradiculaires (site : 5)

2.2.3.1.2 Cycle de vie des champignons mycorhiziens à arbuscules

Le mycélium des champignons à arbuscules est de type cénotique, c'est-à-dire sans cloison ou séparation formant des cellules. Le long de ce réseau mycélien cénotique, le champignon forme des spores destinées à propager et disséminer l'espèce. Les spores ainsi développent à partir du

mycélium extraradriculaire des tubes germinatifs qui peuvent s'étendre sur plusieurs centimètres dans le sens des racines actives et donne une infection primaire des racines.

Chez certaines espèces, des vésicules intraradicales, se différencient dans le cortex racinaire et possèdent des propriétés analogues à celles des spores.

Les segments des racines morts ou vivant peuvent être une source d'inoculum pour les racines nouvellement développées (Tommerup, 1984).

2.2.3.1.3 Classification des champignons mycorhiziens à arbuscules

La taxonomie des CMA a d'abord été construite par morphotypage des spores, en tenant compte à la fois des similitudes structurales entre les spores mais aussi des caractères ayant une importance phylogénétique (Morton et Benny, 1990).

Les études morphologiques et phylogénétiques récentes ont permis de regrouper toutes les espèces mycorhiziennes à arbuscules en un nouvel embranchement, les Glomeromycota, répartis en 4 ordres composant 10 familles et 15 genres et environ 200 espèces. Le tout est associé à environ 225 000 espèces végétales terrestres.

L'arbre phylogénétique suivant montre les taxons supérieurs au sein de la classe Glomeromycetes (Figure 4).

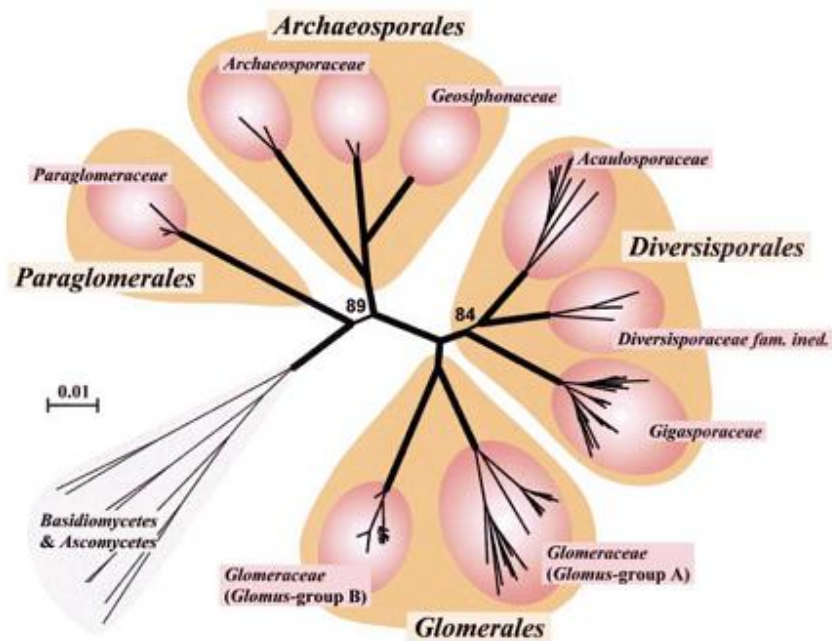


Figure 4 : Classification phylogénétique des champignons CMA (Schüßler et al, 2001)

2.3 Physiologie des mycorhizes

Indépendamment du type de mycorhize, diverses fonctions sont modifiées généralement par la présence des mycorhizes : l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, les activités hormonales, l'agrégation des sols, la protection contre les organismes pathogènes.

2.3.1 Absorption de l'eau et des éléments nutritifs

L'absorption de l'eau et des éléments nutritifs constitue la toute première fonction attribuée aux mycorhizes, notamment l'absorption des éléments peu mobile du sol, comme le phosphore, qui est un des éléments nutritifs les plus importants pour la croissance des plantes car il intervient dans de nombreux processus métaboliques : biosynthèse des acides nucléiques et des membranes, photosynthèse, respiration et régulation des enzymes, c'est aussi l'élément dont la concentration dans la plante est la plus fortement augmentée par la symbiose endomycorhizienne (Bolan, 1991; Smith et Read, 1997). L2

Cependant, généralement, l'intensité de la colonisation racinaire par les champignons symbiotiques est réduite quand le niveau de phosphore augmente dans le sol et devient ainsi directement disponible pour la plante (Dickson et al, 1999).

Cette efficacité accrue dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs vient d'abord de l'augmentation de la surface de contact entre le mycélium fongique et la solution du sol. Les hyphes extraradiculaires minces des champignons pénètrent dans le sol sur une large région et peuvent l'exploiter plus efficacement que les racines des plantes (Bothe et al, 1994). Ces CMA augmentent aussi la résistance des plantes au stress hydrique (Davies et al, 1992 ; Subramanian et Charest, 1997) par un signal déclenché qui peut assurer une fermeture plus rapide des stomates, qui prévient une flétrissure irréversible.

Les hyphes ont aussi la possibilité d'acquérir d'autres minéraux peu mobiles dans le sol comme l'azote, le soufre, le calcium, le magnésium, le potassium, le zinc et le cuivre.

2.3.2 Activités hormonales

L'action globale des hormones produites par le champignon affecte le port général de la plante, dont la croissance des parties aériennes est souvent favorisée par rapport à celles des racines. Le champignon pour ainsi dire remplace partiellement les racines et cela à un moindre coût énergétique.

2.3.3 Agrégation des sols

Les mycéliums ont la propriété d'excréter une glycoprotéine, la glomaline. Les champignons mycorrhiziens qui sont très abondants dans certains sols peuvent en produire des quantités importantes, dont plusieurs études ont montré le rôle dans la stabilité structurale du sol. La glomaline agit comme une colle qui assemble les particules les plus fines du sol pour en faire des agrégats dont on connaît le rôle fondamental pour la fertilité des sols, en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisant les échanges gazeux et l'aération (Fortin et al, 2008).

2.3.4 Protection contre les organismes pathogènes

En nature, les plantes sont continuellement soumises à des agressions de la part des bactéries, de champignons, de nématodes, d'insectes et de maladies fongiques.

Il a été prouvé expérimentalement que les plantes inoculés avec des champignons mycorrhiziens à arbuscules sont plus résistantes aux attaques de champignons pathogènes et l'exposition à des toxines du sol (Fitter, 1991 ; Moser et Haselwandter, 1983 ; Schtiepp et al, 1987). Ces champignons mycorrhiziens peuvent intervenir de deux façons et à deux endroits pour protéger les racines contre les champignons pathogènes : dans la rhizosphère et dans les tissus racinaires.

A l'échelle de la rhizosphère et surtout de la mycorrhizosphère, l'espace entourant immédiatement la 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.

Le second mécanisme permettant aux plantes mycorhizées de mieux résister aux maladies est lié à des modifications des activités physiologiques dans la racine. Les plantes agressées par un agent pathogène réagissent en produisant des substances antibiotiques contre ces organismes (Fortin et al, 2008).

CHAPITRE 2

MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE 2 : MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Expérience en condition contrôlée

Une expérience en condition contrôlée a été lancée afin de mettre en évidence l'effet des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) sur les plants de pastèques et de tester différents apports à base de CMA autochtones et allochtones sur la croissance.

1.1 Présentation de la station d'étude

Une serre située au sein de l'université Badji-Mokhtar, commune Sidi Ammar, wilaya d'Annaba (Figure 5).



Figure 5 : Serre de l'université de Badji-Mokhtar, Sidi Ammar, Annaba

1.2 Matériels

1.2.1 Plants de pastèque

Des plants de pastèque variété Glory Jumbo greffés sur des plants de courge Forza F1, produits au niveau de la pépinière privée Mansouri, spécialisée dans la production de plant de tomate industrielle et pastèque, située dans la localité de Ben Amar, commune d'El Chatt wilaya d'El Tarf, ont été utilisés.

1.2.2 Spores de champignons mycorhiziens arbusculaires autochtones

Les spores de trois espèces de champignons mycorhiziens à arbuscule : *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* et *Glomus constrictum* extraites de sol algérien, provenant du bassin oléicole de Guelma et maintenues en culture avec une plante hôte le trèfle (*Trifolium lemmonii*), pourvue d'un système racinaire dense bien adapté à la multiplication des CMA. Les spores ont été séparées des particules de sols selon les méthodes de Gerdemann et Nicholson (1963) et Daniels et Skipper (1983) par tamisage humide en déposant 100 à 200 g du sol sur le haut d'une série de tamis superposés de bas en haut selon la valeur grandissante de leur ouverture de maille (63 μ , 100 μ , 160 μ , 250 μ , 315 et 500 μ). Le sol est alors abondamment arrosé d'un jet d'eau et lavé jusqu'à ce que l'eau s'écoulant devienne claire. Chaque fraction de sol retenue dans chaque tamis est récupérée dans une boîte de Pétri et observée à la loupe binoculaire afin de collecter les spores à l'aide d'une micropipette dans des cupules.

1.2.3 Inoculum à base de champignons mycorhiziens allochtones

Un inoculum mycorhizien de commerce Symbivit a été utilisé pour les essais en plein champ et en serre. Il se compose de propagules de six espèces différentes de champignons mycorhiziens, appartenant au genre *Glomus*, sous forme de granules.

1.2.4 Substrat de culture

Pour l'expérience en serre, du sol provenant d'un champ précédemment cultivé en pastèque, situé dans la localité de Ben Amar a été utilisé. Une partie de cet échantillon de sol a été stérilisé à l'autoclave à 120 °C trois fois pendant une 1 heure de temps, à 24 h d'intervalle et l'autre partie a été gardée à l'état brut. Du gravier, lavé et désinfecté a servi à garnir le fond des sacs de cultures pour un meilleur drainage.

1.2.5 Eaux de lavage

Les eaux de lavages sont obtenues en mélangeant 100 g du sol prélevé à Ben Amar avec 200 ml d'eau distillée. Le mélange a été alors bien agité et laissé décanter ensuite il a été filtré de sorte à récupérer toute la microflore du sol à l'exception des mycorhizes.

1.3 Stratégie expérimentale

Cette expérience en condition contrôlée consiste à comparer l'inoculation avec huit traitements : (i) un inoculum commercial Symbivit renfermant des espèces de spores allochtones, (ii) un sol extrait d'un terrain cultivé de la pastèque renfermant toute la microflore y compris les CMA autochtones et (iii) des spores de CMA (autochtones) du genre *Glomus*, extraites de la rhizosphère d'une oliveraie située dans le bassin oléicole de Guelma, *Glomus intraradices* (Gi), *Glomus mosseae* (Gm) et *Glomus constrictum* (Gc) utilisés séparément ou en synergie. Des Témoins cultivés sur sol stérilisé (TS) et sur un sol stérilisé arrosé à l'eau de lavage (TL) ont été prévus afin de distinguer l'effet des champignons CMA de celui du reste de la microflore tellurique.

Les plants de pastèques ont été inoculés avec : (i) Symbivit qui se présente sous forme de granule à raison de 10 g/plant, déposé le plus près possible des racines, (ii) avec les spores CMA séparément à raison de 120 spores/plant et en mélange, soit 40 spores par espèce pour un total de 120 spores/plant, ces spores ont été déposées le plus près possible des racines en utilisant une micropipette et enfin (iii) avec du sol issu d'un champ cultivé en pastèque qui n'a pas été stérilisé en les plantant directement dans ce sol.

1.3.1 Dispositif expérimental et mise en place

Le dispositif complètement aléatoire a été choisi, l'expérience comporte huit traitements à raison de six répétitions par traitement (Figure 6).

1.3.1.1 Phase pépinière

Les graines de pastèque et de courge ont été mises à germer et semer dans des plateaux remplis de tourbe jusqu'à ce que les plants aient atteint le stade de premières vraies feuilles. Les plants de pastèque ont été découpés à un angle de 45° en laissant une distance d'environ 10 à 15 mm au dessous des cotylédons, de même pour les plants de courge une feuille cotylédonaire est découpée sous le même angle de 45°, avec les bourgeons apicaux, ainsi que les racines. Les greffons de pastèque et les porte-greffes de courge sont assemblés avec des clips, replantés dans de nouveaux plateaux, arrosés et mis dans une chambre d'acclimatation. Après un séjour d'une semaine, les plants ainsi soudés sont nettoyés d'éventuels de bourgeons du porte-greffe qui se seraient développés (Figure 7).

EXPÉRIENCE EN SERRE



Inoculation avec *G.mosseae*



Inoculation avec *G.intraradices*



Inoculation avec *G.constrictum*



Inoculation avec les 3 espèces en synergie, *G.mosseae*,
G.intraradices, *G.constrictum*



Inoculation avec symbivit

:



Inoculation avec du sol cultivé en pastèques



Témoin sur sol stérile + eau de lavage (microflore sans CMA)



Témoin sur sol stérile

Figure 6 : Schéma dispositif aléatoire complet de l'expérience en serre



Figure 7 : Préparation des plants de pastèque greffée

1.3. 1.2 Phase serre

Des sacs de plantation en polyéthylène d'une contenance de cinq kg ont été garnis au fond par une couche de gravier préalablement lavé et désinfecté et par-dessus trois kg de sol stérilisé ou pas selon le traitement appliqué. Les jeunes plants de pastèque ont été repotés à raison d'un plant par sac et ont subi les différents traitements (Figure 8).

L'expérience a été réalisée en conditions contrôlées en serre sous la lumière normale du jour et une température moyenne quotidienne de 18/25 °C, humidité relative 60-70 %. Les plantes ont été arrosées quotidiennement à l'eau distillée.

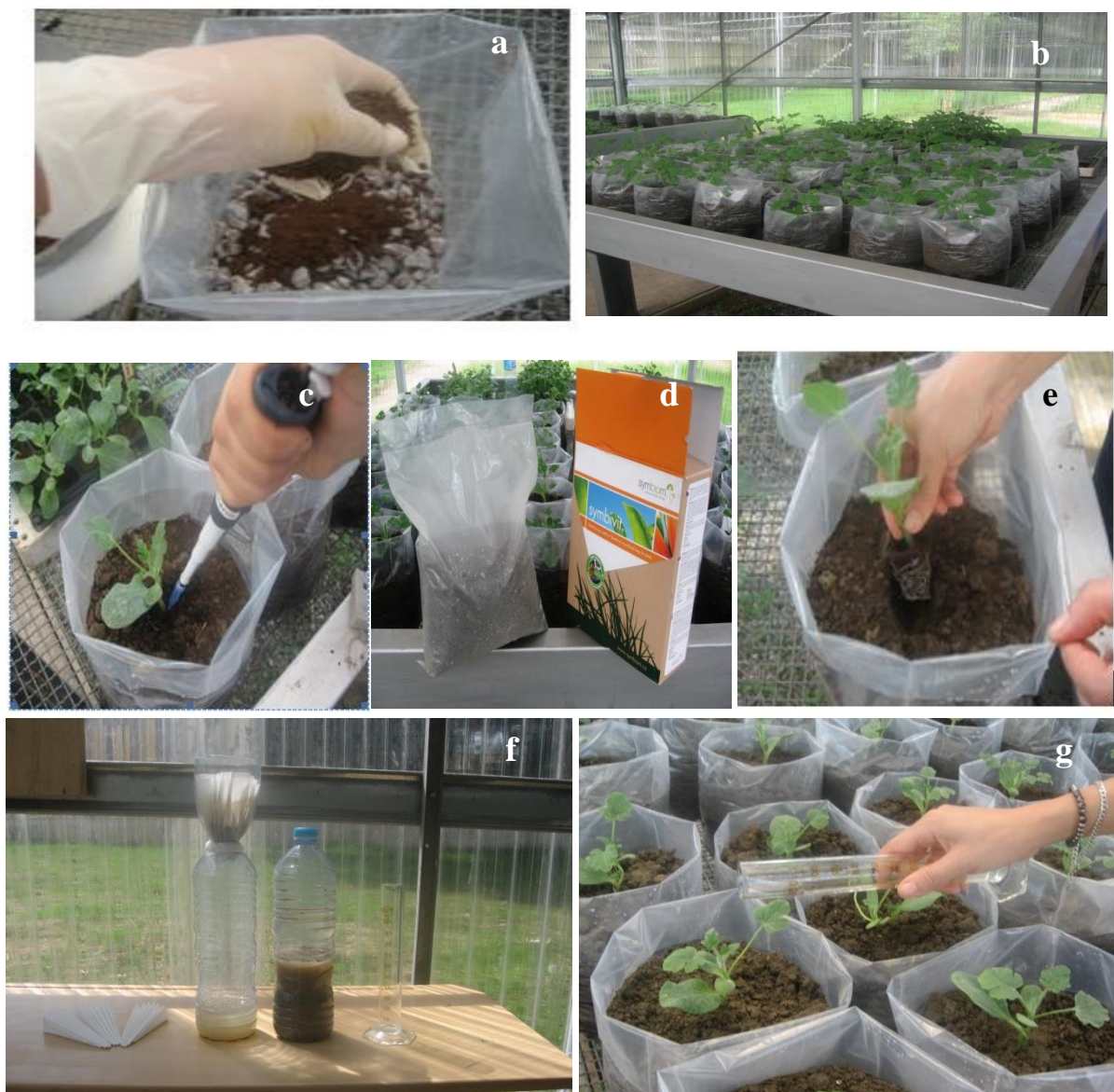


Figure 8 : Mise en place du dispositif de l'expérience en serre (a) sacs de plantation garnies avec du gravier et du sol (b) rempotage des plants de pastèque dans les sacs (c) inoculation avec des spores à l'aide d'une micropipette (d) inoculation avec l'inoculum commercial (e) inoculation avec du sol issu d'un champ cultivé en pastèque en les repotant directement dans ce sol non stérilisé (f) préparation des eaux de lavage (g) ajout des eaux de lavages.

1.3.2 Paramètres mesurés

Après deux mois de croissance, la longueur de la tige principale, les poids de la matière aérienne et racinaire, fraîche et sèche (séchage à 70 °C, pendant 1 semaine).

1.3.3 Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de moyenne \pm écart type avec comparaisons des moyennes de tous les paramètres mesurés entre plants inoculés et les témoins non inoculés par le test de Tukey ($P < 0,05$) et de Newman et Keuls pour la comparaison des inoculés entre eux.

2. Expériences en conditions plein champ

2.1 Présentation des stations d'étude

Deux stations situées dans la région d'Annaba au Nord-est de l'Algérie ont été choisies pour tester en conditions plein champ l'application des mycorhizes sur une culture maraichère : la pastèque. Une première expérience a été lancée dans la localité de Ben Amar durant l'année 2012 et une seconde expérience dans la localité d'El Karma durant l'année 2013.

2.1.1 Station de Ben Amar

La parcelle se trouve au niveau d'une pépinière privée, la pépinière Mansouri (Figure 9). Elle est située dans la localité de Ben Amar, commune d'El Chatt wilaya d'El Tarf, à une latitude $36^{\circ}46'55''$ Nord et à une longitude $7^{\circ}48'35''$ Est.

2.1.2 Station El Karma

La station El Karma se situe dans un terrain agricole privé s'étendant sur 3 hectares, située dans la localité d'El Karma, commune d'El Hadjar wilaya d'Annaba, à une latitude $36^{\circ}44'35''$ Nord et à une longitude $7^{\circ}39'59''$ Est (Figure 9).



Figure 9 : Localisation géographique des communes de Ben Amar et El Karma (1/1 000 000 source google earth)

2.2 Caractéristiques climatiques de la région d'étude

La région est soumise à un climat méditerranéen, avec des températures moyennes de 18 °C et des précipitations de 650-1000 mm/an.

2.3. Matériel biologique végétal et fongique

Deux variétés de pastèque ont été utilisées pour la réalisation des expériences en plein champ, la variété Glory Jumbo greffée sur une courge variété Forza F1 préparés à la pépinière Mansouri selon la même technique précédemment décrite, donnant des fruits de forme oblongue à chair rouge rosée et une peau d'un vert claire, utilisées pour l'expérience de Ben Amar et des plants francs de pastèque variété Meziane, obtenus après germination de graines et leurs plantation dans des plateaux à semis, après un séjour en pépinière les jeunes plants obtenus donnant un fruit à chair rouge et écorce striée ont servi pour l'expérience d'El Karma.

Les deux variétés de pastèques ont été inoculées avec le Symbivit à raison de 10g/plant mis le plus près possible des racines (Figure 10).

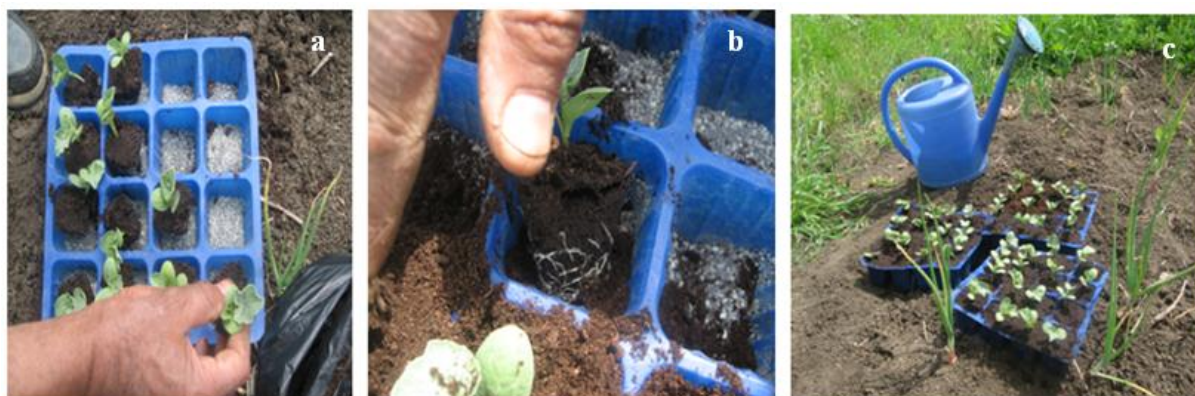


Figure 10 : Inoculation des plants de pastèque pour les expériences en plein champ (a) et (b) inoculation des plants avec 10 g d'inoculum près des racines (c) arrosage des plants

2.4 Stratégie expérimentale

Deux expériences ont été lancées en plein champ, une première expérience menée du 28 avril au 9 août 2012 dans la localité de Ben Amar, le but est d'évaluer le bénéfice potentiel de l'application des mycorhizes sur la croissance et le rendement de la pastèque. La deuxième expérience menée du 22 avril au 23 juillet 2013 dans la localité d'El Karma, le but est d'évaluer l'impact des mycorhizes combinées aux fertilisants chimiques sur le rendement de la pastèque en

utilisant des doses d'engrais chimiques habituellement appliquée par les agriculteurs (100%), des doses réduites (50%) et sans apport (0%) .

2.4.1 Dispositif expérimental

Le dispositif en bloc aléatoire complet a été utilisé pour les deux stations de Ben Amar et d'El Karma. Chaque station a été subdivisée en trois blocs correspondant au nombre de répétition, chaque bloc contient tous les traitements, la répartition des traitements au sein d'un même bloc, s'est faite d'une manière aléatoire par tirage au sort.

Station Ben Amar : Les plants inoculés avec Symbivit et non (témoins) ont été disposés sur des parcelles associés en paire. La superficie de chaque parcelle était de 36 m², comportant une trentaine de plant, dont la distance de plantation était de 1 m et d'un écartement entre les sillons de 1.80 m (Figure 11).

Station d'El Karma : Six traitements ont été appliqués : (i) inoculés avec Symbivit et non (témoins) sur des parcelles ou aucun apport chimique n'a été effectué (0% NPK), (ii) inoculé et non sur des parcelles ayant été enrichies en doses d'engrais localisées (50 % NPK) correspondant à 30g/plant et (iii) inoculé et non avec 100% NPK, soit 60g/plant. L'étendue de chaque parcelle était de 4.5 m², comportant six plants, la distance de plantation était de 1m entre les plants et de 1.50 m entre les sillons (Figure 12).

Une bordure de 2 m entourant chaque parcelle à été prévu pour palier à toute interférence.

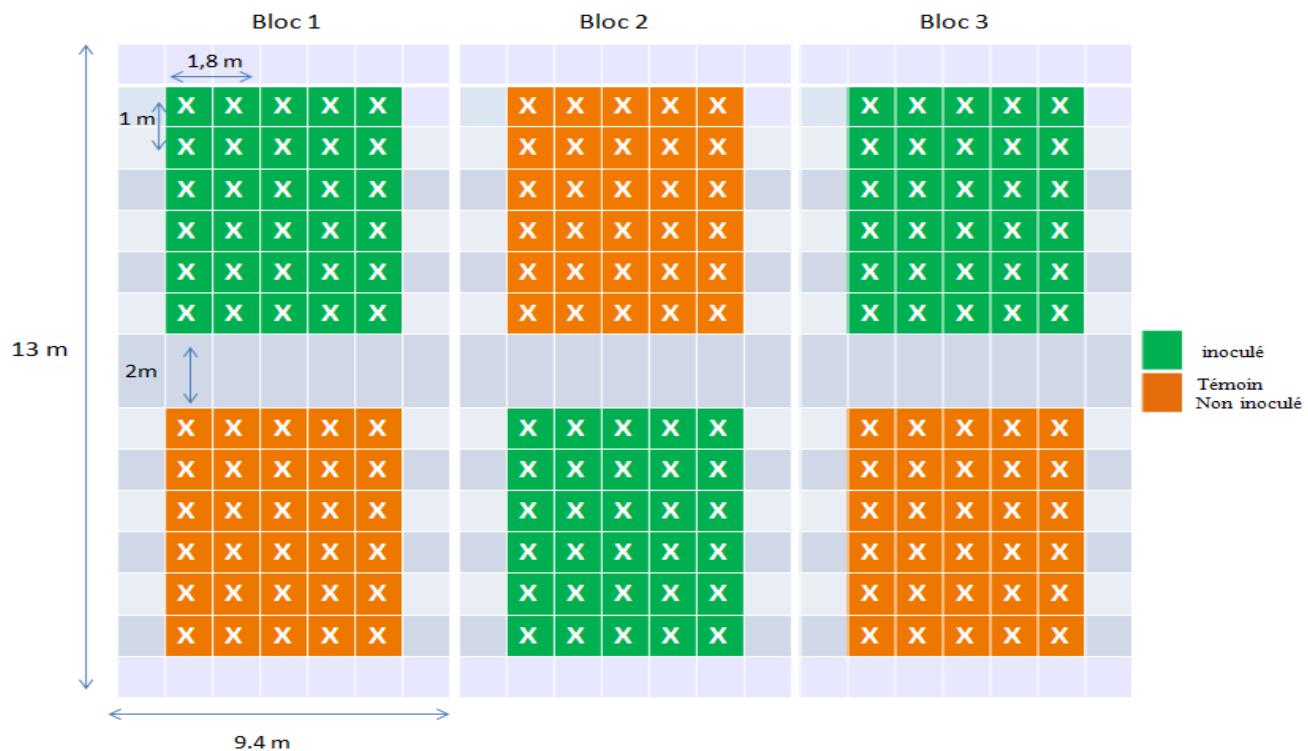


Figure 11 : Dispositif expérimental en bloc aléatoire complet Ben Amar 2012

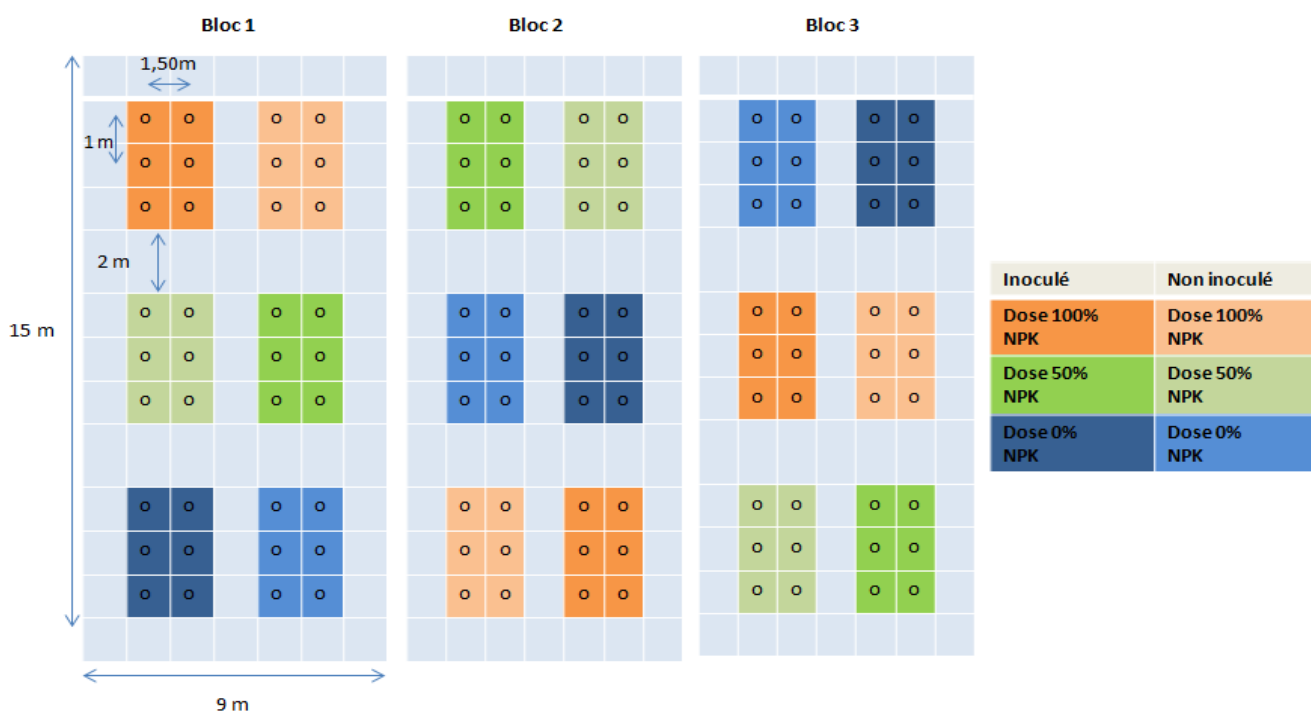


Figure 12 : Dispositif expérimental en bloc aléatoire complet El Karma 2013

2.4.2 Paramètres mesurés

Après trois mois de culture, la récolte s'est effectuée pour les deux stations Ben Amar et El Karma. Le rendement par traitement, le poids frais et sec de la partie aérienne et racinaire d'échantillons choisis au hasard dans chaque traitement ont été effectués.

2.4.3 Analyses statistique

Les résultats obtenus ont été traités statistiquement par l'analyse de la variance à un critère et les comparaisons des moyennes des paramètres mesurés entre les différents traitements ont été effectuées au seuil de 5 % par le test de Tukey avec le logiciel MiniTab 16.

2.5 Prélèvement des échantillons de sols et de racines

En plus des prélèvements de fruits et de plants qui ont servi pour la mesure de la croissance et du rendement de notre culture, d'autres prélèvements de sol et de racine ont été effectués pour des analyses relatives aux mycorhizes, de leur diversité, de leurs colonisations des racines et de leurs persistance dans le sol.

Aux moments de la récolte, des prélèvements de sols rhizosphériques ont été effectués dans les 10 à 30 premiers centimètres du sol de chaque parcelle. Tous les prélèvements de sols des parcelles qui ont subi le même traitement ont été mélangés convenablement pour ne former qu'un seul échantillon représentatif. Ces échantillons de sol ont servi à la prospection sur la diversité sporale des champignons mycorhiziens à arbuscules et la détermination du potentiel mycorhizien de ces sols. En parallèle des échantillons de racines ont été prélevés sur les plants de chaque parcelle à raison de cinq répétition biologique et ceux pour servir à une estimation de taux de colonisation mycorhizienne pour les deux traitements, inoculé et non inoculé.

2.6 Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne

2.6.1 Coloration des fragments de racines

Pour la détection de la colonisation des racines par les CMA, un traitement et une coloration préalable des racines sont nécessaires. Pour cela, la méthode de Philips et Hayman (1970) a été utilisée, qui consiste à traiter les racines préalablement lavées, à la potasse (KOH) à 10 % pour vider les cellules, puis les colorer au bleu Trypan (0,03 %) à chaud pendant une demi-heure de temps (Figure 13).

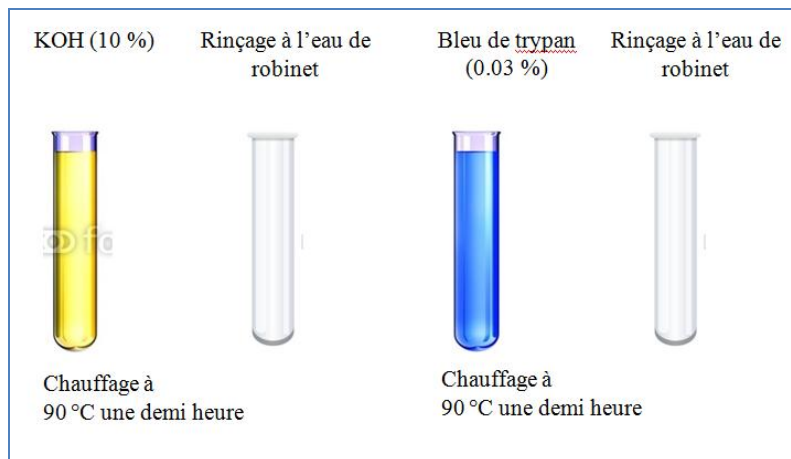


Figure 13: Schéma de coloration des échantillons racinaires

Le taux de la colonisation mycorhizienne a été estimé selon la méthode de Trouvelot et al, (1986). Une trentaine de fragments de racine d'environ 1 cm de longueur prélevés de chaque échantillon coloré ont été disposés parallèlement entre lame et lamelle, à raison d'une quinzaine de fragments par lame, dans une goutte de glycérol. La mycorhization s'observe à l'examen au microscope photonique (X40) par une coloration bleue foncée des structures fongiques dans les racines. Cela permet de les annoter selon un barème de classe et d'estimer ainsi le degré de la colonisation mycorhizienne de chaque fragment au moyen de six classes notées de 0 à 5 (Figure 14) et la richesse arbusculaire par quatre classes notées A0, A1, A2 et A3 (Figure15) .

Cette méthode calcule cinq paramètres de la colonisation :

F % : Fréquence de la colonisation mycorhizienne (% du nombre de fragments racinaires mycorhizés), elle reflète l'importance des points de pénétration de la colonisation du système racinaire.

M % : Intensité de la colonisation du cortex racinaire (proportion du cortex colonisé estimée par rapport au système racinaire entier et exprimée en %), elle reflète l'importance de la colonisation du système racinaire.

m % : Intensité de la colonisation développée dans la partie mycorhizée du système racinaire (proportion du cortex colonisé dans la partie mycorhizée du système racinaire exprimé en %).

A % : Teneur arbusculaire de la colonisation ramené au système racinaire entier (proportion du système racinaire renfermant des arbuscules, exprimée en %).

a % : Teneur arbusculaire de la colonisation dans la partie mycorhizée du système racinaire (proportion colonisée renfermant des arbuscules, %).

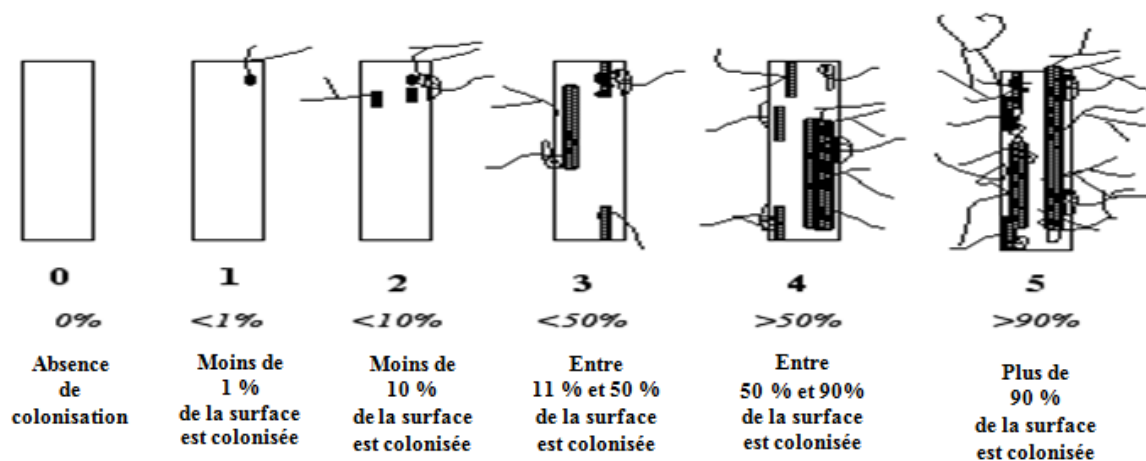


Figure 14 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire

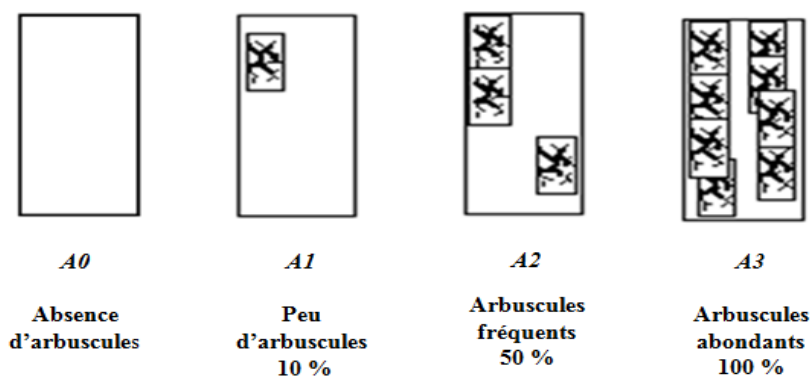


Figure 15 : Echelle d'évaluation de la présence des arbuscules

2.7 Mise en évidence du potentiel mycorizogène des sols étudiés

Le potentiel mycorhizogène traduit la richesse du sol en propagules (spores, mycéliums, fragments de racines colonisés) aptes à générer une mycorhization. Une partie des sols prélevés ont servi à déterminer ce potentiel en utilisant la technique du nombre le plus probable (Most Probable Number : MPN) (Alexander, 1965). Cette technique adoptée aux CMA est basée sur l'utilisation d'une série de dilutions successives de sol, au 10^{ème} épuiser progressivement le milieu et cerner la dilution limite dans laquelle il n'y aura plus de propagules.

2.7.1 Préparation du dispositif

Les dilutions ont été réalisées au nombre de cinq en homogénéisant du sol non stérilisé (inoculum) contenant les CMA de chaque échantillon de sol étudié mélangé avec du sol stérilisé avec la méthode précédemment décrite.

Les dilutions ont été préparées comme suit

- Dilution 10^{-1} : 30 g de sol non stérile + 270 g de sol stérile = 300 g (1).

A partir de ces 300 g de mélange, 250 g vont être répartis dans les cinq répétitions à raison de 50 g par pot. Des 50 g restants, on prélève 30 g qui serviront d'inoculum pour la dilution qui suit qui est la dilution 10^{-2} .

- Dilution 10^{-2} : 30 g (1) + 270 g de sol stérile = 300 g (2)

- Dilution 10^{-3} : 30 g (2) + 270 g de sol stérile = 300 g (3)

- Dilution 10^{-4} : 30 g (3) + 270 g de sol stérile = 300 g (4)

- Dilution 10^{-5} : 30 g (4) + 270 g de sol stérile = 300 g (5)

Les dilutions ont été mises dans des pots à raison de cinq répétitions par niveau de dilution, des témoins de sols stériles ont été prévus. Des plants de trèfles ont servi de plante hôte pour la mycorhization. Les graines de trèfle ont été mises à germer dans des boîtes de Petri sur papier filtre imbibé d'eau stérile et placées à l'obscurité à l'étuve à 25 °C, et ce après avoir été désinfectées trois minutes à l'eau de javel (3 %) et rincées abondamment à l'eau distillée stérile. Les graines pré germées obtenues, ont été repiquées dans des pots, à raison d'une plantule par pot. Les pots sont ensuite transférés en serre dans à une température moyenne de 18-22 °C, humidité relative 60-70 % et lumière normale du jour. L'arrosage a été effectué quotidiennement à l'eau distillée pendant six semaines (Figure 16).

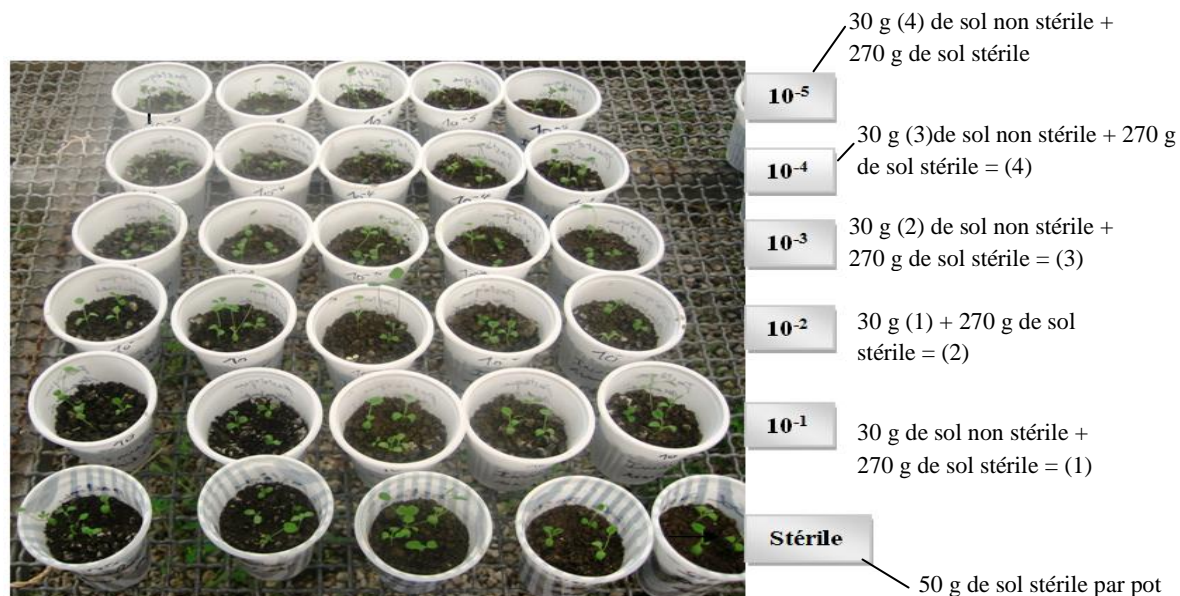


Figure 16 : Dispositif expérimental du test MPN

2.7.2 Coloration et observation des systèmes racinaires

Après six semaines, le système racinaire entier est récolté et coloré selon la méthode de Philips et Hayman (1970) précédemment décrite, mais étant donné l'âge jeune des plantules, 15 minutes de KOH et 10 minutes au bleu de Trypan suffisent pour mettre en évidence la mycorhization. Le système racinaire de chaque plant, mis dans une boîte de Pétri est observé à la loupe binoculaire. La plante est jugée mycorhizée lorsque le système racinaire présente au moins un point de colonisation (pénétration d'un hyphes dans la racine). Chaque notation est 1 ou 0 selon qu'il y a ou n'y a pas d'infection mycorhizienne visible.

2.7.3 Calcul du pouvoir mycorhizogène

Cette estimation se fait par l'intermédiaire de la table d'Alexander (1965) à partir des racines mycorhizées ou non mycorhizées obtenues pour chacun des niveaux de dilutions et pour les 5 répétitions. La lecture de la table se fait en définissant la dilution la moins concentrée (P1) pour laquelle la mycorhization est observée dans les cinq répétitions et si ce cas ne se présente pas on prend celle où on trouve le maximum de plants mycorhizés. Le nombre de plants colonisés dans les deux dilutions successives représente donc le P2 et le P3. Les trois valeurs P1, P2 et P3 seront reportées sur la table pour en déduire un nombre qui servira à la détermination du MPN pour 50 g de sol initial, en multipliant ce nombre par le facteur de dilution de P2, le nombre de propagules par kilogramme de sol est alors calculé.

3. Evaluation de la biodiversité et de l'abondance des spores de CMA dans les champs cultivés en pastèque

3.1 Extraction des spores

Une prospection de la diversité mycorhizienne et leur abondance a été effectuée dans deux champs cultivés en pastèque, le champ Ben Amar et champ Ben Azzouz. La diversité des champignons a été déterminée par la description morphologique des spores CMA et leur abondance a été estimée selon que les morphotypes soient dominante (+++), fréquente (++) ou juste présente (+).

Les spores des champignons mycorhiziens sont souvent libres dans le sol et peuvent donc être séparées des fines particules de sol par tamisage humide par les méthodes précédemment décrites. Chaque fraction de sol retenue dans chaque tamis est récupérée dans une boîte de Pétri et observée à la loupe binoculaire. Ainsi les spores détectées ont été récoltées au moyen d'une micropipette et

leur morphologie décrite par observation microscopique. Les spores de chaque morphotype ont été montées entre lames et lamelles dans une goutte des réactifs biochimiques: le polyvinyl alcool-acide lactique-glycerol (PVLG) ou un mélange de PVLG et du réactif de Melzer (1:1 V/V), une petite pression est appliquée sur la lamelle afin d'écraser délicatement les spores et faire rompre leur paroi, ce qui permet de mettre en évidence au mieux leur structure.

L'identification des spores, basée sur leur taille, leur pigmentation, l'ornementation et les caractéristiques de leur paroi et de leur hyphe suspenseur, a été réalisée à l'aide de comparaison avec les spécimens-types (Janusz Blazkowski) sur INVAM (site : 6).

CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Communautés mycorhiziennes et abondance des spores CMA des champs de pastèque

Les champs Ben Amar et Ben Azzouz, cultivés en pastèque sont peu diversifiés (Figure 17), seulement quelques morphotypes appartenant au genre *Glomus* ont été observés avec une similitude dans les espèces rencontrés. On soupçonne la présence des espèces *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* et *Glomus constrictum*, certains morphotypes n'ont pas pu être identifiés : *Glomus* sp1 de couleur rouge brun foncé formant des grappes, *Glomus* sp2 de couleur jaune brun récupéré dans le tamis de 100 µm à 160µm et *Glomus* sp3 de couleur jaune doré.

Le morphotype le plus dominant au champ de Ben Amar est le *Glomus constrictum* suivie de *Glomus intraradices* et *Glomus* sp1 tandis que le *Glomus mosseae* et *Glomus* sp3 sont peu présent. Au champ de Ben Azzouz *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus constrictum*, *Glomus* sp3 sont présents avec la même fréquence (Tableau 3).

Communément, les champs agricoles sont pauvres en CMA, sans doute dû aux pratiques culturales qui modifient la diversité et diminuent la quantité des propagules mycorhiziennes (Fortin et al, 2008).

Des morphotypes de sporocarpes ont été trouvés, aux champs Ben Amar et Ben Azzouz certains amas de sporocarpes ressemblant à ceux de *Glomus intraradices*.

Tableau 3 : Diversité et abondance en spores dans les champs Ben Amar et Ben Azzouz cultivés en pastèque

+++ dominant (abondant), ++ fréquent, + présent.

Sol de la station Ben Amar	Sol station Ben Azzouz
<i>Glomus mosseae</i> +	<i>Glomus mosseae</i> ++
<i>Glomus intrarradices</i> ++	<i>Glomus intrarradices</i> ++
<i>Glomus constrictum</i> +++	<i>Glomus constrictum</i> ++
<i>Glomus</i> sp 1 ++	<i>Glomus</i> sp 1 +
<i>Glomus</i> sp2+	<i>Glomus</i> sp3 ++
<i>Glomus</i> sp3 +	
6 morphotypes	5 morphotypes

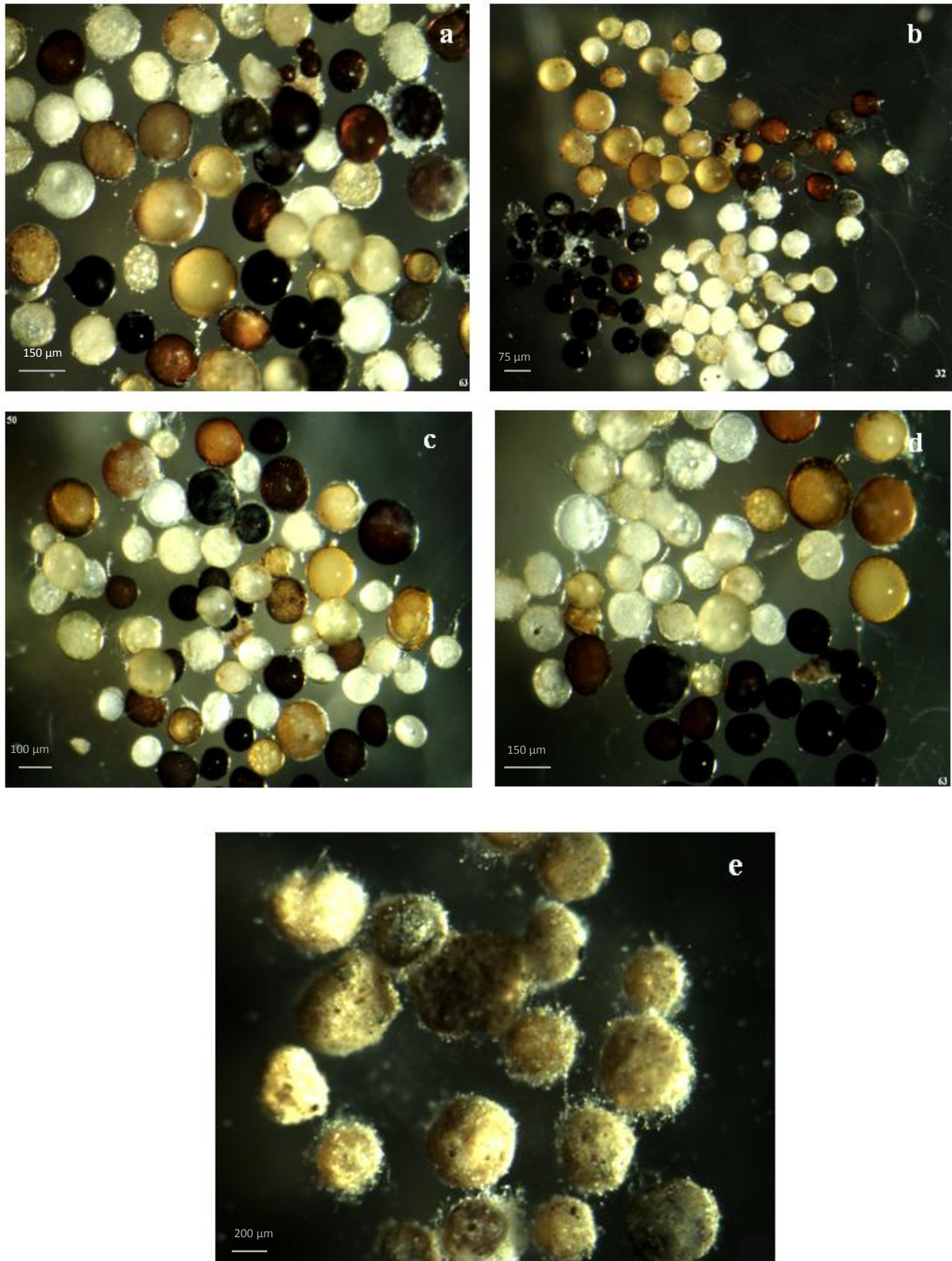


Figure 17: Diversité en champignons mycorhiziens arbusculaires (a) et (b) spores issue du sol de Ben Amar (c) et (d) spores issue du sol de Ben Azzouz (e) sporocarps

2. Descriptions de quelques morphotypes CMA extraits des champs Ben Amar et Ben Azzouz

Glomus mosseae : les spores sont globuleuses à sub-globuleuses de diamètres allant de 80 à 185 μm de couleur paille ou jaune brun, leurs parois sont composées de trois couches. La couche 1 est une couche mucilagineuse et hyaline ce colorant en rouge blanc dans le réactif de Melzer. La Couche 2 est lisse, hyaline rarement présente dans les spores matures. La Couche 3 est stratifiée, de couleur jaune pale à jaune doré. L'hyphe d'attache est en forme d'entonnoir de couleur jaune pale, sa paroi composée de 3 couches sont en continuités avec les couches de la paroi de la spore (Figure 18).



Figure 18 : Vue générale de *Glomus mosseae* (a) vue générale de la spore (b) hyphe d'attache en forme d'entonnoir (c) contenu de la spore (d) la paroi formée des trois couches

Glomus constrictum : les spores sont de forme globuleuses à sub-globuleuses rarement irrégulières de couleur rouge brun à presque noire. La paroi de la spore est composée de 2 couches. La couche 1 est une couche hyaline qui n'est pas présente dans les spores âgées. La couche 2 est stratifiée de couleur orange brun à rouge noir foncé. Hyphe d'attache est de forme cylindrique et rétrécie (Figure 19).

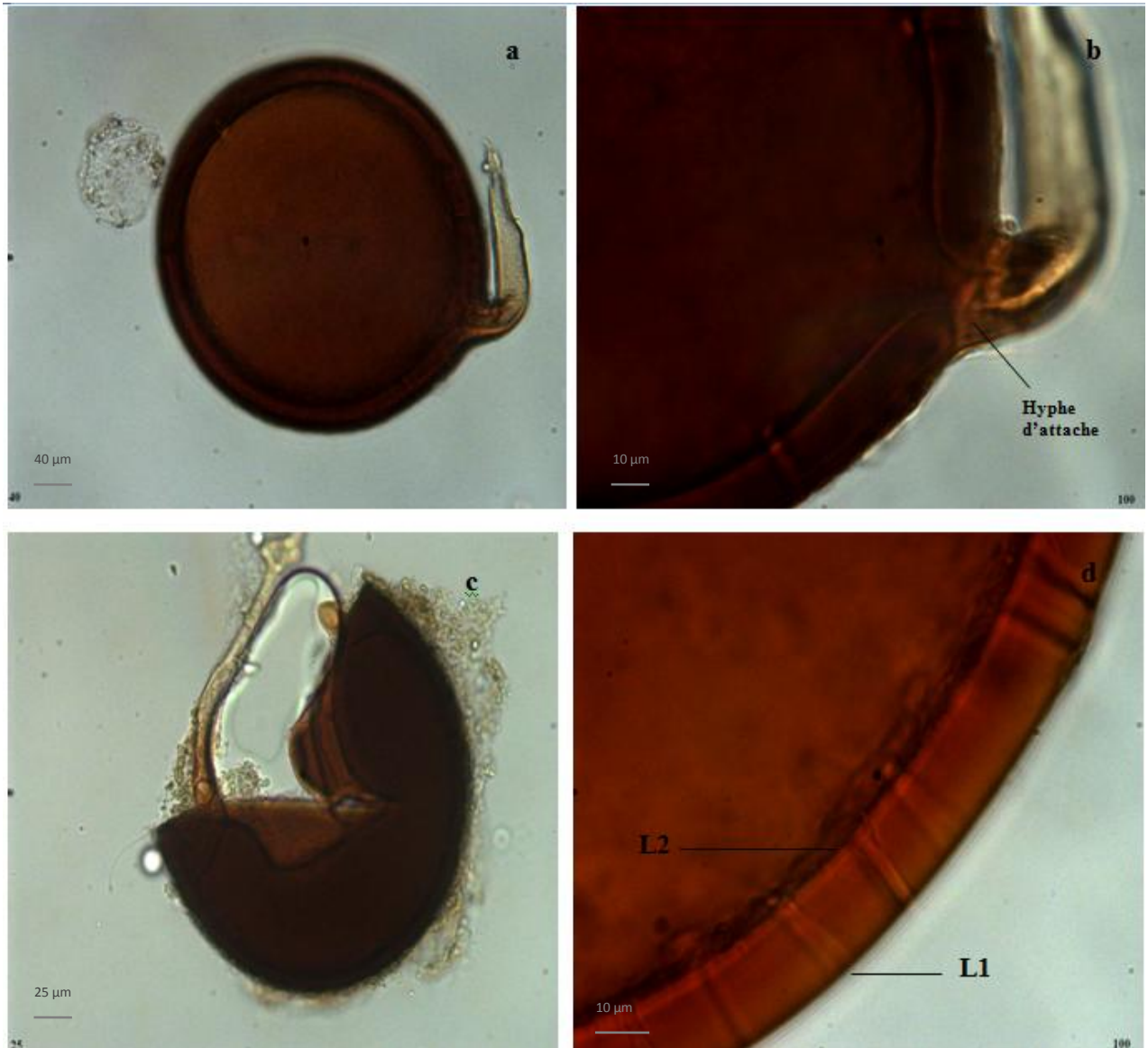


Figure 19 : Vue générale de *Glomus constrictum* (a) Vue générale de la spore de (b) hyphe d'attache (c) contenu de la spore (d) les deux couches formant de la paroi

Glomus intraradices : les spores sont de formes globuleuses à sub-globuleuses de diamètre moyen de 92 à 120 μm et leur couleur est jaune pale à jaune grisâtre et hyaline lorsqu'elles sont jeunes. Ces spores sont soit isolées ou associées en agrégats d'une centaine de spores. La paroi de la spore est constituée de trois couches. La Couche 1 est une couche mince mucilagineuse, couche 2 est semi-permanente de couleur hyaline, la couche 3 est épaisse stratifiée de couleur jaune pale à jaune grisâtre. L'hyphe d'attache est assez large entouré d'une paroi qui est en continuité avec celle de la spore.

Glomus sp1 : les spores de forme globuleuses de couleur rouge brun foncé formant des grappes (Figure 20).



Figure 20 : Vue générale de *Glomus sp1*

3. Evaluation de l'impact des champignons mycorhiziens arbusculaires autochtones et allochtones sur les plants de pastèque en condition contrôlée

Dans le but d'évaluer le meilleur apport en mycorhizes sur la croissance des plants de pastèque, différents apports à base de CMA autochtones et allochtones ont été testés.

Rappelant que huit traitements ont été effectués, une inoculation avec : (i) un inoculum commercial Symbivit renfermant des espèces de spores allochtones, (ii) un sol extrait d'un terrain cultivé de la pastèque renfermant toute la microflore y compris les CMA autochtones et (iii) des spores de CMA *G. intraradices* (Gi), *G. mosseae* (Gm) et *G. constrictum* (Gc) utilisés séparément ou en synergie et enfin des témoins cultivés sur sol stérile (TS) et sur un sol stérilisé arrosé à l'eau de lavage (TL).

Après deux mois de croissance, l'inoculation des plants de pastèque avec Symbivit a marqué un effet positif sur tous les paramètres mesurés. Une nette amélioration de la biomasse totale a été enregistrée avec un gain de plus de 80 %, une différence hautement significative a été obtenue par rapport aux deux témoins et aux inoculés avec le sol cultivé de la pastèque. Le taux de mycorhization enregistré était de 1,83 %. Le sol cultivé de la pastèque a marqué un effet négatif sur tous les paramètres mesurés et a enregistré les résultats les plus bas de l'essai, bien que le taux de colonisation (M %) enregistré était de 5,33 %. En effet la biomasse aérienne sèche, 4,63 g était plus faible même que les témoins cultivés sur sol stérile et sur sol arrosé à l'eau de lavage, soit respectivement 6,48 g et 6,24 g (Tableau 4).

De façon semblable, l'inoculation des plants de pastèque avec les spores autochtones *G.mosseae*, *G.intraradices* et *G.constrictum*, utilisées séparément ou en synergie est aussi efficace que Symbivit. Leur effet a été surtout plus marqué sur la partie aérienne de la plante que la partie racinaire. Néanmoins, ces trois espèces ont montré une différence sur la stimulation de la croissance. En effet un gain de matière sèche aérienne a varié de 39 % pour les inoculés avec Gc à 53 % pour les plants inoculés avec les trois espèces et des taux de M% allant de 0,93 à 1,7%.

Tableau 4 : Effet de l'inoculation avec un inoculum commercial Symbivit et avec un sol extrait d'un terrain cultivé de la pastèque sur la croissance, témoin stérile (TS), témoin eaux de lavage (TL)

Paramètres mesurés	Inocula Symbivit	Inocula sol cultivé de la pastèque	Témoin stérile avec eau de lavage	Témoin stérile
L (cm)	252.00 ± 18.36 a	179.00±41.23 b	231.17±32.78	232.33±25.24
P F A (g)	110.62±3.36 a	44.01±7.58 b	96.38±12.82	98.96±10.80
P F R (g)	6.72±0.83 a	3.29±1.05 b	4.92±1.12	4.80±0.81
P S A (g)	11.54±1.19 a	4.63±0.63 b	6.48±1.35	6.24±0.98
P S R (g)	0.39±0.06 a	0.22±0.07	0.22±0.05	0.25±0.03
M (%)	1.83	5.33		
Efficiéce par rapport au T stérile (%)	83.82			

longueur de tige principale (L), poids frais aérien (PFA) poids frais racinaire (PFR) poids sec aérien (PSA) poids sec racinaire (PSR), concentration en chlorophylle *a* et *b*, intensité de colonisation mycorrhizienne (M%).

Les valeurs représentent la moyenne ± écart type, n = 6, les données suivies de la lettre *a* ou *b* ne diffèrent pas significativement (P < 0,05).

Bien que cet effet n'est pas significatif, *G. mosseae* s'est révélé le plus efficace sur l'amélioration de la croissance des parties aériennes que *G. intraradices* et *G. constrictum* séparés mais pas l'effet synergique des trois espèces ensemble. Ce résultat est en accord avec les travaux de Binet et al, 2007, Porrás-Soriano et al, 2009 réalisés sur des variétés d'olivier et où *G. mosseae* a montré sa supériorité. En ce qui concerne les parties racinaires, se sont les spores de *G. constrictum* qui ont eu un effet significatif sur l'amélioration de la matière sèche racinaire par rapport aux autres espèces de spores appliqués séparément ou en synergie (Tableau 5).

Tableau 5 : Effet de l'inoculation avec les spores autochtones sur la croissance des plants de pastèque inoculés avec : Gm, Gi, Gc, mélange de spores Gm Gi Gc, témoin stérile (TS), témoin eaux de lavage (TL)

Paramètres mesurées	Inoculé				Témoin non inoculé	
	À l'aide de spores autochtones				TL	TS
	Gm	Gi	Gc	Gm Gi Gc		
L (cm)	240,17±56,61	237,50±40,09	249,67 ± 38,54	238,83 ± 46,16	231,17±32,78	232,33±25,24
P F A (g)	112,60 ± 15,39 a	99,46 ±19,41	109,16 ± 9,06 a	118,65 ± 14,29 a	96,38 ± 12,82	98,96 ± 10,80
P F R (g)	5,03 ±1,5	4,67 ±1,24	6,58±1,5 a	4,86 ±0,96	4,92 ±1,12	4,80±0,81
P S A (g)	9,52±1,08 a	8,84±1,58 a	8,72±1,06 a	9,65±1,47 a	6,48±1,35	6,24±0,98
P S R (g)	0,24 ± 0,07	0,22±0,04	0,28±0,10 a	0,25±0,07	0,22±0,05	0,25±0,03
M (%)	1,38	0,93	1,31	1,7	/	/
Efficiéce par rapport au T stérile(%)	50	40	39	53	/	/

longueur de tige principale (L), poids frais aérien (PFA) poids frais racinaire (PFR) poids sec aérien (PSA) poids sec racinaire (PSR), concentration en chlorophylle *a* et *b*, intensité de colonisation mycorhizienne (M%).

Les valeurs représentent la moyenne ± écart type, n = 6, les données suivies de la lettre *a* ne diffèrent pas significativement (P < 0,05).

Dans le cas de cette étude, le sol cultivé de pastèque a eu, un effet négatif sur le développement des plants. Ce phénomène se traduit par l'éventuel impact négatif de la microflore naturelle non mycorhizienne présente et qui a même pu être pathogène.

Généralement, dans les sols agricoles les mauvaises pratiques culturales, telles que le labour profond, la fertilisation et les traitements phytosanitaires excessifs, le désherbage ont tendance à appauvrir la terre en sa composante vivante jusqu'à devenir stérile. Un apport exogène en mycorhizes est fort utile pour une restauration et une réintroduction des mycorhizes qui assurent un meilleur approvisionnement en eau et en sels minéraux et une meilleure bio-protection et bio-régulation.

Bien que l'inoculum mycorhizien de commerce apparait être bénéfique, les effets observés ne justifient pas d'office de le préférer à l'inoculum composite de souches de CMA indigènes. Les espèces de champignons précitées s'avèrent avantageux en matière de croissance des plants, avec des performances variées sur la stimulation de la croissance (Figure 21). Guerbault (2009) note que les champignons mycorhiziens choisis pour concevoir un inoculum peuvent être sélectionnés à partir de sols où prospèrent naturellement la plante car ils sont sûrement les mieux adaptés aux conditions environnementales.

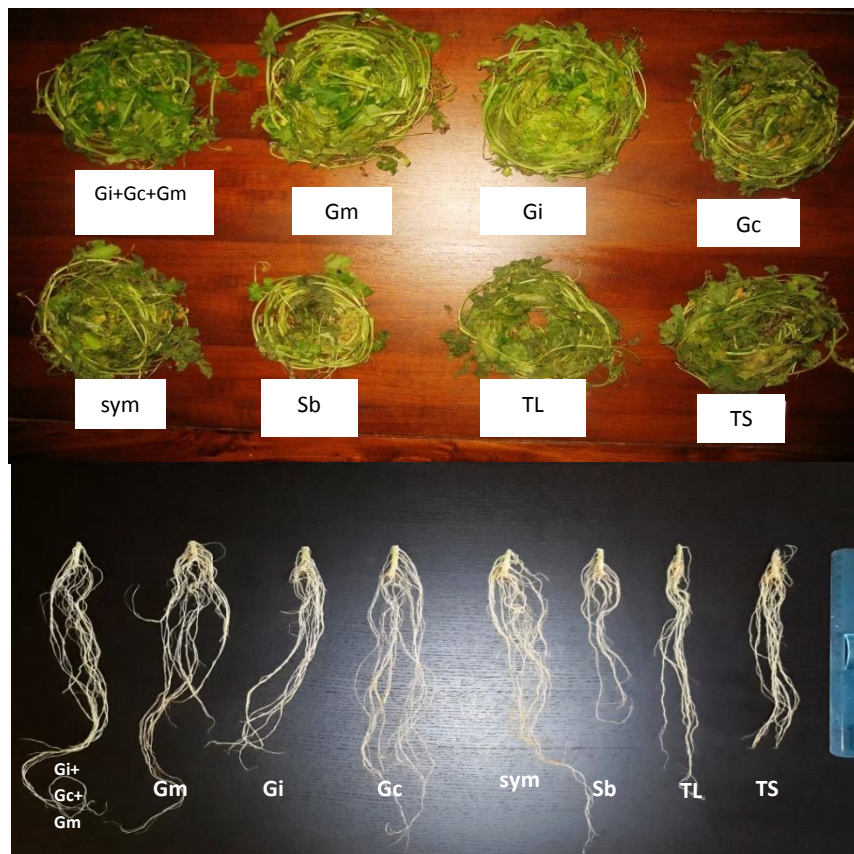


Figure 21 : Parties aériennes et racinaires des plants inoculés avec les spores *Glomus mosseae* (Gm), *Glomus intraradices* (Gi) *Glomus constrictum* (Gc) et la combinaison des trois (Gi +Gm+Gc), symbivit (Sym) sol brut (SB) témoin stérile (TS) et témoin eau de lavage (TL).

4. Evaluation de l'application de mycorhizes à arbuscules sur la culture de pastèque en plein champ station Ben Amar

L'efficacité des apports des champignons mycorhiziens allochtones sur la croissance des plants de pastèque en serre nous a incitée à vouloir les tester en conditions de plein champ. Une application de Symbivit, inoculum à base de mycorhizes de commerce a été effectuée dans le champ de Ben Amar, le but est d'évaluer son impact sur la croissance et le rendement de la pastèque.

4.1 Potentiel mycorhizogène du sol

Le nombre de propagules le plus probable (MPN : Most Probable Number) apte à générer une mycorhization a été calculé avant le lancement de l'essai et à la récolte. Les résultats ont montré que ce nombre était de 136 propagules par kg de sol au moment du semis. À la récolte, ce taux a augmenté à 2200 propagules/kg de sol pour le sol traité avec Symbivit et de 1800 propagules/kg de sol pour le sol témoin, non traité à Symbivit. Au semis, le pouvoir mycorhizogène du sol était très faible en se référant à Chantelot (2003) qui a noté qu'un MPN élevé est le reflet d'un bon état biologique du sol et que ce taux est jugé acceptable autour de 1500 et trop faible en dessous de 500 propagules par kg de sol.

Ce faible pouvoir mycorhizogène était sans doute dû au caractère obligatoire des champignons mycorhiziens qui ne peuvent survivre sans une plante hôte et qu'une fois le champ planté, ils se sont développés et le sol s'est enrichi. Les diverses pratiques culturales ont aussi un effet négatif et modifient la diversité et diminuent la quantité des propagules. Un apport d'inoculum mycorhizien exogène en plus des champignons CMA déjà présent dans le sol a augmenté encore plus le pouvoir mycorhizogène du sol en le rendant plus infectif.

Ces résultats nous laissent suggérer la nécessité de renforcer les populations mycorhiziennes existantes par l'introduction d'un inoculum efficace en terme d'amélioration des conditions de culture.

4.2 Croissance des plants de pastèque

La mycorhization était bénéfique pour la croissance des plants de pastèque qui s'est manifesté par des plants plus vigoureux et un système racinaire plus développé (Figure 22). Après trois mois de croissance, les poids de la matière sèche aérienne et racinaire des plants inoculés étaient plus grands que les témoins, une augmentation de 29 % des parties aériennes et de 31 % des parties racinaires a été enregistrée.

L'analyse statistique n'a révélée aucune différence significative pour la partie aérienne (Figure 23).

Cette stimulation de la croissance chez les plants inoculés s'accompagne d'une fréquence de mycorhization de 96,67 %, modérément plus élevée que chez les plants témoins qui ont enregistré une valeur plus faible, 76,67 %. Par contre les taux de mycorhization (M%) sont presque identiques, soit respectivement 4,50 % et 4,40 % pour les plants inoculés et leurs témoins.



Figure 22 : Parties fraîches aériennes et racinaires des plants de pastèques inoculés et les témoins non inoculés

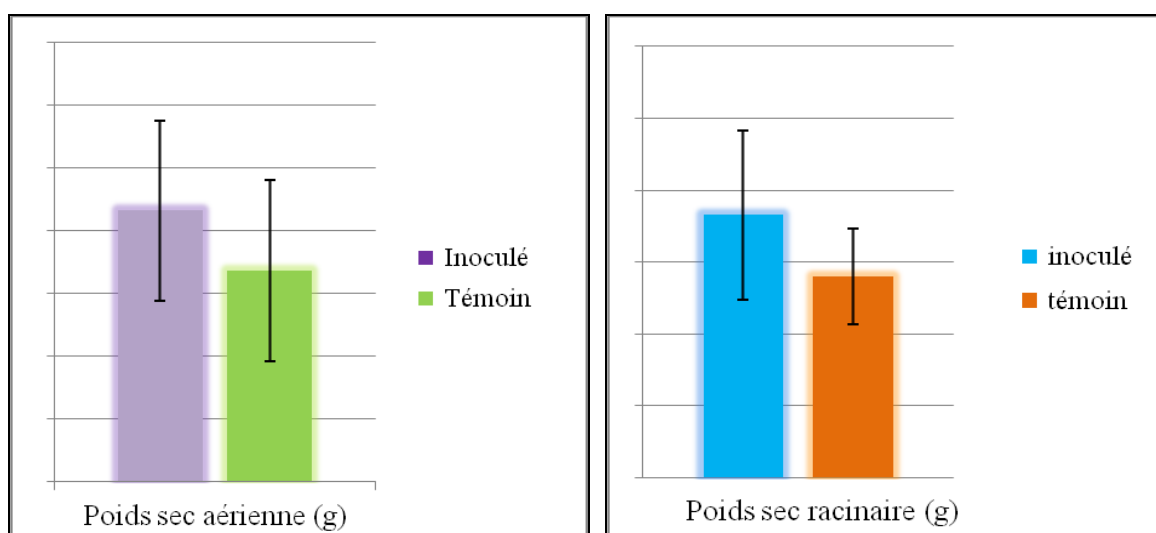


Figure 23 : Poids de la matière sèche de la partie aérienne et racine des plants de pastèque inoculés et témoins

4.3 Production et rendement

A la récolte, les fruits ont été dénombrés, pesés et classés en catégorie du plus grand au plus petit.

La production est significativement meilleure au seuil de 10 % pour les parcelles inoculés par Symbivit avec 256,47 t/ha par rapport aux parcelles témoins avec 177,96 t/ha. Symbivit a donc considérablement amélioré le rendement, avec un gain de 44,12 %.

De même, cet apport d'inoculum a augmenté le nombre de fruit, 35 000 fruit/ha pour les plants inoculés contre 23 611 fruits/ha pour les témoins non inoculés, soit un gain de 32,54 % (Tableau 6).

Tableau 6: Nombre de fruit et rendement des parcelles traitées et les témoins non traités station Ben Amar

Production	rendement parcelle traitée (t/ha)	rendement parcelle témoin (t/ha)
Rendement t/ha	256,47	177,96
Gain (%)	44,12	
Nombre de fruit/ha	35 000	23 611
Gain (%)	32,54	

La qualité de la récolte en nombre de fruit et en calibre estimé en catégories de poids ont été déterminés en se référant aux classes de poids (P), grand fruit ($P > 10$ kg), fruit moyen ($7\text{kg} < P < 10$ kg) et petit fruit ($P < 7$ kg).

Les résultats ont montré que les parcelles traitées ont donné plus de fruit à gros calibre (poids), soit 17 fruits contre 14 dans la parcelle témoin. Un poids unitaire moyen de 11,72 kg pour les inoculés significativement différent des témoins qui ont enregistré 10,54 kg. La différence dans le nombre s'est creusée relativement dans la catégorie des fruits moyens et elle est devenue important dans la catégorie des fruits à petit calibre (Tableau 7). Aucune différence significative n'a été obtenue entre les poids moyens unitaires.

Tableau 7 : Poids et nombre de fruit par catégorie de poids station Ben Amar

Paramètres mesurés	Inoculé P > 10kg	Témoin P > 10kg	Inoculé 10kg<P<7kg	Témoin 10kg<P<7kg	Inoculé P < 7 kg	Témoin P < 7 kg
Nombre de fruit	17	14	47	37	62	34
Poids Total (kg)	199,30	147,55	388,60	300,40	355,40	192,70
Poids moyen ± écart type	11,72±1,16	10,54±0,56	8,26±0,84	8,12±0,87	5,41±0,99	5,67±0,92

5. Fertilisation raisonnée interaction fertilisants et mycorhizes sur la culture de pastèque dans la station d'El Karma

Un développement optimal de la culture de la pastèque nécessite que tous les facteurs physico-chimiques intervenant dans la croissance des plants soient réunis et en particulier l'interaction fertilisation-mycorhization.

Un essai association de fertilisants chimiques appliqués à doses recommandées habituelles (100 % NPK) et à des doses réduites (50 %) combinés aux champignons mycorhizogènes dans la culture de la pastèque a été effectué dans la station d'El Karma.

5.1 Potentiel mycorhizogène

Le nombre le plus probable de propagules apte à générer une mycorhization (MPN) du champ de la station d'El karma a été calculé avant le lancement de l'essai et après la récolte.

Les résultats obtenus étaient assez variables, le pouvoir mycorhizogène du sol avant le départ de l'essai était moyennement riche, soit 760 propagules /kg de sol. Ce nombre a augmenté à la récolte pour tous les traitements appliqués, atteignant un maximum de 2400 propagules/kg de sol pour la parcelle traitée aux mycohrizes exogènes et enrichi à 50 % NPK (Tableau 8), pour les parcelles inoculé 0% et 100 % NPK il été de 1840 propagule/kg de sol, 2200 propagule/kg de sol pour les témoins à 0% NPK, 1640 propagule/kg de sol pour les témoins 50% NPK et 2000 propagule/kg de sol témoin à 100 % NPK.

Tableau 8 : Pouvoir mycorhizogène des parcelles d'El Karma

	MPN (nombre de propagule/kg de sol)
Avant expérience	760
Témoin 0 %	2200
Témoin 50 %	1640
Témoin 100 %	2000
Inoculé 0 %	1840
Inoculé 50 %	2400
Inoculé 100 %	1840

5.2 Colonisation mycorhizienne des plants de pastèque

Dans les conditions de cette expérience, l'apport d'engrais chimiques semble avoir un effet négatif sur les mycorhizes allochtones qui s'est reflété sur les valeurs de fréquence (F%) et le taux de mycorhization (M%) (Figure 24). En effet, en l'absence d'apport chimique la fréquence et le taux de mycorhization étaient relativement élevés soit respectivement (F) 76,67 % et (M) 6,23% pour les plants inoculés contre (F) 46,67 % et (M) 4,70 % pour les plants non inoculés. Dans les parcelles où 50 % des doses recommandées de NPK ont été appliquées, la fréquence et le taux de mycorhization enregistrés ont commencé à diminuer pour les plants inoculés avec (F) 63,33% et (M) 5,00% et à augmenter pour les plants témoins de la même catégorie (F) 60,00 (M) 6,07 %. Constat pareil a été trouvé pour les parcelles enrichi en NPK à 100 % où la fréquence et le taux de mycorhization ont diminué pour les plants inoculés avec (F) 60,00% et (M) 3,60% bien qu'elle n'est pas vraiment augmentée pour les plants témoins avec (F) 60,00 % et (M) 5,80 %.

Ces résultats laissent à penser que l'engrais chimique a constitué une source de stress pour les champignons allochtones de commerce qui a ralenti leur installation alors que les champignons mycorrhizogènes autochtones bien adaptés à ces milieux et conditions ont mieux réagi à ce stress.

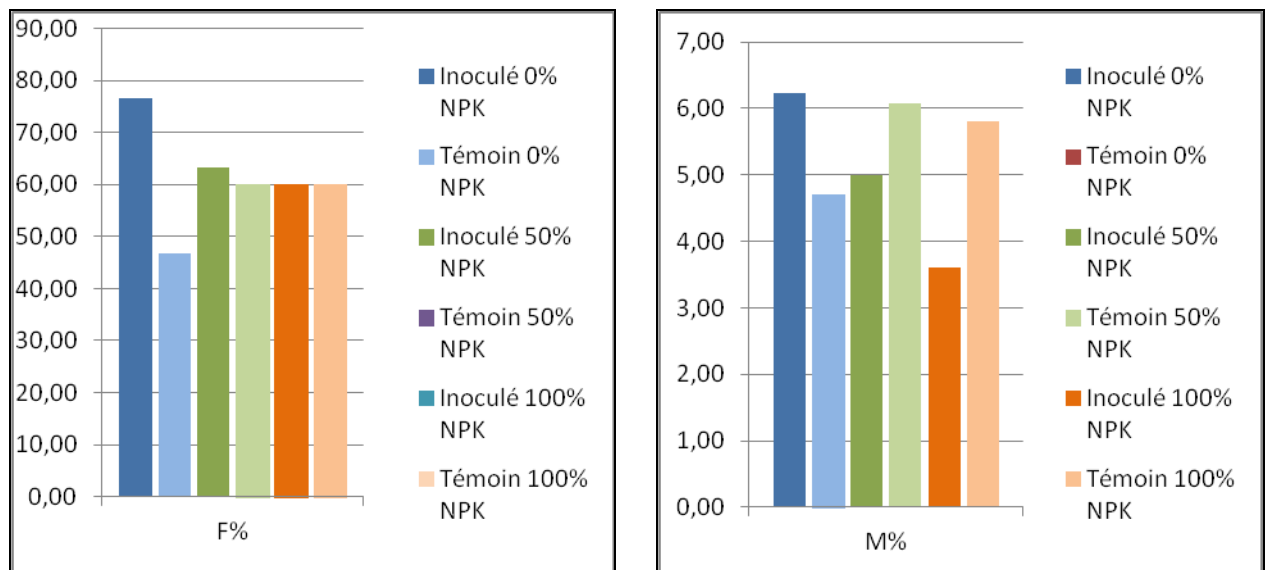


Figure 24: Fréquence et taux de mycorhization des racines de pastèque aux différents traitements station EL karma

5.3 Croissance des plants de pastèque

La combinaison de l'inoculum mycorrhizogènes aux diverses doses d'engrais chimiques a eu des effets variables sur la biomasse des plants de pastèques. En l'absence de fertilisant (0% de NPK), la biomasse aérienne sèche des plants inoculés a augmenté significativement de 86 % par rapport à leur témoin non inoculés. Par ailleurs, l'ajout d'engrais chimique semble avoir un effet néfaste sur les mycorhizes exogènes apportés au sol. La biomasse des plants inoculés a diminué en comparaison à leurs témoins non inoculés. En effet, la biomasse fraîche et sèche des plants inoculés de la parcelle traitée à 100 % NPK a diminué, soit respectivement de 27 % et 17 % par rapport aux plants témoins et de 33 % et 22 % dans la parcelle traitée à 50 % de NPK (Figure 25).

Ces résultats sont en accord avec ceux de l'estimation de la mycorhization, effectivement, les fréquence et le taux de la colonisation mycorhizienne était plus faible dans les parcelles traités avec Symbivit combiné aux engrais chimique.

D'une manière générale, la fertilisation excessive affecte les mycorhizes. Marx et Hatchet (1977) attestent qu'une augmentation de la disponibilité en azote et en phosphore dans les solutions du sol accroît la synthèse protéique et la synthèse de composés phosphorylés (acides nucléiques, ADN et

ARN, phosphates d'inositol) ce qui entraîne une diminution de la teneur en sucres solubles de la racine, or la teneur en sucre soluble de la racine détermine les possibilités de nutrition de l'associé fongique et donc le taux de la colonisation mycorhizienne.

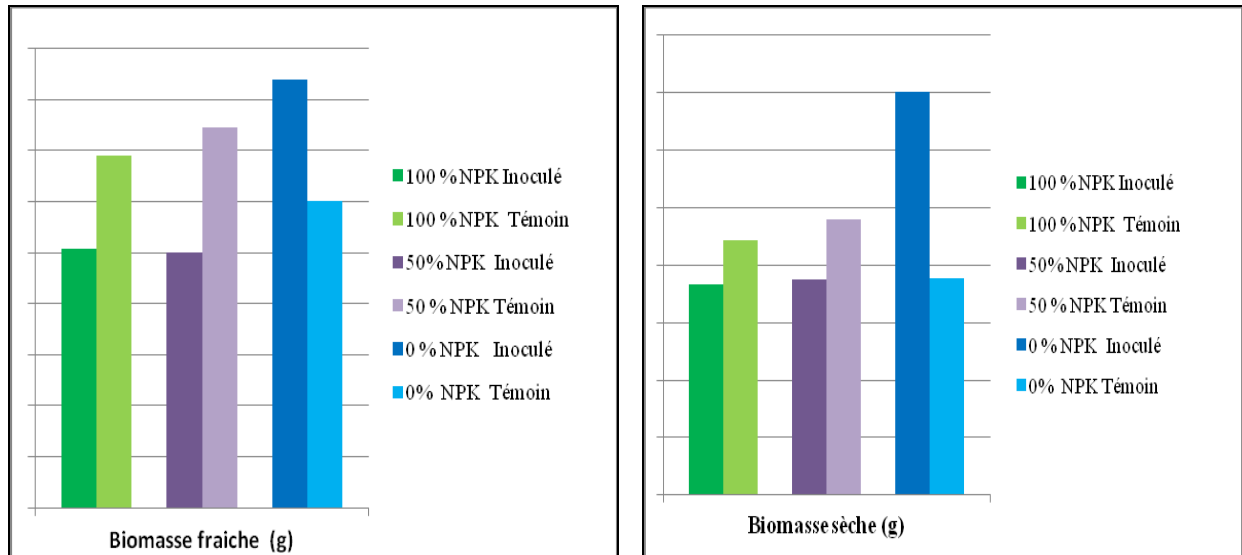


Figure 25 : Biomasse fraîche et sèche totale des plants inoculés et les témoins non inoculés dans les parcelles traitées station El Karma

De cet essai il en ressort que la meilleure croissance des plants de pastèques a été obtenu chez les plants inoculés et sans fertilisants chimiques, suivi des plants inoculés ayant reçu une dose réduite NPK, soit de moitié (50 % NPK). Toutefois, dans les sols plus pauvres en éléments nutritifs, les mycorhizes seules ne vont pas pouvoir rivaliser les engrais chimiques, la meilleure combinaison serait donc de réduire à 50 % NPK et d'apporter un inoculum en plus des populations mycorhiziennes déjà installées dans le sol.

5.4 Production de fruits et rendement

La totalité de la production de fruit a été pesé, le rendement par bloc calculé et les fruits dénombrés.

En l'absence d'apport d'engrais chimique (NPK), le nombre de fruit dans les parcelles inoculés était supérieur aux témoins, un gain de 57 % a été observé. De même pour les parcelles traitées à 50% NPK, un gain de 64 % a été enregistré pour les parcelles inoculées par rapport à leurs témoins. Les parcelles inoculées à Symbivit et traitées à 100 % NPK ont données un nombre presque identique à leurs témoins avec un gain très faible, 3,84 %.

De ce résultat, il en ressort que la meilleure combinaison de traitement était de 50 % NPK des doses recommandées avec apport de mycorhizes exogènes où nous avons eu le plus grand gain en terme de nombre de fruit (Tableau 9).

Tableau 9 : Nombre de fruits par traitement station El Karma

	0 % NPK		50% NPK		100 % NPK	
	Inoculé	Témoin	Inoculé	Témoin	Inoculé	Témoin
Nombre de fruits	33	19	33	20	27	26
Nombre de fruits/ha	22 222	14 074	24 444	14 815	20 000	19 259
Le gain (%)	57 %	/	64 %	/	3,84 %	/

En se référant aux classes de poids (P), grand fruit ($P > 7$ kg), fruit moyen ($5 \text{ kg} < P < 5 \text{ kg}$) et petit fruit ($P < 5 \text{ kg}$) (Tableau 10). Dans la catégorie des grands fruits à plus de 7 kg c'est à 100% et 50 % NPK inoculés que nous avons obtenu les plus gros fruits en nombre et en poids et qui étaient significativement supérieur aux témoins. Néanmoins les plants inoculés ont donnés beaucoup plus de petits fruits inférieur à 5 kg par rapport au témoin, même constatation a été faite précédemment à la station de Ben Amar.

Tableau 10 : Poids des nombre de fruits par catégories de poids station El Karma

	0 % I	0%T	50%I	50%T	100%I	100%T
Nombre fruit p > 7 kg	10	11	14	12	14	14
Total fruit p > 7 kg	89.70	104.60	147.50	111.10	159.20	132.90
Moyenne ecart type	8.97 ±1.53	9.50 ± 2.63	10.53±2.51	9.25 ±1.58	11.37±2.33	9.49±1.23
Nombre de 7kg<p< 5kg	7	6	2	6	5	6
Total fruit 7kg<p< 5kg	40	36.9	12.5	38.6	29	24.3
Moyenne ecart type	5.71 ±0.61	6.15±0.36	6.25 ±0.35	6.43 ±0.33	5.9 ±0.75	6.07 ±0.68
Nombre de fruit p < 5 kg	13	2	17	2	8	8
Total fruit p < 5 kg	31.7	8.7	38.5	9.5	18	16.5
Moyenne ecart type	2.43 ± 1.53	4.35 ± 0.21	2.26 ± 1.28	4.75 ±0.21	2.25 ±1.19	2.07 ±1.53

Les résultats des rendements exprimés en t/ha sont consignés dans la figure 26. Ainsi, l'apport d'engrais chimique à une dose de 100% NPK, soit la dose habituelle utilisée par les agriculteurs a permis une hausse de rendement de 15% par rapport aux plants non traités. Un gain de 6% a été obtenu lorsque la dose apportée en NPK est réduite à 50%. Par ailleurs, l'association de mycorhizes aux engrais chimiques, a modifié ces gains, par ce fait, une augmentation de 30% a été obtenue à 100% NPK et 26% en réduisant la dose de moitié (50% NPK). L'apport d'engrais chimique a permis une hausse du rendement mais cette augmentation a été plus importante en combinant les fertilisants chimiques à l'inoculum mycorhizien. Du moins, la meilleure combinaison de traitement a été de 50% NPK combiné à l'inoculum Symbivit. Toutefois, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative. Ce résultat représente un intérêt économique et écologique intéressant, une réduction des apports d'engrais chimiques de moitié réduira ainsi les coûts de productions et réduira aussi leurs impacts polluants sur les sols.

Au terme de cette étude, il ressort que l'utilisation des champignons mycorhiziens combinés au fertilisants chimiques peut rivaliser voir même dépasser les engrais chimiques employer seuls que nous devons penser diminuer progressivement en agriculture si nous cherchons à protéger notre environnement et à préserver notre santé.

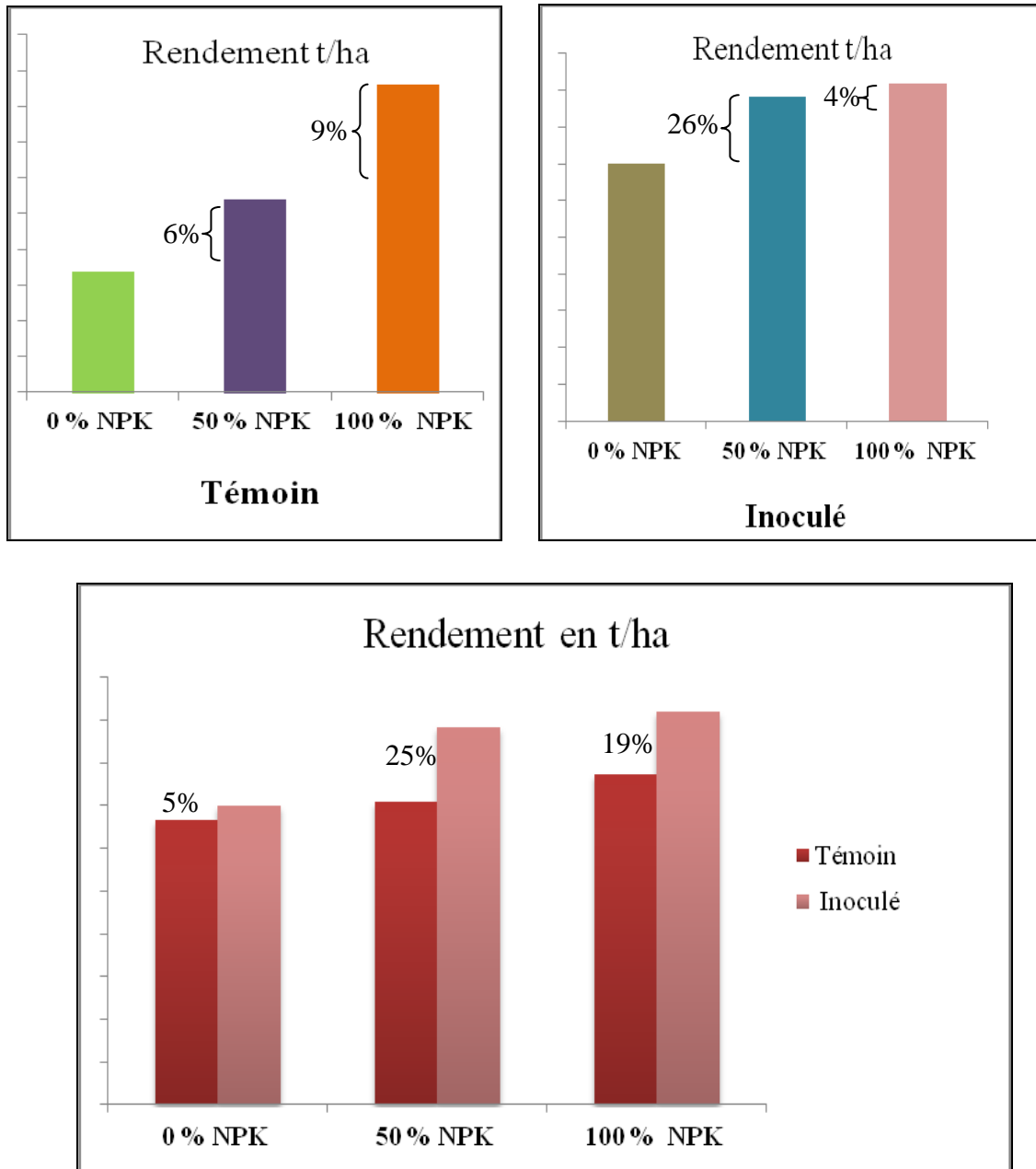


Figure 26 : Gain de rendement par dose de NPK entre parcelles inoculés et témoins station El Karma

Conclusion

Conclusion

Dans le cadre de cette étude, divers essais sur les effets des mycorhizes appliqués sur une culture maraichère la pastèque ont été menés aussi bien dans des conditions contrôlées de serre que dans les conditions de plein champ.

Dans l'expérience dirigée en serre, nous avons testé l'effet de champignons mycorhizogènes à arbuscules présents naturellement dans un sol cultivé de pastèque et toute sa microflore, les CMA allochtones apportés sous forme d'un inoculum de commerce Symbivit et enfin CMA autochtones, *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* et *Glomus constrictum* extraits d'une oliveraie et dont leur effet positif sur la croissance de l'olivier a été prouvé.

L'inoculation avec le sol cultivé en pastèque non stérilisé a montré un effet négatif sur le développement des plants de pastèques, sûrement dû à la microflore naturelle non mycorhizogène présente qui peut être même pathogène. L'inoculum mycorhizogène de commerce s'est révélé bénéfique, de même que les espèces CMA autochtones appliquées séparément ou en synergie. De ces résultats, nous en déduisons l'utilité de renforcer les populations naturelles mycorhizogènes présentes dans les sols agricoles par des apports exogènes de CMA. Le but est de palier à leur perte dû aux pratiques culturales qui détruisent le potentiel de la mycorhization et priver ainsi les plantes de leurs symbiotes fongiques qui assurent leur bio-fertilisation, leur bio-régulation et leur bio-protection.

A partir des résultats obtenus en serre, un essai en plein champ a été lancé afin d'évaluer l'effet de l'application de mycorhizes à arbuscules sur la culture de pastèque. En effet, l'apport supplémentaire de champignons mycorhizogènes à arbuscules sous forme d'inoculum a permis une augmentation du pouvoir mycorhizogène du sol qui devient plus infectif, assurant ainsi une bonne colonisation des racines, qui se traduit par une amélioration de la croissance des plants et par conséquent une hausse du rendement.

Une deuxième expérience effectuée en plein champ avait pour but d'évaluer l'effet de Symbivit sur des parcelles traitées ou non à des doses différentes de fertilisants synthétiques, appliquées à des doses recommandées couramment utilisées par les agriculteurs et à des doses réduites. Les résultats ont révélés qu'en absence de fertilisants NPK, l'inoculation des plants de pastèque par Symbivit s'est montrée bénéfique. En effet, en l'absence d'apport chimique la fréquence, le taux de mycorhization et le pouvoir mycorhizogène des sols étaient relativement élevés permettant une

meilleure croissance et rendement par rapport aux plants témoins non inoculés. Néanmoins l'ensemble des données démontre que l'utilisation de l'inoculum mycorhizien combiné à l'engrais chimique à 50 % des doses recommandée a donné les meilleurs résultats en matière de gain de rendement soit 26 % en combinant à la fois apport Symbivit et dose réduite de moitié d'NPK, contre un gain de 30% pour la double quantité en NPK.

De cet essai il en ressort que malgré l'apport d'engrais de synthèse a constitué une source de stress pour les champignons allochtones qui a ralenti leur installation, il a permis de donner des rendements meilleurs que les témoins. Cependant, le meilleur traitement en terme de gain de rendement était celui des plants inoculés ayant reçu une dose 50 % NPK. Toutefois, les mycorhizes seules ne vont pas pouvoir rivaliser les engrais chimiques, la meilleure combinaison serait donc de réduire l'utilisation d'engrais de synthèses et d'apporter un inoculum en plus des populations mycorhiziennes déjà installées dans le sol. Ceci laisse envisager que les recommandations d'application en engrais chimiques pourraient possiblement être diminuées d'au moins la moitié en appliquant de l'inoculum mycorhizien. Cette réduction d'apport d'engrais chimiques présente un avantage économique et écologique intéressant. Le choix des champignons autochtones comme inoculum s'avère être plus intéressant que les champignons allochtones, car ils sont mieux adaptés aux conditions environnementales locales.

Les résultats de nos essais ont démontré l'avantage d'appliquer la biotechnologie des mycorhizes en agriculture maraichère pour l'amélioration du rendement et l'utilisation plus rationnelle des fertilisants de synthèses et le développement d'une agriculture durable. Néanmoins, des études complémentaires prenant en compte d'autres cultures et d'autres modes de traitements tels que l'exploitation des espèces CMA indigènes les plus performants en matière de gain de rendement devrait être envisager.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

* **Alexander M (1965)**, Most Probable Number method for microbiol populations. *In : Black CA,* (Eds), *Methods of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties.* American soc. Argon. Madison, wis. 1467 - 1472.

B

* **Bethlenfalvay GJ, Lindermann RG (1992)**, Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA Special Publication, Madison, USA. 1992, 124 p.

***Binet MN, Lemoine MC, Martin C, Chambon C, Gianinazzi S (2007)**, Micropropagation of olive (*Olea europaea* L.) and application of mycorrhiza to improve plantlet establishment. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 43: 473-478.

***Brundrett M (1991)**, Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances. Ecological Research* 21: 171-313.

***Bolan NS (1991)**, A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, vol. 134, , pp. 189-207.

***Bonfante-Fasolo P (1984)**, Anatomy and morphology of VA mycorrhizae, *In VA mycorrhiza*, Powell, CL et Bagayaraj, DJ, CRC Press, Boca Raton, 5-33.

***Borstler B, Renker C, Kahmen A, Buscot F (2006)**, Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in two mountain meadows with differing management types and levels of plant biodiversity. *Biol Fertil Soils* 42:286–298.

* **Bothe H, Klingner A, Kaldorf M, Schmitz O, Esch H, Hundeshagen B, Kernebeck Botanisches H (1994)**, Biochemical approaches to the study of plant-fungal interactions in arbuscular mycorrhiza Institut, Universitiit zu Kdln, Gyrhofstr. 15, D-50923 K6ln (Germany).

C

* **Chantelot E (2003)**, Activité biologique des sols « Méthode d'évaluation », Fiche rédigée à partir du document sur les méthodes d'évaluation de l'activité biologique de l'ITAB.

D

***Daniels GW, Skipper HD (1983)**, Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil in *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. *American Phytopathology Society* (Ed), Washington DC. 29-35.

***Davies FT, Potter JR, Linderman RG (1992)**, Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P concentration-response in gas exchange and water relations. *Physiologia Plantarum*, 87: 45-53.

***Dickson S, Smith SE, Smith FA (1999)**, Characterization of two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Allium porum* : colonization, plant growth and phosphate uptake. — *New Phytologist*, vol. 144, , pp. 163-172.

***Douds DD, Nagahashi G, Reider C, Hepperly R, (2007)**, Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biol. Agric. Hortic.* 25:67-78.

E

***Esquinas-Alcazar JT, Gulick PJ (1983)**, Genetic resources of Cucurbitaceae – a global report. *International Board for Plant Genetic Resources*.

F

***Fitter AH (1991)**, Implication for functioning under natural conditions. *Experientia* 47(1991) 350-355.

***Fortin JA , Plenchette C, Piche Y (2008)**, les mycorhizes la nouvelle révolution verte, édition Multi Mondes.

***FortinJA (2013)**, les mycorhizes en agriculture et horticulture : le model canadien, revue jardins de france de la société nationale d'hoticulture de France et de ses sociétés adhérentes, numéro 622, pp14-15.

***Frank AB (1877)**, Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustenflechten.— *Beiträge zur Biologie der Pflanz en* , vol. 2, pp. 123-2 00.

***Fraser PD, Bramley PM (2004)**, The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progr Lipid Res* 43:228–265.

G

***Gerdemann JW, Nicholson TH (1963)**, Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46: 235-244.

***Gobat JM, Aragno M, Matthey W (2003)** - Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (Ed).

***Guerbault S (2009)**, Les mycorhizes outils d'une horticulture et d'une agriculture durables. *Jardins de France.* 497: 19-25.

H

***Harley JL, Smith S (1983)**, Mycorrhizal symbiosis, Academic Press, 1-32, New York.

***Harley JL (1989)**, The significance of mycorrhiza. *Mycological Research* 92: 129-139.

***Hetrick BAD (1984)**, Ecology of VA mycorrhizal fungi. In: Powell, C.LÍ., Bagyaraj, D.J. (Eds.), VA Mycorrhizae. CRC Press, Boca Raton.

J

Janos DP (1980), Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12, 56-64.

K

***Kayal C, Higgs D, Kirnak H, Tas I (2003)**, Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and waterstressed conditions. *Plant Soil* 253:287–292.

L

***Lambers H, Mougél C, Jaillarrd B, Hinsinger P (2009)**, Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. *Plant Soil.* 321: 83-115.

***Li M, Liu RJ, Li XL (2004)**, Influences of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and Fusarium-wilt disease of watermelon in field. *Acta Phytopathol Sinica* 34(5):472–473.

***Liu RJ, Chen YL (2007)**, Mycorrhizology. Science Press, Beijing (in Chinese). Smith SE, Read DJ (1997) Mycorrhizal symbiosis, 2nd edn. Academic, London.

***Liu RJ, Jiao H, Li Y, Li M, Zhu XC (2009)**, Advances in the study of species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Chinese J Appl Ecol 20:2301–2307 (in Chinese, with an English abstract).

***Lovato P E, Schuepp H, Gianinazzi S (1995)**, Application of arbuscular mycorrhizal fungi in orchard and ornamental plants. In: Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology. Varma A. et Hock B. (eds): Springer Heidelberg, Germany. pp: 521-559.

M

***Mallick MFR, Masui M (1986)**, Origin, distribution and taxonomy of melons. Sci Hort 28:251–261.

***Marx DH, Hatch AB, Mendicino JF (1977)**, High soil fertility decreases sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*.—Canadian Journal of Botany, vol. 55, n° 12, pp. 1569-1574.

***Morton JB, Benny GL, (1990)**, Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order Glomales and Gigasporineae and two new families *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae* with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37: 471-491.

***Moser M, Haselwandter K (1983)**, Ecophysiology of mycorrhizal symbiosis, in: Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, vol. 12, pp. 392-421. Eds O. L. Lange. P. S. Nobel, C. B. Osmond and H. Ziegler. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.

***Mosse B (1973)**, Advances in study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. Annual Review of phytopathology. 11: 171-196.

***Mousain D (1991)**, Ectomycorhization et tolérance des arbres à la sécheresse. Dans : Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'Etude de l'Arbre, Ed. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 167-174.

N

***Niemira BA, Safir GR, Hammerschmidt R, Bird GW (1995)**, Production of prenuclear minitubers of potato with peat-based arbuscular mycorrhizal fungal inoculums. *Agron. J.* 87:942-946

P

***Peyronnel B, Fassi B, Fontana A, Trappe JM (1969)**, Terminology of Mycorrhizae. *Mycologia*, 61 : 410-411.

***Phillips JM, Hayman DS (1970)**, Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158–160.

***Pitrat M, Chauvet M, Foury C (1999)**, Diversity, history and production of cultivated cucurbits. In: Proc 1st Int Symp on Cucurbits. *Acta Hort* 492:21–28.

***Porrás-Soriano A, Sorano-Marintín ML, Porrás-Piedra A, Azcón P (2009)**, Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. *Journal of Plant Physiology*. 166 : 1350-1359 J.

S

* **Schtiapp H, Dehn B, Sticher H (1987)**, Interaktionen zwischen VA-Mykorrhiza und Schwermetallbelastungen. *Angew. Bot.* 61 85-96.

***Schüßler A, Schwarzott D, Walker C (2001)**, A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Myc. Res.* 105: 1413-1421.

***Shi ZY, Diao ZK, Xu Q, Li M, Liu RJ (2006)**, Effects of media and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of watermelon. *J Laiyang Agric College (Natural Science)*23(1):1-6.

***Smith SE, Read DJ (1997)**, *Mycorrhizal symbiosis*. Second edition. Academic Press ; Harcourt Brace and Company Publishers, 605p.

***Subramanian KS, Charest C (1997)**, Nutritional, growth, and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to vesicular mycorrhizal inoculation during and after stress at tasseling. *Mycorrhiza*, 7: 23-25.

T

***Tommerup IC (1984)**, Persistence of infectivity by germinated spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Trans Br Mycol Soc* 82:275–282.

***Trouvelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V (1986)**, Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: physiology and genetics aspects of mycorrhizae. Gianinazzi-Pearson V et Gianinazzi S (Eds), 1st ESM, INRA Press, Paris, 217-221 p.

W

* **Wang MY, Diao ZK, Liang MX, Liu RJ (2005)**, Advances in the study of AM fungal diversity in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica* 25:2544–2549.

* **Wehner T (2008)**, watermelon, North Carolina State University, Department of Horticultural Science, todd_wehner@ncsu.edu.

Z

***Zeven AC, de Wet JMJ (1982)**, Dictionary of cultivated plants and their regions of diversity, 3rd edn. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.

Site internet

***Site 1 : Wikipedia :pastèque** : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pastèque> consulté le : 28/01/2013.

***Site 2 :Wikipedia citruline** : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Citrulline> consulté le : 23/12/2013.

***Site 3 : Food and agriculture organisation of united nations** : economical and social Department : the statistics division ; <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> consulté le : 12/11/2013

***Site 4 : Le Tacon F (1985)**, principaux types mycorhiziens actuels représentés sur une coupe transversale de racine : svt.ac-dijon.fr/schemassvt/IMG/mycorhizes.doc consulté le : 02/01/2014.

***Site 5: Invam** sur le site : <http://invam.wvu.edu/the-fungi/classification/glomaceae>. **Consulter** : 28/10/2013

***Site 6 : Janusz Blaszkowski** sur Site web : <http://www.agro.ar.szczecin.pl/%7Ejblaszkowski/Species%20descriptions%20of%20AMF.html>

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Tableau de calcul de MPN du sol de Ben Amar avant et après expérience.

Sol champ Ben Amar	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	stérile	MPN (nombre de propagule/Kg de sol)
Avant expérience	2/5	0/5	0/5	1/5	0/5	0/5	136
Après expérience inoculé	5/5	2/5	1/5	5/5	2/5	2/5	2200
Après expérience témoin	3/5	4/5	2/5	2/5	4/5	2/5	1800

Annexe 2 : Tableau de calcul de MPN du sol d'El karma avant et après expérience.

Sol champ el karma	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	stérile	MPN (nombre de propagule/Kg de sol)
Avant expérience	4/5	2/5	3/5	4/5	1/5	0/5	760
Témoin 0 %	2/5	2/5	1/5	1/5	0/5	0/5	2200
Témoin 50 %	2/5	2/5	2/5	1/5	0/5	0/5	1640
Témoin 100 %	2/5	2/5	1/5	1/5	0/5	0/5	2000
Inoculé 0 %	3/5	3/5	1/5	0/5	1/5	0/5	1840
Inoculé 50 %	3/5	3/5	2/5	2/5	1/5	0/5	2400
Inoculé 100 %	1/5	1/5	3/5	1/5	0/5	0/5	1840

Annexe 3 : Taux de fréquence et de mycorhization expérience de serre.

	F%	M%
Inoculé avec Gm	96.55	1.38
Inoculé avec Gi	93.10	0.93
Inoculé avec Gc	93.75	1.31
Inoculé avec Gm+Gi+Gc	90.00	1.70
Inoculé avec symbivit	83.33	1.83
Inoculé avec sol brut	83.33	5.33
Témoin eau de lavage	30	0.30
Témoins stéril	47.67	0.47

Annexe 4: Taux et fréquence et de mycorhization expérience de Ben Amar.

	F%	M%
Inoculé	96.67	4.50
Témoin	76.67	4.40

Annexe 5 : Taux et fréquence et de mycorhization expérience d'El karma.

	F%	M%
Inoculé 0% NPK	76,67	6,23
Témoin 0% NPK	46,67	4,70
Inoculé 50% NPK	63,33	5,00
Témoin 50% NPK	60,00	6,07
Inoculé 100% NPK	60,00	3,60
Témoin 100% NPK	60,00	5,80

Annexe 6 : Poids sec des parties aériennes racinaires des plants de pastèque de l'expérience de Ben Amar.

	inoculé	témoin
Poids sec aérienne (g)	216,18 ± 71,90	168,10 ± 72,26
poids sec racinaire(g)	7,308± 2,36	5,595± 1,32

Annexe 7 : Rendement par bloc de l'expérience de Ben Amar.

	Bloc 1 inoculé	Bloc 2 inoculé	Bloc 3 inoculé
total	368,200	226,800	328,300
Nombre	45	40	41
Moyenne	8,182	5,670	8,007
Superficie m ²	36	36	36
Superficie ha	0.0036	0.0036	0.0036
Poids en tonne	0.3682	0.2268	0.3283
Rendement en tonne/ha	102.27	63	91.1944

Total du rendement inoculé : 256,464 tonne/ha

	Bloc 1 témoin	Bloc 2 témoin	Bloc 3 témoin
total	225,55	207,10	208,00
Nombre	29	28	28
moyenne	7,777	7,396	7,428
Superficie m ²	36	36	36
Superficie ha	0.0036	0.0036	0.0036
Poids en tonne	0,2255	0,2071	0,2080
Rendement en tonne/ha	62,638	57,527	57,777

Total du rendement témoin : 177,942 tonne/ha

Annexe 8 : Poids frais et secs des parties aériennes et racinaires des plants de pastèque expérience d'El karma.

	100 % NPK		50 % NPK		0% NPK	
	Inoculé	Témoin	Inoculé	Témoin	Inoculé	Témoin
Moyenne poids frais aérien (g)	993.60 ± 351.927	1352.80 ± 208.815	974.200 ± 228.505	1466.00 ± 376.437	1648.00 ± 488.784	1178.200 ± 390.914
Moyenne poids frais racine (g)	20.20 ± 8.899	27.600 ± 5.03	25.200 ± 12.256	26.00 ± 3.937	27.800 ± 9.867	22.40 ± 1.96
Moyenne poids sec aérien (g)	178.400 ± 44.618	214.600 ± 34.53	181.80 ± 42.014	233.00 ± 71.993	343.600 ± 95.086	183.400 ± 64.334
Moyenne poids sec racine (g)	5.254 ± 2.709	7.500 ± 1.000	5.310 ± 4.405	6.600 ± 1.517	7.400 ± 3.209	5.000 ± 1.581

Annexe 9 : Rendement et gain de rendement expérience El karma.

Traitement	0% NPK		50 % NPK		100 % NPK	
	Inoculé	Témoin	Inoculé	Témoin	Inoculé	Témoin
Rendement (t/ha)	350.01	333.75	441.09	353.79	459.30	386.19
Gain (%)	5 %		25 %		18 %	

Annexe 10 : Table d'ALEXENDER (1965) pour déterminer le nombre le plus probable de propagules de champignons mycorhizogène dans un sol.

P ₁	P ₂	Most probable number for indicated values of P ₃					
		0	1	2	3	4	5
0	0	-	0.019	0.036	0.054	0.072	0.090
0	1	0.019	0.036	0.055	0.073	0.091	0.11
0	2	0.037	0.055	0.074	0.092	0.11	0.10
0	3	0.056	0.074	0.093	0.11	0.13	0.15
0	4	0.075	0.094	0.11	0.13	0.15	0.17
0	5	0.094	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
1	0	0.020	0.040	0.060	0.090	0.10	0.12
1	1	0.040	0.061	0.081	0.10	0.12	0.14
1	2	0.061	0.082	0.10	0.12	0.15	0.17
1	3	0.093	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19
1	4	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22
1	5	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
2	0	0.045	0.068	0.091	0.12	0.14	0.16
2	1	0.068	0.092	0.12	0.14	0.17	0.19
2	2	0.093	0.12	0.14	0.17	0.19	0.22
2	3	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.25
2	4	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.29
2	5	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32
3	0	0.078	0.11	0.13	0.16	0.20	0.23
3	1	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27
3	2	0.14	0.17	0.20	0.24	0.27	0.31
3	3	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.35
3	4	0.21	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40
3	5	0.25	0.29	0.32	0.37	0.41	0.45
4	0	0.13	0.17	0.21	0.25	0.30	0.36
4	1	0.17	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42
4	2	0.22	0.26	0.32	0.38	0.44	0.50
4	3	0.27	0.33	0.39	0.45	0.52	0.59
4	4	0.34	0.40	0.47	0.54	0.62	0.69
4	5	0.41	0.48	0.56	0.64	0.72	0.81
5	0	0.23	0.31	0.43	0.58	0.76	0.95
5	1	0.33	0.46	0.64	0.84	1.1	1.3
5	2	0.49	0.70	0.95	1.2	1.5	1.8
5	3	0.79	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5
5	4	1.3	1.7	2.2	2.8	3.5	4.3
5	5	2.4	3.5	5.4	9.2	16	-

Annexe 11 : Grilles d'évaluation de la colonisation mycorhizienne des racines.

	0	1				2				3				4				5						
		A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0			
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
29																								
30																								
Tot																								

Résumé

Des expériences ont été menées pour évaluer le bénéfice potentiel de la mycorhization sur une culture maraichère : la pastèque (*Citrullus lanatus*) durant l'année 2012 et 2013.

Des essais comparatifs en conditions contrôlés de serre sur le mode d'inoculation avec des spores de CMA indigènes, des CMA allogène de commerce et la microflore naturelle d'un sol cultivé de la pastèque ont été effectués.

Des applications d'inoculum mycorhizogène de commerce dans les conditions pratiques de plein champ ont été opérées sur deux sites. Le champ Ben Amar sans apport d'engrais de synthèses et le champ El Karma qui a été traité ou non à NPK, appliquées à des doses recommandées couramment utilisées par les agriculteurs (100% NPK) et à des doses réduites (50 %NPK). Les mesures relevées ont concernées des paramètres de croissance, rendement calibre et nombre de fruits.

Les résultats ont révélés qu'en conditions contrôlées, l'inoculum de commerce était significativement le plus efficace, de même que les espèces de champignons du genre *Glomus* se sont avérées bénéfiques, d'où l'intérêt de renforcer les populations naturelles mycorhizogènes présentes dans les sols agricoles par des apports supplémentaires de CMA pour palier à leur perte dû aux pratiques culturales. En plein champ l'inoculation a eu des effets bénéfiques sur la croissance des plants de pastèques et le rendement. L'apport supplémentaire de CMA Combiné à l'engrais chimique 50 % NPK des doses recommandées donne les meilleurs résultats en matière de gain de rendement. Toutefois, l'application des mycorhizes seules ne vont pas pouvoir rivaliser les engrais de synthèse en agriculture maraichère, mais pourraient diminuer leurs applications et ainsi améliorer le rendement tout en préservant l'environnement.

Mots clés : Mycorhizes, champignon mycorhizogène à arbuscule, *Citrullus lanatus*, bio-fertilisation, agriculture durable, réduction de fertilisation chimique.

ملخص

أجرينا تجارب لتقييم الفوائد المحتملة للميكورايزا (Mycorrhiza) على زراعة الخضروات : البطيخ الأحمر (*Citrullus lanatus*) خلال عام 2012 و 2013.

أجريت اختبارات المقارنة تحت ظروف خاضعة للتحكم للبيت البلاستيكي على طريقة التلقيح، التلقيح بأبواغ CMA محلية، تلقيح باستخدام فطريات CMA تجارية غير محلية والتلقيح بتربة حقل مزروع بالبطيخ الأحمر تحتوي على فطريات CMA محلية. تم استخدام لقاح فطريات CMA التجارية في الظروف الميدانية العملية في موقعين مختلفين. حقل بن عمار من دون استخدام أسمدة كيميائية و حقل الكرمة الذي تم معالجته أم لا بالأسمدة الكيماوية NPK، باستعمال الكمية الاعتيادية المعتمدة من طرف الفلاحين بنسبة % 100 من NPK، و كمية مخفضة إلى % 50 من NPK. كانت الفياسات المأخوذة متعلقة بمعلمات نمو النبات والإنتاج من حجم وعدد الثمار .

أظهرت النتائج المتحصل عليها أنه تحت الظروف الخاضعة للتحكم، لقاح الميكورايزا التجاري كان الأكثر فعالية و كذا أبواغ الفطريات المحلية من نوع *Glomus* التي كان لها تأثير مفيد، مما يبين أهمية دعم الفطريات المتواجدة طبيعيا في الحقول المزروعة بإسهامات إضافية لفطريات CMA لمقاومة تناقصهم بسبب مختلف الممارسة الزراعية. في الظروف العملية للحقل كان للتلقيح بالميكورايزا أثار مفيدة على نمو النبات وزيادة الإنتاج. الإسهام الإضافي لفطريات CMA مع دمجها مع الأسمدة الكيماوية NPK بنسبة % 50 من الكميات المعتمدة أعطى النتائج الأفضل من حيث إكتساب الزيادة في المحصول. إن إستعمال الميكورايزا وحده لا يمكن أن ينافس الأسمدة الكيماوية في زراعة الخضروات، لكن يمكن أن يؤدي إلى تخفيض الكمية المستعملة لتحسين المحصول و في نفس الوقت المحافظة على البيئة.

الكلمات المفتاحية : الميكورايزا، champignon mycorhizogène à arbuscule، *Citrullus lanatus*، التسميد الحيوي، الزراعة المستدامة، تخفيض التسميد الكيماوي.