

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques
Et des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'études

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master
En Sciences Biologiques
Spécialité : Diversité et Adaptation de la Flore Méditerranéenne

Thème

Mise en évidence des associations symbiotiques sous

Punica granatum L. sous climat aride

Cas du verger de Melaga Wilaya de Djelfa

Réalisé par : M^{elle} LOUNI Hadda
M^{elle} MADANI Malika

Devant le jury :

Présidente : M^{me} SMAIL SAADOUN N.

Professeur UMMTO.

Promotrice : M^{me} BOUDIAF NAIT KACI M.

M. C. A UMMTO

Examinatrice: M^{me} LARBI AIDROUS N.

M. A. A UMMTO

03. 10 2017

Remerciements

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadreur M^{me} BOUDIAF NAIT KACI M, maitre assistance et chargé de cours à l'U.M.M.T.O. qui a guidé, surveillé déroulement et l'exécution du travail de ce mémoire.

Nous remercions M^{me} SMAIL SAADOUN N Professeur à l'U.M.M.T.O pour ces précieuse orientations, son aide dans la partie expérimentale et d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de notre travail.

Nous remercions Mme LARBI AIDROUS N maître assistante classe A à L'UMMTO pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions également M^{elle} MECHIAH F et M^{me} BELKBIR A pour leur soutien et les informations.

Nous remercions les étudiants Mallek, Ouslimani et Hadim pour leur collecte des données sur terrain.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes chers parents pour leur soutien et leur sacrifice.

A ma grand-mère, à mes sœurs, à mon frère.

A toute ma famille.

A mes amie (s).

A tous ceux qui me sont chers.

Hadda

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A toute la famille Madani et la famille Aliouane.

A tous ceux qui me sont chers.

Malika

Liste des figures

Figure 1. Schéma d'un système racinaire de grenadier (Nizinski <i>et al.</i> , 2015)	4
Figure 2. Photographie de fleurs de <i>Punica granatum</i> L. (Louni et Madani, 2017).....	5
Figure 3. La structure primaire de la racine. (a) Ce schéma qui représente les premiers millimètres de l'extrémité d'une racine montre la présence de poils absorbants dans la zone de différenciation. Les racines latérales, ou secondaires, se forment plus haut. (b) Sur cette section longitudinale de l'extrémité d'une racine de monocotylédone, la coiffe est bien identifiable. (c) Le méristème apical racinaire est à l'origine de trois zones méristématiques : le protoderme, le procambium et le méristème fondamental. Au-dessus, on rencontre les zones d'élongation et de différenciation cellulaires. Le passage d'une zone à la suivante se fait de façon progressive. La coiffe possède son propre méristème, appelé zone d'entretien de la coiffe. Entre ces deux méristèmes se situe le centre quiescent au niveau duquel les cellules se divisent peu souvent (Nabors, 2008).....	9
Figure 4. Principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de la racine (Le Tacon, 1985)	12
Figure 5. Ectomycorhizes de <i>Hebeloma mesophaeum</i> sur racine de l'épicéa A (Egli et Brunner, 2002).Réseau extra- matriciel B (Read, 1984).....	13
Figure 6. Schéma représentant une section du cortex d'une racine, infectée par un champignon endomycorhizien, sur un arbre filiforme. Hyphes du champignon dans le sol (1), l'arbuscule du champignon dans le cortex interne (2), sa vésicule (3), hyphe pénétrant la paroi cellulaire corticale (4), cellule corticale non infectée (5), endoderme de la racine hôte (6), épiderme hôte(7)(Bowes et Mauseth, 2012).....	14
Figure 7. Aspect d'un arbuscule (Fortin, 2016)	15
Figure 8. Endomycorhizes arbusculaires de type <i>Arum</i> dans laquelle les structures Fongiques symbiotiques ont été colorées en bleu(A). Spires de mycélium intracellulaire stypique de type <i>Paris</i> (B) (Garbaye, 2013).....	16
Figure 9. Cycle de développement des champignons MA. La germination généralement spontanée des spores correspond à la phase a-symbiotique. Une première communication entre la plante et le champignon (avant tout contact	

physique) s'établit lors de l'étape pré-symbiotique. Ensuite, la formation d'un appressorium est suivie par la colonisation symbiotique des cellules corticales de la racine. Le développement des arbuscules met en place une interface entre la plante et le champignon où les échanges nutritionnels auront lieu. (Modifié d'après Balestrini et Lanfranco, 2006).....	17
Figure 10. Mycorhizes et nutrition minérale des plantes : un modèle unifié de fonctionnement (Strullu, 1988)	20
Figure 11. Modes de croissance des champignons endophytes dans les tissus des plantes hôtes (Kusari et Spiteller, 2012).....	24
Figure 12. Hyphe septé et foncé et microsclérotés d'une racine de <i>Zizyphus yunnanensis</i> (Zhang <i>et al.</i> , 2011).....	25
Figure 13. Délimitation administrative de la Wilaya de Djelfa et de la zone d'étude Messaâd	28
Figure 14. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la région de Messaâd (1990 – 2009). (Laadj, 2012)	31
Figure 15. Schéma montrant les points d'échantillonnage des racines.....	31
Figure 16. Conservation des racines dans l'alcool.....	32
Figure 17. Segments de radicelles montés et écrasés entre lames et lamelles	33
Figure 18. Schématisation de la méthode d'observation et de calcul de la fréquence de colonisation par les champignons mycorrhizogènes et foncés séptés.....	34
Figure 19. Radicelle de <i>Punica granatum</i> L. endomycorhizée (x 400).....	35
Figure 20. Hyphe intracellulaire (flèche) (x 400)	36
Figure 21. Hyphes intercellulaires (flèches) (x 400).....	37
Figure 22. Hyphes intra-racinaires envahissent les cellules racinaires (x 400)	38
Figure 23. Hyphes intra-racinaires (flèches blanches) portés des vésicules (flèches noirs) et des spores (tête de flèche) (x 400)	39
Figure 24. Hyphes extra-racinaires (flèches) (x 400)	40
Figure 25. Arbuscules coloré en bleu à l'intérieur de cellules corticales (x 400).....	41
Figure 26. Type « <i>Arum</i> » (x 400)	42
Figure 27. Type « <i>Paris</i> », enroulement d'hyphes (flèches) (x 400).....	43
Figure 28. Vésicules intracellulaires sous formes ovales (flèches blanches).(x400).....	44
Figure 29. Grandes vésicules sous formes allongées portées par les hyphes mycéliens (flèches noirs) (x400).....	45

Figure 30. A) petites vésicules intracellulaires sous formes arrondies (flèches rouges), B) grandes vésicules intercellulaires (flèches vertes) (x 400).....	46
Figure 31. Différentes spores intra-racinaires de genre <i>Glomus</i> , A et B) : grandes tailles, C) : petites tailles (x 400).....	47
Figure 32. Poils absorbants (flèches) (A), sans poils absorbants (B) (x 400).....	48
Figure 33. Structures arrondies (flèches) sans filaments mycéliens dans un fragment de racine (x 400)	50
Figure 34. Micro-sclérotés marron (A) (flèche blanche) et bleu (B) (flèche noir) sous formes rectangulaires (x 400).....	51
Figure 35. Micro-sclérotés marron sous formes particulières (flèches orange) (x 400).....	52
Figure 36. Endophytes associé aux champignons mycorhizogènes à arbuscules (MA) (x 400)	53
Figure 37. Filaments mycéliens mélanisés de DSE (flèches) (x 400)	54
Figure 38. Pénétration des hyphes des DSE (flèche) dans les cellules corticales (A) pour former des micro-sclérotés intracellulaires (flèches) (B) (x 400)	55
Figure 39. Cylindre centrale (flèche) colorée en bleu (x 400).....	56
Figure 40. Représentation graphique des taux d'infection des champignons mycorhizogènes arbuscules	58
Figure 41. Représentation graphique des taux d'infection par le champignon foncé septé.....	60
Figure 42. Représentation graphique des moyennes des taux d'infection par les champignons mycorhizogènes à arbuscules (MA) et foncé septé (FS).....	61

Liste des tableaux

Tableau 1. Précipitation moyenne mensuelles de Messaâd (période 1990 – 2009).....	30
Tableau 2. Températures moyennes mensuelles de Messaâd (ONM, 2009)	30
Tableau 3. Pourcentages d'infection des champignons MA	57
Tableau 4. Pourcentages d'infection des champignons FS	59

Liste des abréviations

A.N.A.T	Agence Nationale d'Aménagement des Terres.
APGII	Classification phylogénétique II
APP	Appareil pré –pénétration
Ar	Arbuscule
B	Bore
Br	Brome
C°	Degré celsius
CaCo ₃	Carbonate de calcium
Cl	Chlore
Cu	Cuivre
Cr	Chrome
Co	Cobalt
Cs	Césium
DES	Dark Septate Endophytes
EFS	Endophytes Fonsés Septés
Fe	Fer
HSVD	Hop Stunt Viroid
Hs	Hyphe suspanseur
K	Potassium
MA	Mycorhize Arbusculaire
Mn	Manganese
Mg	Magnésium
Mo	Matière Organique
N	Azote
Ni	Nickel
UMMTO	Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
P	Phosphore
Si	Silicium
VA	Vésicule Arbusculaire
VAM	Mycorhize Vésiculo – Arbusculaire
W	Wilaya
Zn	Zinc
%	Pourcentage

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	----------

Synthèse bibliographique

I. Présentation du grenadier.....	3
I.1. Origine et habitat.....	3
I.2. Description botanique	4
I.3. Cycle végétatif du grenadier	5
II. Exigence édophoclimatiques du grenadier	6
II.1. Le sol nutrition minérale.....	6
II.2. Nutrition hydrique	6
II.3. Températures	6
III. Propriétés et utilisations	6
III.1. Maladie et ravageurs	6
III.2. Activité thérapeutique	7
IV. La racine.....	7
IV. 1. La morphologie de la racine.....	7
IV.2. Anatomie de la racine.....	8
IV.3. Sécrétions racinaires	8
V. La rhizosphère	10
V.1. Différentes parties de la rhizosphère	10
V.1.1. Ectorhizosphère	10
V.1.2. Endorhizosphère	10
VI. Symbioses racinaires.....	10
VI.1. Les mycorhizes	10
VI.2. Différentes types de mycorhizes	11
VI.2.1. Ectomycorhizes	11

VI.2.2. Formation et développement des mycorhizes	13
VI.3. Endomycorhizes	13
VI.3.1. Endomycorhizes à vésicules et arbuscules	15
VI.3.2. Les endomycorhizes à pélotons	16
VI.3.3. Formation et développement des endomycorhizes	17
VI.4. Les ectoendomycorhizes	18
VI.5. Physiologie des mycorhizes	19
VI.5.1. Absorption de l'eau et des éléments nutritifs	19
VI.5.2. Agrégation des sols	19
VI.5.3. Protection contre les organismes pathogènes	20
VI.5.4. Résistance aux stress environnementaux	20
VI.6. Fonctionnement des mycorhizes	20
VI.7. Ecosystèmes steppiques ou arides et champignons mycorhizes	21
VI.8. Facteurs de propagation des mycorhizes	22
VI.9. Les mycorhizes chez les grenadiers	23
VI.10. Endophytes	24
VI.10.1. Définition	24
VI.10.2. Description et développement des endophytes	24
VI.10.3. Interaction endophytes – plante hôte	25
VI.10.4. Rôles des endophytes	26

2. Etude de milieu

1. Situation géographique de la wilaya d'étude (Djelfa)	27
2. Situation géographique de la zone d'étude	27
3. Géologie de la région d'étude	29
4. Occupation des sols	29
5. Etude climatique	30

3. Matériel et Méthodes

1. Echantonnage sur le terrain.....	31
2. Tri et conservation des racines.....	31
3. Éclaircissement et coloration des radicelles.....	32
3.1. Technique.....	32
3.2 Observation microscopique.....	33
3.3 Estimation des pourcentages de colonisation par les champignons : MA et FS ..	33

4. Résultats et discussions

1-Mise en évidence des structures de l'association endomycorhizienne.....	34
1-1-Hyphes intra et extra-racinaires.....	35
1-2- Arbuscules.....	40
1-3- Vésicules.....	42
1-4-Spore.....	45
1-5-Poils absorbants.....	46
2-Mise en évidence des structures de l'association endophytique.....	48
3-Calculs des taux d'infection par les champignons MA.....	54
4-Calculs des taux d'infection par les champignons FS.....	57
Conclusion.....	61

Références bibliographiques

Introduction

Le grenadier (*punica granatum L.*) est une espèce très peu étudiée (Oukabli, 2004). C'est une espèce pérenne tolérante à la sécheresse et capable de valoriser les sols pauvres et salins. Elle jouit de grandes capacités d'adaptation aux conditions de milieu caractérisé par une aridité climatique marquée (Melgarejo et Salazar, 2003).

La grande majorité des végétaux terrestres vivent en collaboration avec de nombreux microorganismes du sol. Parmi lesquels, les champignons mycorhizogènes.

Les fonctionnements de la symbiose mycorhizienne est basé sur des échanges réciproques entre les racines des végétaux et certains champignons du sol (Gobat *et al.*, 2003).

L'établissement de symbiose mycorhizienne entraîne l'apparition de nouveau compartiment biologique dans la rhizosphère. En modifiant la physiologie de la plante et donc les caractéristiques qualitatives et quantitatives de l'exsudation racinaire (Linderman, 1988).

Les endophytes sont des champignons qui vivent à l'intérieur des plantes d'une manière asymptomatique, sans causer d'effets néfastes pour l'hôte (Hahn *et al.*, 2008). Ils ont été retrouvés environ chez 75% des plantes mycorhizées (Mandyam et Jumpponen, 2005). Ce sont généralement des Ascomycètes qui colonisent les racines de plantes dans les différents écosystèmes (Menoyo *et al.*, 2007). Certains de ces mycoendophytes racinaires sont caractérisés par la formation d'hyphes mélanisées, inter ou intracellulaires ; ils sont appelés dark septate endophytes ou DES (Jumpponen et Trappe, 1998).

Toutes les plantes dans les écosystèmes naturels semblent établir des relations avec des champignons endophytes. L'existence de ces champignons est connue depuis la fin du 19^{ème} siècle, constituent un groupe polyphytétique très diversifié, principalement constitué d'espèces appartenant au phylum Ascomycota (Guerin, 1898).

La plupart des plantes vivent en symbiose avec des champignons endophytes et de CMA. Ces symbioses assurent la tolérance à plusieurs stress qui pourraient limiter la croissance des plantes (Khider *et al.*, 2010).

L'objectif de notre étude est de mettre en évidence la symbiose mycorhizienne et endophytique racinaires de grenadier (*Punica granatum L.*) dans une région aride. Pour cela nous avons subdivisé notre travail en quatre chapitres :

Introduction

- dans le premier chapitre, nous présenterons la description;
- le deuxième chapitre sera réservé au cadre général de la zone d'étude;
- le troisième chapitre portera l'approche méthodologique adoptée;
- le quatrième chapitre est consacré aux résultats;

Enfin une conclusion générale avec quelques recommandations et perspectives.

I. Présentation du grenadier

Le grenadier *Punica granatum* L. est un symbole de beauté et de fertilité (Oukabli, 2004), de fécondité (Lansky *et al.*, 2000). C'est un très bel arbuste ornemental ou fruitier (Polese, 2010), bien adapté au climat méditerranéen et aux zones arides. Il est très résistant et s'acclimate très bien dans de nombreux milieux (Afaq *et al.*, 2005). Cet arbuste est ramifié, caduc, parfois persistant avec une grande longévité (Mikolajski, 2007). Il est considéré comme l'une des espèces fruitières les plus anciennement connue (Mars, 2000).

Le grenadier fait partie des espèces médicinales. Il appartient à la famille de Punicacées. C'est un arbre ou arbuste buissonnant de 2 à 5 m de hauteur, légèrement épineux, au feuillage caduc et au tronc tortueux (Lairini *et al.*, 2014). Ses fleurs à l'extrémité des rameaux sont d'un beau rouge écarlate (balauste), le fruit, très connu, renfermant plusieurs graines comestibles qui est la grenade (Delille, 2010).

Il existe plus de 1000 variétés de *Punica granatum* L. (Lansky et Newman, 2007). Les critères les plus utilisés pour les distinguer sont la taille du fruit, la couleur de l'écorce, la couleur des graines, la dureté des pépins, la teneur en jus, l'acidité et l'astringence et la période de maturation (Stover et Mercure, 2007).

I. 1. Origine et habitat

Punica granatum L. appartient au genre *Punica* et à la famille des punicacées (EL Hachimi *et al.*, 2014). Cette espèce est répondue dans les pays situés autour de la mer Méditerranée, où elle est très cultivée. On la trouve surtout dans les haies et sur les roches. Cette espèce serait originaire d'Iran et Bellakhdar rappelle qu'elle fut introduite au Maghreb par les Carthaginois. En Algérie, elle est souvent subspontanée dans le Tell et cultivée dans tout le pays (Ait Youcef, 2006) où elle est aussi cultivé pour ses fleurs et ses fruits qui sont récoltés en automne (Iserin, 2001).

I. 2. Description botanique

La famille des Punicacées ne possède qu'un seul genre et comprend trois espèces différentes : *Punica nana* (Jurenka, 2008), *Punica protopunica* de l'île de Socotra, et *Punica granatum* de la région méditerranéenne, espèce la plus commune (Deysson, 1979).

Le nom de genre *Punica* a été l'appellation romaine de la ville de Carthage où poussaient les meilleurs grenadiers (Jurenka, 2008). Pour Fourasté (2002), *Punica granatum* L. a été décrit par Linné et introduit dans sa classification en 1753. Cependant, Spichiger *et al.* (2004), signalent qu'en 1998, une nouvelle classification des angiospermes est créée par un groupe de botanistes, APG. Cette classification phylogénétique, réorganise le règne végétal en fonction de critères moléculaires. Cette nouvelle organisation se compose alors de 462 familles réparties dans 40 ordres. Cette classification a été révisée en 2003, donnant naissance à la classification APGII, qui comporte 457 familles réparties dans 45 ordres. Ainsi le grenadier est classé comme suit :

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Myrtales

Famille : Punicaceae

Genre : *Punica*

Espèce : *Punica granatum*

La racine du grenadier est ligneuse, noueuse, dure et pesante (Ait Youcef, 2006). Elle est recouverte d'une écorce épaisse, coriace, ridée d'un gris-jaunâtre ou rougeâtre (Delille, 2010). Cependant, le système racinaire est plutôt de surface (60 cm), très fasciculé (Fig. 1), mais peut s'adapter selon les conditions édaphiques (Crete et Lemoine, 2014).

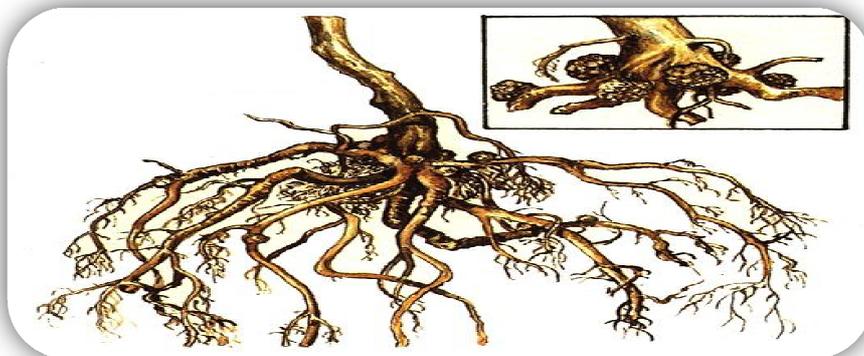


Figure 1. Schéma d'un système racinaire de grenadier (Nizinski *et al.*, 2015).

Les rameaux sont un peu épineux, érigés et anguleux (Ait Youcef, 2006 ; Bock, 2011), Toutefois, **les feuilles** sont opposées et caduques, glabres, de forme oblongues et étroitement lancéolées en spires (Iserin, 2001). Elles sont luisantes et de couleur vert foncé et leur sommet peut être obtus ou allongé (Delille, 2010).

Les fleurs portent également le nom de balaustes, sont très ornementales et disposées au sommet des rameaux. Elles sont soit solitaires, soit groupées par 2 ou 3. La fleur est grande avec 2 à 2,5 cm de diamètre et de couleur rouge écarlate (Delille, 2010). Néanmoins, Mars (2000) ; Mars et Marrakchi (2003) ont classé ces dernières en deux types :

- Hermaphrodites ou complètes et donc fertiles, dites de type « vase ».
- Mâle et donc stériles, dites de type « cloche ».

Le fruit est globuleux, rouge – brun, de la grosseur d'une orange, est surmonté des dents du calice desséchées. C'est une baie cortiquée, à péricarpe dur, divisée en plusieurs loges dont les graines ont un tégument externe rouge, pulpeux, succulent, acidulé, sucré et un tégument interne dur. Ces dernières ne possèdent pas d'albumen mais deux cotylédons foliacés, enroulés l'un sur l'autre (Fourasté, 2002).

I. 3. Cycle végétatif du grenadier

Le grenadier commence à produire à partir de 5 ans et rentre en pleine production à 7 ans (Cauchard, 2013). Le débourrement commence à la **mi-mars**, parfois au **début d'avril** (Evreinoff, 1957),

La floraison s'étend parfois du mois de **mai** à la **fin juillet**.

Pour arriver à maturité complète, les fruits exigent une période végétative prolongée, avec des pluies printanières, des étés chauds et de longs automnes secs.

La maturité des fruits a lieu **fin septembre début octobre**. Par contre, certaines variétés mûrissent en **novembre**.

Ainsi la récolte s'effectue généralement entre **fin septembre** et **octobre** lorsque la chlorophylle de la peau du fruit disparaît (Oukabli, 2004).

II. Exigences édaphoclimatiques du grenadier**II. 1. Sol et nutrition minérale**

Le grenadier s'adapte à plusieurs types de sol allant de sable pure à l'argile lourde. Il donne de meilleurs résultats en sol d'alluvions profond avec des disponibilités en eaux satisfaisantes ainsi que sur limon lourd bien irrigué. Le grenadier est une espèce exigeante en éléments fertilisants majeurs mais aussi en fer et manganèse. En l'absence d'études sur les besoins en fertilisants de cette espèce, les quantités à apporter doivent être ajustées en fonction de la richesse du sol et de l'âge du verger (Oukabli, 2004).

II. 2. Nutrition hydrique

Les arboriculteurs turcs et perses prétendent que le grenadier doit avoir « Les pieds dans l'eau et la tête au soleil » (Drouet, 2016). En effet, il est nécessaire que ses racines soient au frais et largement irriguées, afin d'obtenir des fruits de bonne qualité avec de bon rendement (Afaq *et al.*, 2005).

II. 3. Températures

Le grenadier s'adapte à de nombreux climats, des tropiques aux régions tempérées chaudes. Il peut supporter des températures extrêmes allant de -10 °C jusqu'à +40 °C (Oukabli, 2004). Les meilleurs fruits sont obtenus dans les régions subtropicales, où la période des températures élevées correspond au moment de la maturité des grenades (Afaq *et al.*, 2005).

III. Propriétés et utilisations**III. 1. Maladies et ravageurs**

Les principaux ravageurs et maladies du grenadier, sont les pucerons qui colonisent les jeunes pousses printanières. Une maladie fongique entraîne la pourriture de l'intérieur du fruit dont les graines deviennent noires à l'approche de la maturité des fruits. A ce stade, les attaques d'oiseaux sont à craindre (Oukabli, 2004).

De plus, les attaques des nématodes (*Meloidogyne incognita*) sont connues sur grenadier et contribuent à la baisse des rendements. Cette espèce peut être attaquée aussi par le virus HSVd (Hop Stunt Viroid). Le calendrier de traitements à envisager comprend donc un nombre réduit d'interventions.

III.2. Activités thérapeutiques

Le grenadier a été utilisé depuis des siècles pour ses vertus thérapeutiques. En médecine Ayurvédique. Il a été utilisé comme agent antiparasitaire, un « tonique sanguin » et pour traiter les aphtes, les diarrhées et les ulcères. Il a servi aussi de remède pour le diabète au Moyen Orient et en Inde (Jurenka, 2008). Les propriétés thérapeutiques potentielles du grenadier sont très variées et incluent traitement et prévention du cancer, les maladies cardiovasculaires, diabète, dysfonctionnement érectile et protection contre les radiations ultraviolettes. Ces activités thérapeutiques sont attribuées à différents mécanismes. La plupart des recherches se sont concentrées sur les propriétés antioxydantes (Basu *et al.*, 2009).

IV. La racine

La première structure qui émerge de la graine à la germination est la racine embryonnaire qui permet à la plantule en développement de se fixer au sol (Raven *et al.*, 2008).

La racine est un axe qui croît vers le bas (géotropisme positif) et fuit la lumière (phototropisme négative). Elle n'est pas chlorophyllienne et ne porte ni feuille, ni bourgeon (Laberche, 2010).

Elle assure une fonction d'ancrage de la plante dans son substrat et l'accumulation de réserves, et une fonction d'absorption de l'eau et des sels minéraux du sol (Roland, 1995).

IV. 1. Morphologie de la racine

L'ensemble des racines d'une plante s'organise selon trois types de systèmes principaux (Simon, 2014). **Le système pivotant**, que la plupart des Dicotylédones et des Gymnospermes possèdent, avec une volumineuse racine principale, ou pivot, dont la fonction est d'aller chercher l'eau profondément (Nabors, 2008). **Le système fasciculé** observé chez les Monocotylédones, la racine primaire est généralement éphémère (Raven *et al.*, 2008). Les nombreuses racines ne dérivent pas d'une racine principale mais ont une origine commune. Elles croissent parallèlement en faisceau (Simon, 2014) et enfin **le système adventif** qui dans certains cas peut apparaître sur des tiges, souvent au niveau des nœuds.

IV. 2. Anatomie de la racine

Selon Nabors (2008), la croissance primaire permet aux racines de s'enfoncer dans le sol et absorber l'eau et sels minéraux. L'organisation des tissus de cylindre central diffère selon qu'on ait une racine de monocotylédone ou dicotylédone. Les racines possèdent des éléments conducteurs (xylème et phloème) qui forment un cylindre placé au centre, entouré par l'écorce (Fig. 2).

IV. 3. Sécrétions racinaires

Il est connu que la racine a des sécrétions différentes qui reflètent son fonctionnement.

Le mucigel qui correspond aux composés gélatineux de nature polysaccharidique produit à la fois par la racine et les populations microbiennes de la rhizosphère (Stengel et Gelin, 1998), Ce gel favorise le contact entre les particules de sol et la surface racinaire et améliore donc le transfert des éléments minéraux et de l'eau vers la racine.

Les exsudats sont des composés solubles de faible poids moléculaire comme les sucres, les acides organiques et les acides aminés libérés par la racine par la voie passive (Lesuffleur, 2007 ; Fuchs et Hérissé, 1999). Ils sont reconnus être une source essentielle d'énergie pour les micro-organismes du sol (Chaillou, 2008).

Cependant, les lysats constituent le contenu cellulaire libéré suite à l'autolyse de cellules âgées. Les cellules de la coiffe et les poils absorbants ont une durée de vie très limitée, celles du manteau et du cortex racinaire externe dégénèrent plus ou moins rapidement. Ces cellules desquamées représentent un apport parfois très important de matière organique (Davet, 1996 ; Fuchs et Hérissé, 1999).

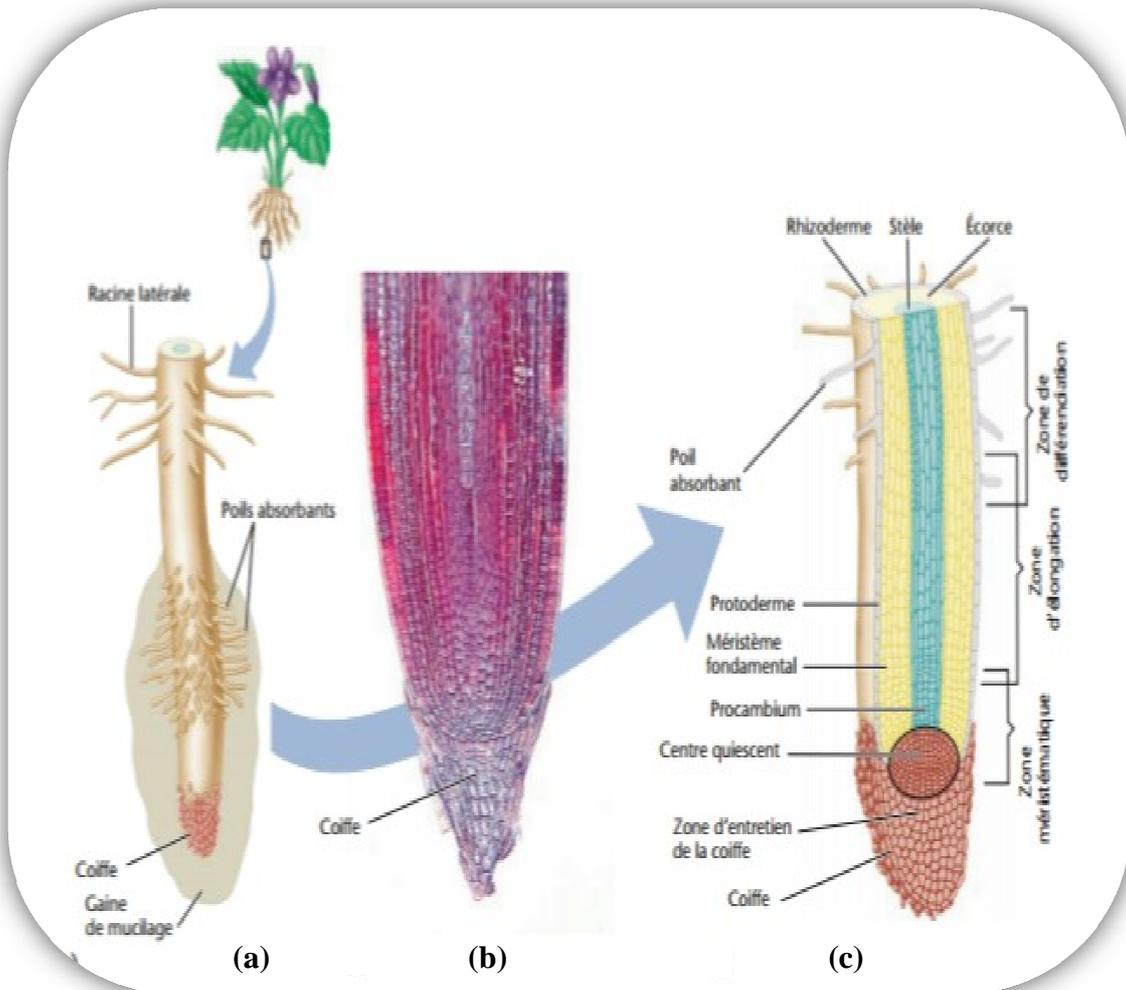


Figure 2. Le méristème apical racinaire. (a) Ce schéma qui représente les premiers millimètres de l'extrémité d'une racine montre la présence de poils absorbants dans la zone de différenciation. Les racines latérales, ou secondaires, se forment plus haut. (b) Sur cette section longitudinale de l'extrémité d'une racine de monocotylédone, la coiffe est bien identifiable. (c) Le méristème apical racinaire est à l'origine de trois zones méristématiques : le protoderme, le procambium et le méristème fondamental. Au-dessus, on rencontre les zones d'élongation et de différenciation cellulaires. Le passage d'une zone à la suivante se fait de façon progressive. La coiffe possède son propre méristème, appelé zone d'entretien de la coiffe. Entre ces deux méristèmes se situe le centre quiescent au niveau duquel les cellules se divisent peu souvent (Nabors, 2008).

V. La rhizosphère

Le terme rhizosphère (du grec *rhiza*, la racine et de *sphère*, domaine d'influence) a été utilisé pour la première fois par Hiltner (1904) pour définir la zone de sol sous l'influence des racines de légumineuses. La rhizosphère définit aujourd'hui le lieu d'interaction entre le sol, la plante et les microorganismes. Ces interactions dépendent des conditions physico-chimiques du milieu et des organismes mis en jeu (Rovira et Davey, 1971). On observe souvent dans la rhizosphère une quantité de microorganismes au moins 1000 fois plus importante que dans le sol ambiant non influencé par les racines (Fuchs et Hérissé, 1999).

V. 1. Différentes parties de la rhizosphère

Selon Pinton *et al.* (2001) et Gobat *et al.* (1998), la rhizosphère se distingue par plusieurs parties :

V. 1. 1. Ectorhizosphère

Elle correspond au volume de sol colonisé ou potentiellement colonisable par les microorganismes et influencée par ceux-ci. Sa définition peut s'étendre à la mycorrhizosphère correspondant au volume de sol qui environne une racine colonisée par un champignon mycorhizien permettant d'augmenter le volume de l'ectorhizosphère (Balandreau et Knowles, 1978).

V. 1. 2. Endorhizosphère

Elle correspond au volume de tissus racinaires. **Le rhizoplan** qui correspond à la surface même du tissu racinaire, **l'histosphère** correspondant à la région intra-tissulaire et extracellulaire de la racine où se trouvent les microorganismes et **la cytosphère** correspondant à la région intra-tissulaire et intracellulaire de la racine où se trouvent les microorganismes (Limam, 2015).

VI. Symbioses racinaires

VI. 1. Mycorhizes

Une mycorhize est une association entre la racine d'une plante et un champignon filamenteux. C'est donc l'ensemble qui constitue la mycorhize (Harley et Smith, 1983). En d'autres termes, c'est une racine colonisée par un champignon mycorhizien qui en a modifié la morphologie (Egli et Brunner, 2002). Il s'agit d'une association dans laquelle les deux partenaires retirent des avantages réciproques (Yameogo, 2009). Elle joue un rôle

prépondérant dans le fonctionnement des écosystèmes végétaux (Duhoux et Nicole, 2004). Elle est caractérisée par un échange bidirectionnel généralement bénéfique tant pour la plante que pour le champignon (Jakobsen, 1995). D'une part, la mycorhize satisfait les besoins du partenaire fongique en composés carbonés synthétisés par la plante hôte et d'autre part, elle permet à la plante hôte de bénéficier d'une meilleure nutrition minérale grâce au réseau d'hyphes extra-radiculaires constituant la phase extra-matricielle, qui s'étend bien au-delà de la zone du sol exploré par les racines (Smith et Read, 1997). Sans cette association, le champignon mycorhizogène ne peut compléter son cycle vital (Yameogo, 2009).

VI. 2. Différents types de mycorhizes

Le symbiote fongique s'associe de diverses manières avec les racines de la plante-hôte, ce qui conduit à la réalisation de structures mycorhiziennes différentes qui ont été décrites comme des ectomycorhizes, des endomycorhizes et des ectendomycorhizes (Fig. 3). Chacun de ces types mycorhiziens présente une organisation qui lui est propre (Dexheimer, 1997).

VI. 2. 1. Ectomycorhizes

Ce type de mycorhize concerne que 3 % des espèces végétales (Mousain, 1991) et se rencontre chez une grande majorité des Gymnospermes et un grand nombre d'Angiospermes, Dicotylédones principalement chez les espèces ligneuses forestières. Les partenariats fongiques sont des champignons supérieurs généralement macroscopiques Ascomycètes et surtout Basidiomycètes (Harley et Smith, 1983 ; Smith et Read, 1997 ; Fortin *et al.* , 2008).

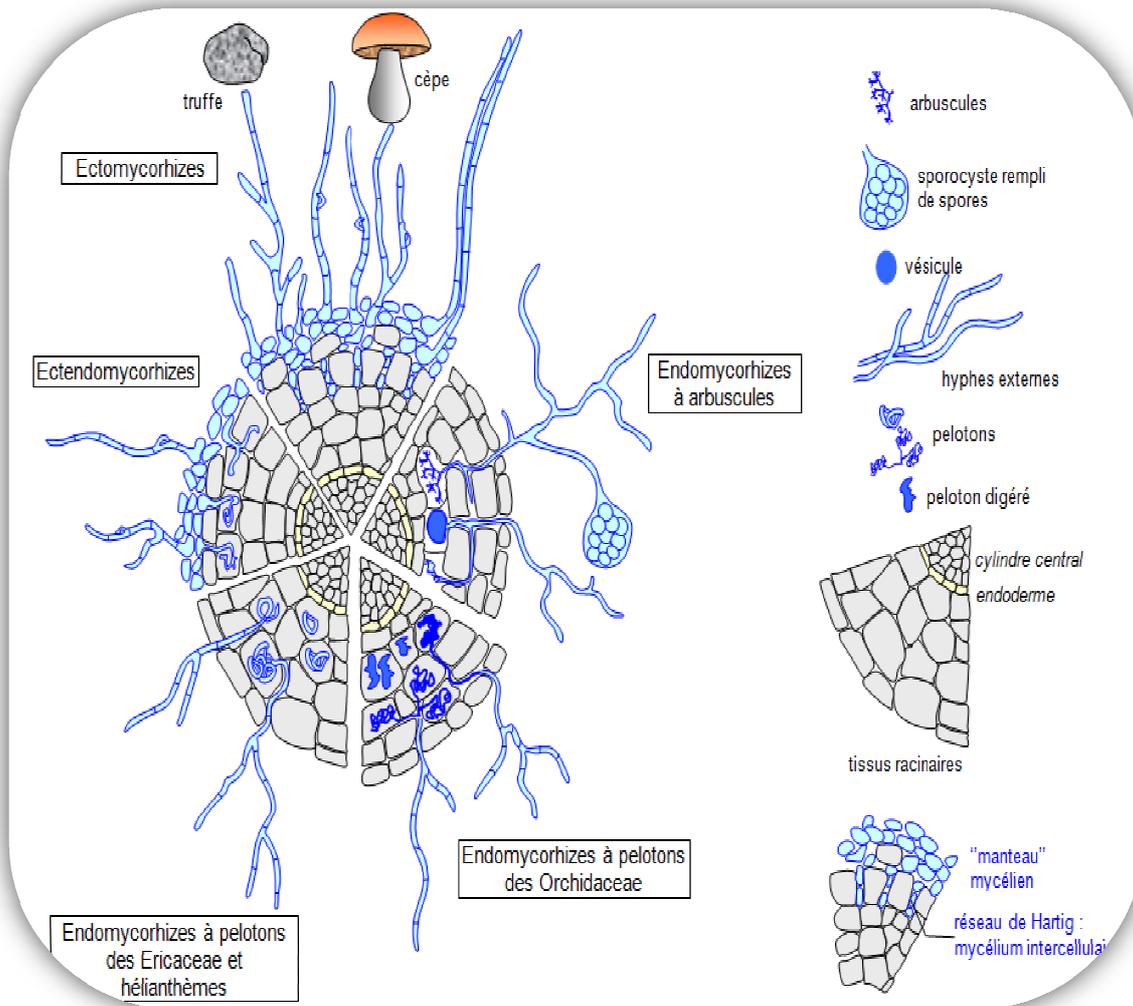


Figure 3. Principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de la racine (Le Tacon, 1985).

Les ectomycorhizes sont formées par trois composants essentiels (Fig. 3), la gaine ou manteau fongique qui entoure les radicelles en modifiant leur morphologie, ainsi les poils absorbants sont inexistantes. Les hyphes entre les espaces des cellules subéreuses et des cellules périphériques du parenchyme cortical constituant le réseau de Hartig avec un réseau d'hyphes extra radiculaires qui se développe à partir du manteau fongique dans la rhizosphère de façon très importante appelé réseau extra matriciel (Mosse, 1973). Dans le réseau mycélien l'espèce fongique impliquée forme parfois des cordons mycéliens constitués d'hyphes accolés les uns aux autres constituant des rhizomorphes associés ou non à des sclérotés, structure résultant de l'organisation d'hyphes mycéliens en pseudo tissu (Peterson *et al.*, 2004). Ce réseau extra matriciel (Fig.4.B) constitue une partie importante du système

mycorhizien car il permet une exploration très étendue du sol et par la même occasion augmente la surface d'échange du système racinaire (Nicolson, 1959 ; Mosse, 1981).

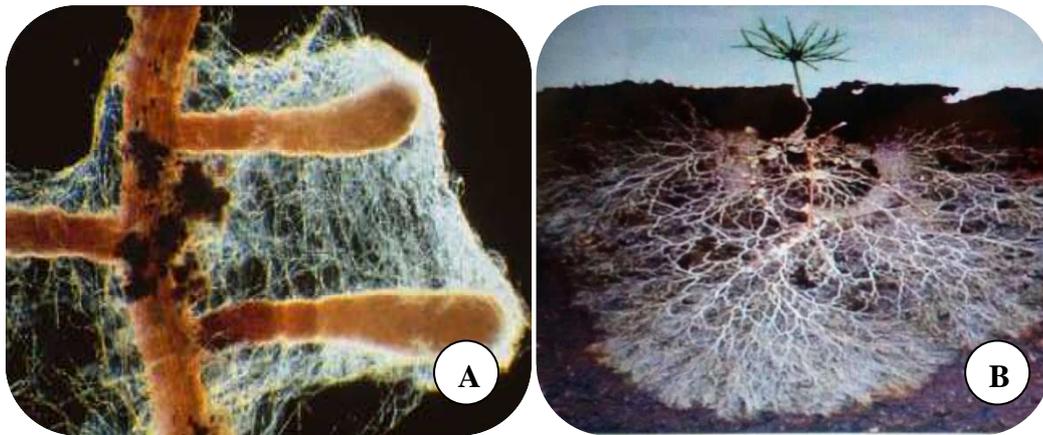


Figure 4. Ectomycorhizes de *Hebeloma mesophaeum* sur racine de l'épicéa A (Egli et Brunner, 2002). Réseau extra- matriciel B (Read, 1984).

VI. 2. 2. Formation et développement des ectomycorhizes

La formation de l'ectomycorhize se fait en quatre phases, une phase de préinfection où la germination des spores et la croissance des hyphes sont initiées dans la rhizosphère. Une phase de colonisation où en général les racines latérales sont envahies d'abord dans la zone d'élongation et se propagent selon l'allongement de la racine et la croissance des filaments qui modifient leur paroi et leur matrice extracellulaire pour s'attacher à la surface de l'hôte. Une phase de morphogenèse où la croissance importante des hyphes au contact de la racine conduit à la formation du manteau fongique ainsi qu'à la constitution du réseau de Hartig , et une phase de fonctionnement dans laquelle se constitue une nouvelle structure fonctionnelle dans l'alimentation minérale de la plante et l'apport des squelettes carbonés ou champignon (Duhoux et Nicole, 2004).

VI. 3. Endomycorhizes

Les champignons endomycorhizogènes (Fig. 5) sont des champignons microscopiques, non cultivables en l'absence de l'hôte (Yameogo, 2009). Les filaments mycéliens pénètrent plus profondément dans les cellules du cortex (Pousset, 2005). En traversant la paroi des cellules et repoussant le plasmalemme. Cependant, les membranes plasmiques du champignon et de la cellule végétale restent intactes, sans aucune communication directe entre les cellules

comme celle établie au travers de la formation de plasmodesmes. Comme les ectomycorhizes, il y a formation d'un réseau hyphes extra-matriciels explorant le sol (Louche, 2009).

Ce sont le plus répandues, concernent plus de 90 % des plantes terrestres (Cammalletti, 2012). Cette association se retrouve principalement chez les plantes cultivées, mais aussi chez certains arbres forestiers d'ont l'if et l'érable à sucre ainsi que plusieurs petites plantes des sous bois (Dechamplain et Gosselin, 2002). Elles se retrouvent ainsi sous tous les climats, dans tous les écosystèmes, et ce, indépendamment du type de sol, de la végétation ou des conditions environnementales (Dalpé, 1997).

Dans ces cellules, une structure se différencie dont la morphologie permet de distinguer plusieurs types d'endomycorhizes qui sont les mycorhizes à vésicules et arbuscules ou mycorhizes vésiculo-arbusculaires (VA, VAM) et les mycorhizes à pelotons (Dexeheimer, 1997).

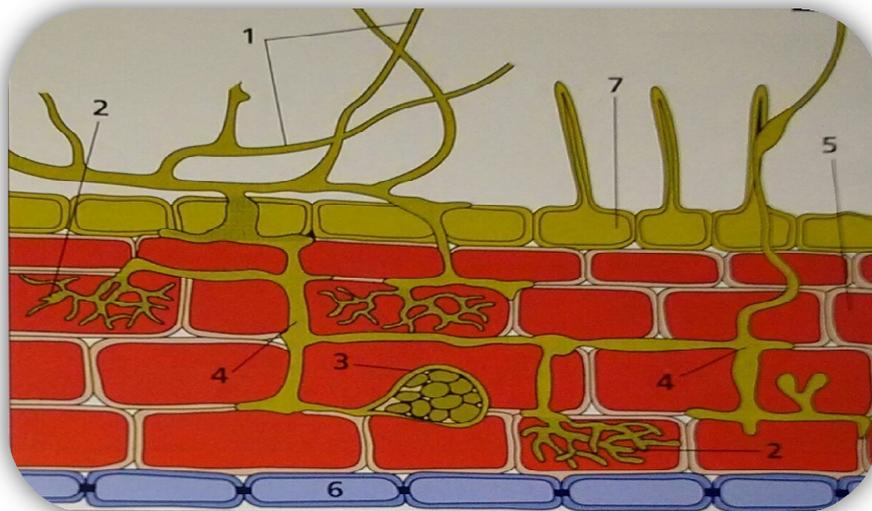


Figure 5. Schéma représentant une section du cortex d'une racine, infectée par un champignon endomycorhizien, sur un arbre filiforme. Hyphes du champignon dans le sol (1), l'arbuscule du champignon dans le cortex interne (2), sa vésicule (3), hyphe pénétrant la paroi cellulaire corticale (4), cellule corticale non infectée (5), endoderme de la racine hôte (6), épiderme hôte (7) (Bowes et Mauseth, 2012).

VI. 3. 1. Endomycorhizes à vésicules et arbuscules

Les endomycorhizes à arbuscules représentent le type mycorhizien le plus ancestral et le plus répandu dans la flore actuelle (Smith et Read, 1997), classés dans le phylum des Glomeromycota (Schüssler *et al.*, 2001). En effet, elle concerne 200 000 espèces de plantes (Bonfante et Anca 2009), les Angiospermes, les Gymnospermes, les Ptéridophytes, les Rutacées et les Bryophytes (Wubet *et al.*, 2003) . Il est estimé que l'apparition des premières endomycorhizes arbusculaires auraient eu lieu 400 millions d'années auparavant (Simon *et al.*, 1993).

Selon Morton *et al.* (1995), les spores sont parmi les moyens disponibles pour mesurer la richesse et la diversité des champignons MA dans un sol. Les hyphes du champignon issus de la germination des spores multi nucléées et qui ne peuvent croître qu'en présence d'exsudats racinaires chargés de substances phénoliques telles les flavonoïdes, pénètrent dans les cellules corticales de la racine, où ils forment des structures très ramifiées appelées arbuscules (Fig. 6) (Strullu, 1991), qui sont les structures les plus importantes du mycorhize (Mutkumar et Prakash, 2009). Ils constituent le site d'échange de nutriments entre les deux partenaires (Chiffot, 2008).



Figure 6. Aspect d'un arbuscule (Fortin, 2016).

Les hyphes intra et intercellulaires sont à l'origine des vésicules (Strullu, 1991), qui sont des structures de stockage à paroi fine, à contenu lipidique (Harley et Smith, 1983). Le

nombre de vésicules est différent suivant les partenaires fongiques et suivant les plantes hôtes. Dans cette association les poils absorbants sont rares (Strullu, 1991).

Des hyphes se développent à l'intérieur et à l'extérieur de la racine. Les structures à l'intérieur de la racine sont très variables selon la symbiose considérée et par conséquent, l'identification des mycorhizes arbusculaires sur la base du morphotype est très complexe (Dickson, 2004). Il existe deux classes morphologiques majeures, le type « *Arum* » et le type « *Paris* » Gallaud (1905). Les mycorhizes de type « *Arum* » (Fig.7.A) sont mieux décrites et plus typiques, formant un arbuscule, alors que les mycorhizes de type « *Paris* » (Fig.7.B), moins connues, mais abondantes, forment plutôt un enroulement intracellulaire. Les mycorhizes de type « *Paris* » étaient autrefois considérées comme une exception, puisque l'arbuscule définit ce qu'est la mycorhize arbusculaire (Dickson, 2004).

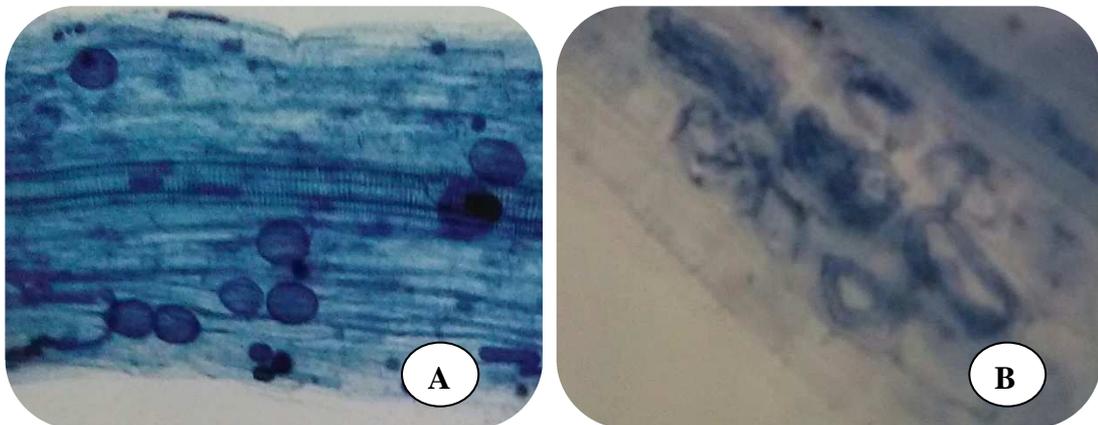


Figure 7. Endomycorhizes arbusculaires de type *Arum* dans laquelle les structures fongiques symbiotiques ont été colorées en bleu (A). Spires de mycélium intracellulaire typique de type *Paris* (B) (Garbaye, 2013).

VI. 3. 2. Endomycorhizes à pelotons

Les endomycorhizes des Orchidées formées par des Basidiomycètes et les endomycorhizes des Ericacées associées aux Ascomycètes (les *Pezizaceae*). Dans ces deux cas, le mycélium forme des pelotons à l'intérieur des cellules du parenchyme cortical (Duponnois *et al.*, 2013).

VI. 3. 3. Formation et développement des endomycorhizes

Les différentes étapes de la colonisation des racines par les champignons endomycorhiziens sont illustrées dans la figure 8.

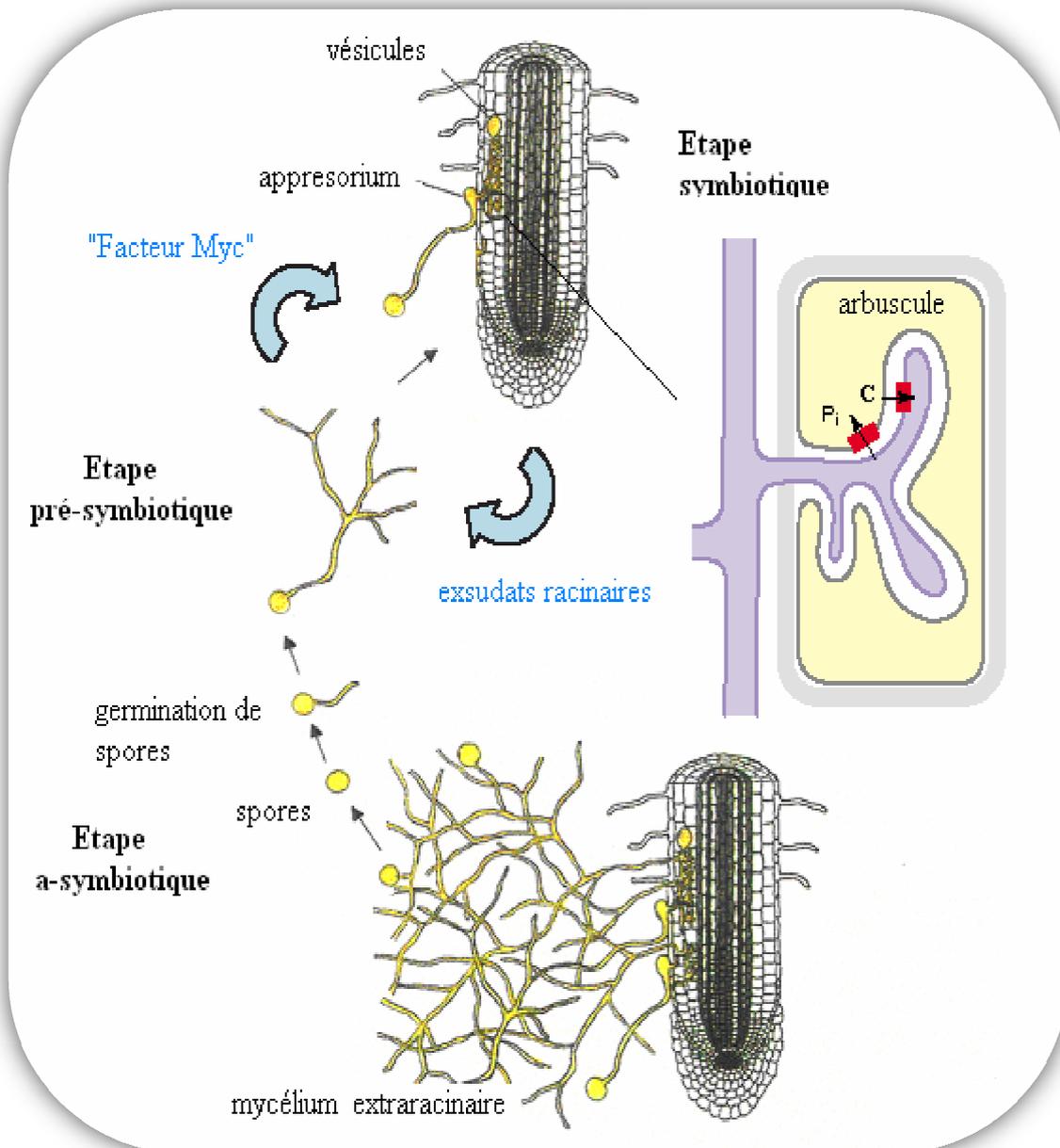


Figure 8. Cycle de développement des champignons MA. La germination généralement spontanée des spores correspond à la phase a-symbiotique. Une première communication entre la plante et le champignon (avant tout contact physique) s'établit lors de l'étape pré-symbiotique. Ensuite, la formation d'un appressorium est suivie par la colonisation symbiotique des cellules corticales de la racine. Le développement des arbuscules met en place une interface entre la plante et le champignon où les échanges nutritionnels auront lieu. (Modifié d'après Balestrini et Lanfranco, 2006).

Les spores de champignon MA sont généralement produites dans le sol à partir du mycélium extra racinaire (Pons *et al.*, 1984). Bien qu'elles puissent germer spontanément et alors qu'elles contiennent d'importantes quantités de lipides, la croissance des hyphes germinatifs est très limitée. Cette étape, encore a-symbiotique, et elle est caractérisée par une faible utilisation des réserves du champignon (Bécard et Piché, 1989). Le passage vers l'étape pré-symbiotique se fait par la reconnaissance de molécules exsudées par les racines de la plante hôte. La croissance et la ramification des hyphes germinatifs sont alors fortement stimulées). Ce processus est caractérisé par une utilisation des réserves principalement lipidiques du champignon (Bécard *et al.*, 2004). Grâce à ce phénomène très précoce, la probabilité de contact entre le champignon et les racines augmente. Le champignon émet également des molécules non encore caractérisées, les facteurs *Myc*, qui permettent à la plante de le reconnaître comme un possible symbionte (Paszkowski, 2006a).

Au contact de la racine le champignon forme des appressoria qui sont des structures d'attachement puis de pénétration des cellules de l'épiderme. A ce stade d'autres signaux fongiques doivent intervenir qui entraînent un réarrangement cytoplasmique des cellules épidermiques et la formation d'un appareil de pré-pénétration (APP) grâce auquel le champignon pourra traverser la cellule végétale (Genre *et al.*, 2005). Les hyphes du champignon vont ensuite progresser de manière intercellulaire jusqu'aux cellules du cortex racinaire, où ils formeront des structures intracellulaires très ramifiées appelées **arbuscules**. L'arbuscule n'est pas en contact direct avec le cytoplasme de la cellule végétale. La membrane plasmique de la cellule végétale augmente considérablement sa surface et s'invagine tout autour. C'est à cette interface cellulaire que les échanges de nutriments entre les partenaires ont principalement lieu (Reinhardt, 2007). La sénescence de l'arbuscule, après 4 – 10 jours de symbiose semble être fortement sous le contrôle de la plante, peut-être pour limiter l'extension du champignon endomycorhizogène dans les racines (Strack *et al.*, 2003).

VI. 4. Ectendomycorhizes

Caractérisées à la fois par la présence du manteau mycélien et le développement d'hyphes inter et intracellulaires. Elles se rencontrent chez les Arbutacées, les Monotropacées et sont formées par des Basidiomycètes (*Cortinarius*, *Boletus...*) (Duponnois *et al.*, 2013).

VI. 5. Physiologie des mycorhizes

D'après Tao et Zhiwei (2005), la nutrition minérale et l'augmentation de l'absorption en eau par la plante sont certainement les bénéfices les plus connus des mycorhizes. Celles-ci confèrent toutefois plusieurs autres avantages aux plantes et aux écosystèmes, notamment l'agrégation du sol, la protection contre les pathogènes et la résistance aux stress environnementaux.

VI. 5. 1. Absorption de l'eau et des éléments nutritifs

La symbiose mycorhizienne favorise le prélèvement et le transport vers la plante des éléments minéraux nutritifs très peu mobiles dans le sol comme le phosphore (Lambers *et al.*, 2008). En fonction du pH du sol, cet élément se retrouve en grande partie immobilisé par le fer, l'aluminium ou le calcium sous des formes difficilement accessibles par les plantes (Hinsinger, 2001). L'exploration du volume du sol par le mycélium extra matriciel et sa capacité à mobiliser des éléments nutritifs à partir des minéraux primaires favorisent la nutrition phosphatée des plantes. Cette amélioration de la nutrition minérale des plantes concerne également d'autres macroéléments (N, K) et oligoéléments (B, Br, Cl, Cu, Cr, Cs, Co, Fe, Mo, Mn, Ni, Si, Zn) (Duponnois *et al.*, 2013). Ces associations mycorhiziennes jouent également un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique tellurique et mobilisent les nutriments au bénéfice de la plante hôte (Gobat *et al.*, 2003).

L'amélioration de la nutrition hydrique des plantes grâce à la symbiose mycorhizienne a également été déterminée et cet effet « mycorhize » est attribué à une meilleure utilisation de l'eau par la plante en raison du volume de sol exploré par les hyphes mycéliens (Garbaye, 2000).

VI. 5. 2. Agrégation des sols

Les mycéliums ont la propriété d'excréter une glycoprotéine, la glomaline. Les champignons mycorhiziens 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).

VI. 5. 3. Protection contre les organismes pathogènes

D'après Dalpé (2005), l'association mycorhizienne est un moyen de lutte biologique contre les organismes pathogènes telluriques en réduisant la teneur des substrats carbonés du milieu rhizosphérique en utilisant les exsudats racinaires, ses propres besoins, en formant des obstacles mécaniques difficiles à franchir pour certains micro-organismes, en synthétisant des inhibiteurs du développement de certains micro-organismes du sol et enfin et surtout, en produisant des substances antibiotiques (cloromycorrhizin A, mycorrhizin A) qui peuvent protéger la plante.

Les champignons MA aident aussi la plante à lutter contre ses adversaires, qu'il s'agisse de champignons parasites ou même d'insectes herbivores (Domenech, 2011).

VI. 5. 4. Résistance aux stress environnementaux

Les mycorhizes permettent à la plante d'avoir un meilleur accès aux éléments nutritifs et à l'eau du substrat, ce qui favorise sa croissance et lui permet de mieux résister aux périodes de stress environnementaux comme la sécheresse et les pathogènes (Dalpe, 2006), le froid (Charest et al., 1993), la salinité (Davis et Yong, 1985) et la pollution (Leyval et al., 1994). De même, une nette amélioration de la structure du sol a souvent été notée en présence des mycorhizes (Smith et Read, 1997).

VI. 6. Fonctionnement des mycorhizes

Pour expliquer le fonctionnement des mycorhizes, un modèle unifié (Fig. 9) a été proposé (Strullu, 1988) in Strullu (1991).

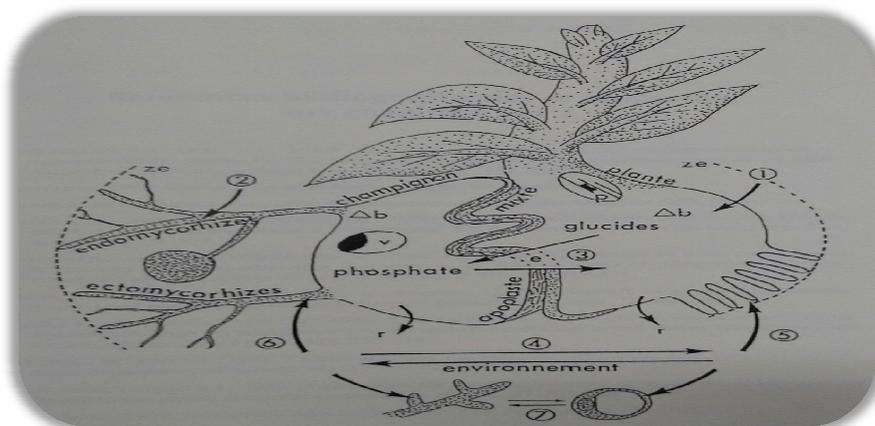


Figure 9. Mycorhizes et nutrition minérale des plantes : un modèle unifié de fonctionnement (Strullu, 1988). In Strullu (1991).

L'absorption effectuée par le végétal est matérialisée par la flèche **1**. Les prélèvements réalisés dans le milieu, par les champignons, sont figurés par la flèche **2**. On peut remarquer :

- Que la présence du champignon augmente considérablement la zone prospectée par la plante (**Ze** : zone d'épuisement). L'absorption se traduit par une croissance, variation de la biomasse (**b**) des partenaires. Le végétal réalise la photosynthèse grâce à ses chloroplastes (**p**) et accumule des glucides. Le métabolisme fongique se traduit notamment par une accumulation de composés phosphorylés (polyphosphates) dans les vacuoles (**V**) et dans le cytoplasme.
- Qu'il existe une complémentarité marquante entre les deux partenaires, les échanges (**e**) entre les partenaires entraînent un double transfert : passage de glucides de la plante vers le champignon et passage de phosphore du champignon vers la plante (**3**).

Les activités des organismes provoquent différents rejets (**r**) ; les métabolites libérés dans le milieu (**4**) entraînent un surplus d'absorption racinaire (**5**) et de prélèvement par le champignon (**6**). En outre, les différents métabolites rejetés peuvent induire des phénomènes morphogénétiques comparables à ceux de la symbiose, sans qu'il y ait différenciation d'un apoplaste mixte ; les échanges ayant lieu grâce à l'environnement (**7**).

VI. 7. Écosystèmes steppiques ou arides et la mycorhization

Le Tacon et Selosse (1997), ont signalé que chaque biome possède son propre cortège d'associations symbiotiques.

Les associations mycorhiziennes prédominantes dans les écosystèmes naturels et agricoles sont les mycorhizes à arbuscules et à vésicules. Elles concernent environ 95% des taxons végétaux et non visibles à l'œil nu (Smith et Read, 1997).

Les zones arides et semi-arides représentent 36% des terres émergées, une bonne partie relevant du climat « méditerranéen », à période sèche estivale. Dans ces régions, les plantes sont confrontées à plusieurs stress (les sols sont souvent pauvres en éléments nutritifs et la période sèche peut se prolonger pendant plusieurs mois) la croissance des plantes dépend fortement de la symbiose mycorhizienne.

La symbiose endomycorhizienne concerne la majorité des plantes de zones arides et semi-arides. En particulier, tous les arbres connus pour « résister à la sécheresse » portent des endomycorhizes : acacias, arganier, oléastre, caroubier, palmier dattier, etc. Depuis sa

description pour la première fois, cette symbiose a donné lieu à de très nombreuses études. (Nouaim et Chaussod, 1996).

Nous citerons, par exemple, le travail réalisé par Smail-Saadoun *et al.*(2013), au sein du laboratoire Ressources Naturelles, l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, dans le but de mettre en évidence les différents types de symbioses racinaires, nécessaires à la survie du pistachier de l'Atlas dans les conditions d'aridité de la zone d'étude, à savoir dayate Saadi, région de Hassi Delâa, wilaya de Laghouat (Algérie), dont les résultats montrent la présence de structures fongiques, qui confirment la présence d'endomycorhizes à vésicules et arbuscules.

En fin, l'étude réalisée par Abdellaoui *et al.* (2013), au sein du laboratoire Ressources Naturelles, l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, a pour objectif de rechercher les symbioses racinaires chez *Pistacia vera* cultivé dans une région semi aride (Bouira – Algérie) en interaction avec les facteurs climatiques et édaphiques influençant cette symbiose. Les résultats ont montré la présence fréquente de l'infection mycorhizienne à arbuscule et vésicule.

VI. 8. Facteurs de propagation des mycorhizes

Selon Pousset (2005), pour accroître la présence des champignons utiles dans le sol il faut suivre les conseils suivants :

- une rotation culturale aussi continue que possible (dans cette optique : importance des engrais verts intercalaires).
- un travail du sol judicieux (façons culturales légères et progressives) générant et maintenant une bonne structure.
- un bon équilibre entre les cultures d'hiver et de printemps (précoces et tardives).

Et pour ne pas défavoriser la mycorhization a son avis cinq grandes erreurs au moins sont à éviter :

- utiliser des produits toxiques qui tuent les champignons ; en premier lieu bien entendu les fongicides, y compris ceux tolérés en culture biologique, notamment les spécialités à base de cuivre (dans la mesure du possible).
- bouleverser exagérément le sol : les façons culturales profondes, notamment le labour, brisent les filaments mycéliens des champignons et tuent ces derniers.

- apporter des fumures minérales injustifiées et excessives : nous savons que les champignons mycorhiziens fixent dans le sol divers éléments minéraux et en donnent au moins une partie à la plante verte à laquelle ils sont associés. Si on apporte en quantité importante ces éléments sous forme d'engrais l'activité mycorhizienne diminue beaucoup.
- laisser le sol nu souvent et longtemps : sol nu égale absence de plantes, égale absence de partenaires pour les champignons mycorhiziens qui disparaissent logiquement dans une terre ne portant aucune végétation pendant longtemps.
- cultiver trop souvent des plantes qui ne mycorhizent pas ou peu ; le retour trop fréquent des crucifères (moutarde, colza, navette, radis, caméline, chou ...), des betteraves, des bettes, des épinards... limite le développement des mycorhizes.

VI. 9. Mycorhizes chez le grenadier

Le grenadier (*Punica granatum* L.) est une espèce bien adaptée au climat méditerranéen et aux zones arides. Elle est capable de valoriser des terres marginales et des eaux saumâtres (Mars, 2000). Elle est capable de valoriser des terres marginales et des eaux

Malgré l'importance des effets positifs de la symbiose mycorhizienne et endophytique sur la relation plante-hôte, peu d'études sont publiées sur la caractérisation mycorhizienne et endophytique des arbres fruitiers (Abdellaoui *et al.*, 2013).

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) établissent une association symbiotique avec la majorité des plantes terrestres, y compris ceux des zones arides (Smith et Read, 1997), mais aucune étude n'avait encore été menée sur cette espèce (*Punica granatum* L.) (Mars et Marrakchi, 2003). Notre travail a donc cherché à étudier ces importantes associations symbiotiques racinaires de cette espèce sous climat aride.

VI. 10. Endophytes

VI. 10. 1. Définition

Le terme endophyte a été employé et défini pour la première fois en 1866 comme un organisme colonisant asymptomatiquement un végétal (De Bary, 1866).

Les endophytes sont des micro-organismes qui se développent à l'intérieur d'un végétal pour tout ou partie de leur cycle de vie. On les retrouve parmi les champignons, bactéries, algues et insectes (Repussard *et al.*, 2013).

On a longtemps pensé que ces champignons n'avaient aucune fonction, ni aucun intérêt ; cependant, dans les dernières décennies, les recherches ont commencé à s'intéresser aux endophytes (Moricca et Ragazzi, 2008) qu'on considère maintenant comme des sources de beaucoup de composés d'intérêt tels les composés antimicrobiens, antioxydants, anticancéreux, insecticides... (Maheshwari, 2006 ; Ka *et al.*, 2012).

VI. 10. 2. Description et développement des endophytes

Les champignons endophytes sont majoritairement issus du phylum Ascomycota (Arnold, 2007) et présentent une grande diversité. Ils sont hétérotrophes et prélèvent des nutriments à l'hôte sans que celui-ci ne présente de quelconques signes de maladie. Ils peuvent croître dans le milieu intracellulaire ou extracellulaire (Fig. 10). Les champignons endophytes sont ubiquistes : ils ont été détectés dans pratiquement toutes les espèces de plantes (Saikkonen *et al.*, 1998). Une même espèce de champignon endophyte est capable de coloniser plusieurs hôtes différents (Hodgson *et al.*, 2014).

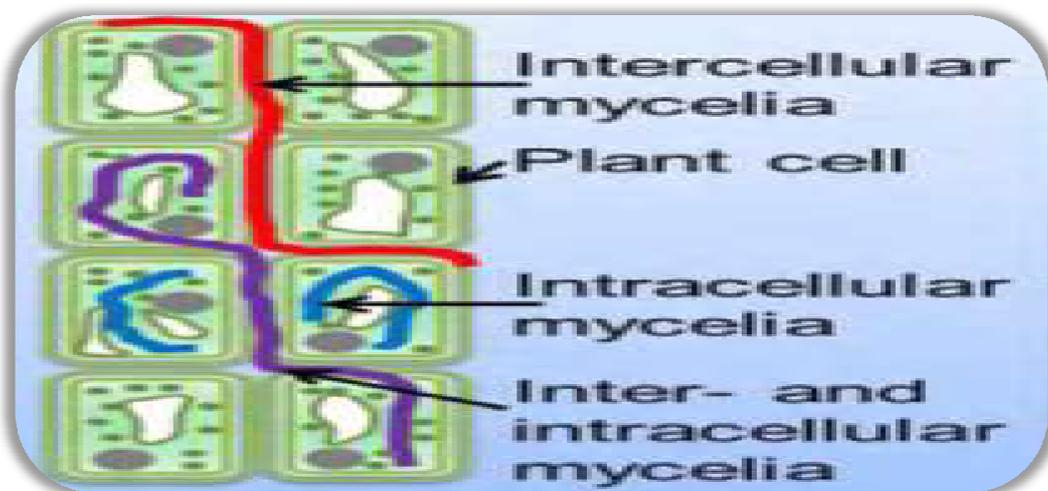


Figure 10. Modes de croissance des champignons endophytes dans les tissus des plantes hôtes (Kusari et Spiteller, 2012).

Il existe des micro-organismes fongiques incluant une grande partie des espèces formant dans les racines des végétaux, un mycélium stérile septé et pigmenté appelé Endophytes Foncés Septés EFS (DES : Dark Septate Endophyte), pouvant produire des sclérotés (Fig. 11) (Jumpponen, 2001). Ils forment des infections internes localisées dans le feuillage, la tige et les racines et se développent entre et dans les cellules de l'épiderme, du cortex et parfois même dans les tissus vasculaires (Addy *et al.*, 2005).

Ce groupe fongique fut caractérisé chez une large gamme de phytotaxons. Ils sont présents aussi bien chez les Angiospermes, les Gymnospermes, les algues, les mousses et les fougères (Suryanarayanan *et al.*, 2003 ; Leucero *et al.*, 2006).

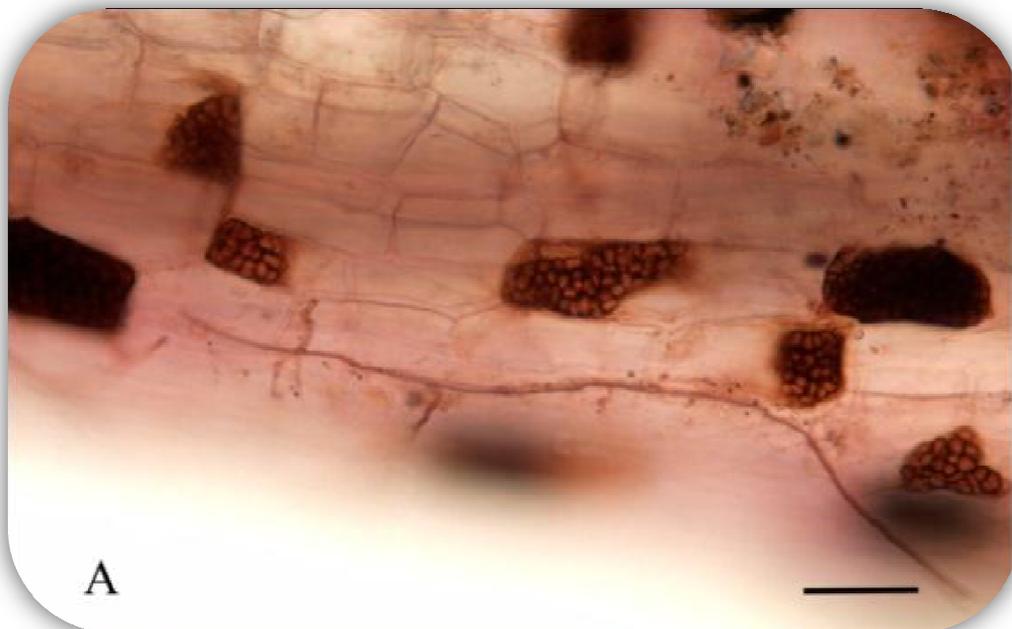


Figure 11. Hyphe septé et foncé et microsclérotés d'une racine de *Zizyphus yunnanensis* (Zhang *et al.*, 2011).

VI. 10. 3. Interaction endophyte – plante hôte

Les endophytes possèdent différents modes de vie, donnant différentes interactions qui sont variables d'un endophyte à un autre et d'un hôte à un autre (Zabalgogea, 2008). Ils se présentent comme pathogènes latents mais ne causent aucun symptôme à leurs hôtes (Hyde et Soyong, 2008), comme saprophytes colonisant asymptomatiquement des espaces restreints tant que leurs hôtes se développent ; dès que ces derniers sont infectés ou décident, ces saprophytes se développent et se reproduisent (Zabalgogea, 2008), ou comme champignons mutualistes (Rodriguez *et al.*, 2009). La relation peut aller du mutualiste vers le

pathogène en fonction de l'espèce végétale et des conditions de sa croissance (Jumpponen, 2001). La forme pathogène se manifeste lorsque le champignon EFS envahit le cylindre central, bouche ou détruit les tissus conducteurs et provoque le flétrissement et le rabougrissement de la plante (Barrow, 2003).

VI. 10. 4. Rôles des endphytes

Les endophytes jouent un rôle vital dans divers aspects de la vie. Ils sont capables de synthétiser des agents bioactifs pouvant être utilisés par les plantes quant à la défense contre les agents pathogènes, la stimulation de leur croissance, l'amélioration de l'efficacité photosynthétique, nutriments et utilisation de l'eau (Amin *et al.*, 2011).

Plusieurs études ont prouvé que les endophytes jouent un rôle primordial dans la protection de la plante hôte (Azevedo *et al.*, 2000) contre les prédateurs et les agents pathogènes (Rodrigues *et al.*, 2008).

Selon Wu et Guo (2007), il est possible que les EFS soient capables de sécréter des enzymes qui permettent de dégrader efficacement la matière organique et ainsi mettre à disposition de la plante des éléments nutritifs et aussi des substances régulatrices de croissance.

Le nouveau point de vue considère les endophytes comme agents écologiques importants, dont le partenariat avec les plantes photosynthétiques a été déterminants pour l'évolution de la flore terrestre (Moricca et Ragazzi, 2008).

1. Situation géographique de la wilaya d'étude (Djelfa)

En Algérie, la zone aride représente près de 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyperaride. Ces chiffres traduisent à eux seuls l'intérêt de ces régions sur le plan socioéconomique. Il est donc indispensable, tant pour les populations qui vivent dans ces régions que dans celles des régions limitrophes, d'augmenter les capacités de production des zones arides (Boudiaf Nait Kaci *et al.*, 2010).

La wilaya de Djelfa est considérée comme la porte du Sahara (Vavou, 2007), elle occupe une place stratégique dans la relation entre le Nord et le Sud. Elle est connue par ses superficies à perte de vue, mais l'agriculture dans celle-ci est marginalisée à cause du climat aride et surtout par la formation géologique qui présente une contrainte édaphique importante (croûte et dalle calcaire) (Boudiaf Nait Kaci *et al.*, 2010).

La wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du nord à 300 Km au sud de la capitale. Elle s'étale sur une superficie de 32.256,35 Km². Elle est limitée au Nord par Media et Tissemsilt, au Sud par Ouargla, El Oued et Ghardaïa, à l'Est par M'Sila et Biskra et à l'Ouest par Laghouat et Tiaret.

2. Situation géographique de la zone d'étude

Notre station d'étude est située à Melaga dans la daïra de Messaad à 70 Km au sud du chef-lieu de la wilaya de Djelfa. Elle est située sur la plateforme saharienne, ayant une altitude de 815m. Elle est délimitée par le chevauchement des communes de Moudjebara, Deldoul au Nord, Deldoul à l'Est, Selmana à l'Ouest, Selmana et Deldoul au Sud (Vavou, 2007).

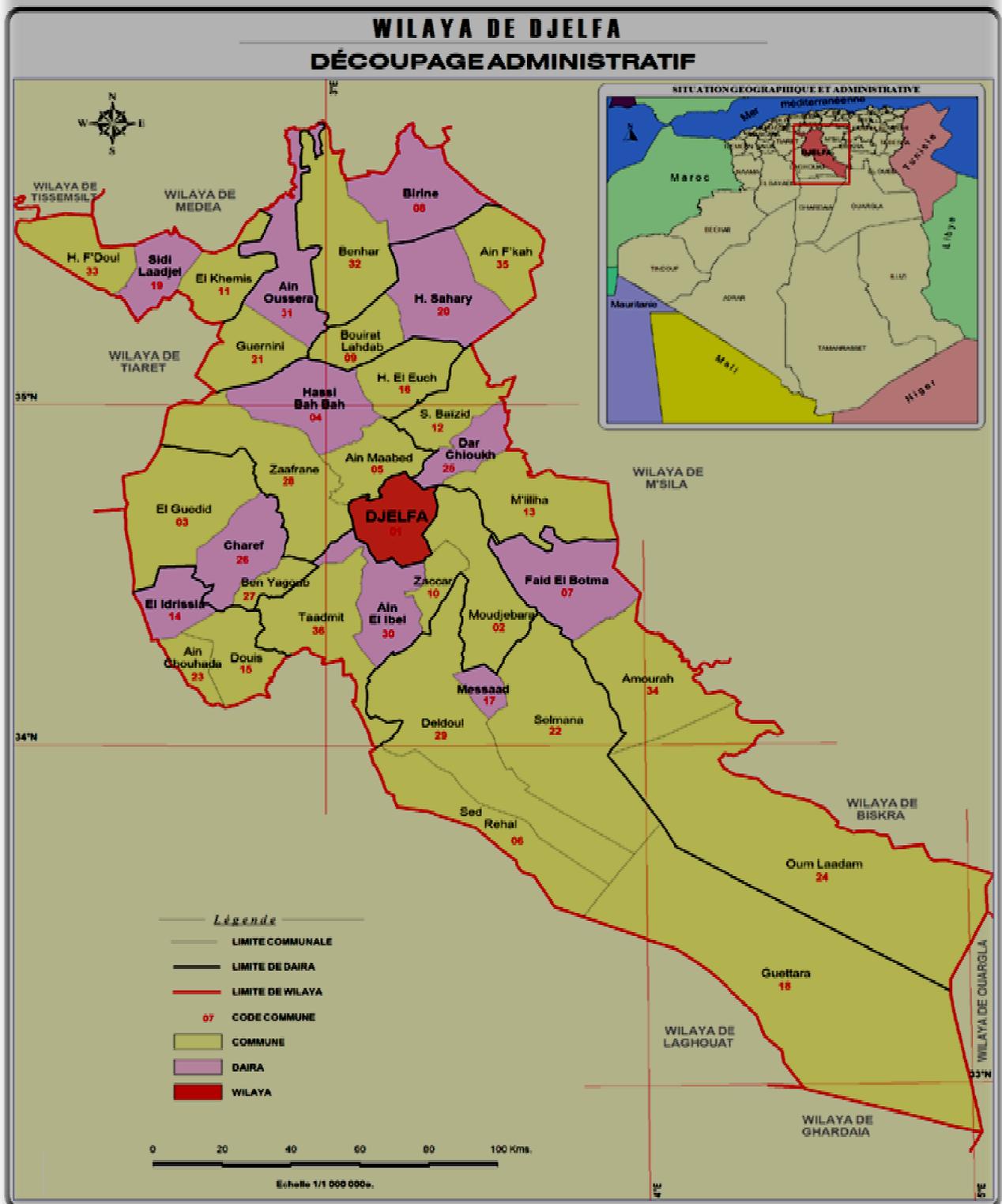


Figure 13. Délimitation administrative de la Wilaya de Djelfa et de la zone d'étude Messaâd,

3. Géologique de la région d'étude

Selon Chibane et Halil, (2010), la wilaya de Djelfa est caractérisée par une série sédimentaire s'étalant du trias au quaternaire, issue des mouvements tectoniques alpins. Pouget (1980), a montré que la totalité des roches sont carbonatées souvent gypseuses et salées, malgré la grande diversité on retrouve deux grandes catégories de roches carbonatées :

- **les roches calcaires dures et compactes** (calcaires plus ou moins dolomitique).
- **les roches calcaires tendres** parmi lesquelles s'individualisent deux ensembles :
 - les marno- calcaires (grés marneux, calcaires tendres) assurent la transition avec les calcaires compacts et durs.
 - les marnes groupent les argiles à une teneur faible de calcaire plus ou moins sableuses.

Lithologie : la majorité des territoires de Djelfa sont fossilisés par des croûtes calcaires et des calcaires d'origine lacustre. Les chenaux des chebkats et des chaabets aboutissants dans des dépressions fermées : Dayas, Chotts et Sebkhas sont les paysages les plus rencontrés dans ces zones de type aride et semi-aride. Ils modifient considérablement la structure plane de la plateforme Saharienne. L'aspect continental d'origine néogène plus ou moins détritique et salifère, se présente par des affleurements importants aux fonds des Oueds (A.N.A.T., 2003).

4. Occupation des sols

Djelfa comme presque toutes les zones steppiques, est caractérisée par des sols de nature calcaire depuis la surface, des pH basiques parfois proches de la neutralité et des complexes absorbants saturés, c'est la principale caractéristique commune en relation avec la nature des roches mère, pratiquement toujours calcaires (Pouget, 1980).

Les terres de la wilaya sont vocation pastorale. De nombreux ligneux des zones arides ont un système racinaires apte à profiter des moindres fissures pour descendre dans les couches plus humides des sols, la roche mère pouvant elle-même dans certains cas représenter une réserve d'eau (Vavou, 2007).

Le couvert végétal est composé principalement de steppe à Alfa (*Stipa tenacissima*), les steppes à Armoise blanche (*Artemisia herba alba*), les steppes à sparte (*Lygeum spartum*), les steppes à Remt (*Arthrophytum scoparium*) formant des steppes buissonneuses chamaephytiques.

Les Dayas se caractérisent par une végétation variée et plus généralement des espèces végétales adaptées au régime de submersion temporaire tel que, le *Pistacia atlantica* et le *Ziziphus lotus* (Pouget, 1980).

5. Etude climatique

La région de Messaâd ne comporte aucune station météorologique. Néanmoins, il est possible d'utiliser les résultats obtenus dans la station de la région de Djelfa par une corrélation des précipitations et températures en utilisant le gradient thermique de Seltzer (1946). Cette région se situe dans l'étage bioclimatique aride. L'indice d'aridité est inférieur à 10 et supérieur à 5 (Laadj, 2012).

5.1. Précipitations

Tableau 1 : Précipitation moyenne mensuelles de Messaâd (période 1990 – 2009).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jlt	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Précipitations (mm)	22,65	15,60	16,20	17,84	20,43	8,98	5,08	12,07	22,41	17,41	14,26	16,18	190,805

(ONM, 2009)

Le tableau ci-dessus montre que le mois le plus pluvieux de Messaâd est le mois de Janvier avec des précipitations d'une valeur de 22.65 mm.

5.2. Température

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles de Messaâd (ONM, 2009).

Température	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jlt	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
m (°C)	1.51	2.73	4.79	7.07	11.94	16.75	19.76	19.54	15.56	11.16	5.87	3.31	10.00
M (°C)	11.93	14.12	17.71	19.78	26.57	32.61	36.61	35.55	29.35	23.76	16.88	12.75	23.12
M + m ÷ 2 (°C)	6.55	7.87	11.21	13.80	18.82	24.68	28.76	28.09	22.40	17.27	11.02	7.46	16.41

5.3. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

En 1957, Bagnouls et Gaussen ont proposé une classification des climats en fonction des régimes ombrothermiques, c'est-à-dire du rythme des saisons chaudes ou froides, sèches ou humides. Concernant la zone d'étude Messaâd, les données de précipitations et de températures précédemment cités dans les tableaux : 1 et 3 qui s'étalent sur la période (1999 – 2009) ont été utilisés dans la construction de ce diagramme dont la période sèche est nettement marquée durant la saison estivale, qui s'étale sur onze mois, de février jusqu'à décembre.

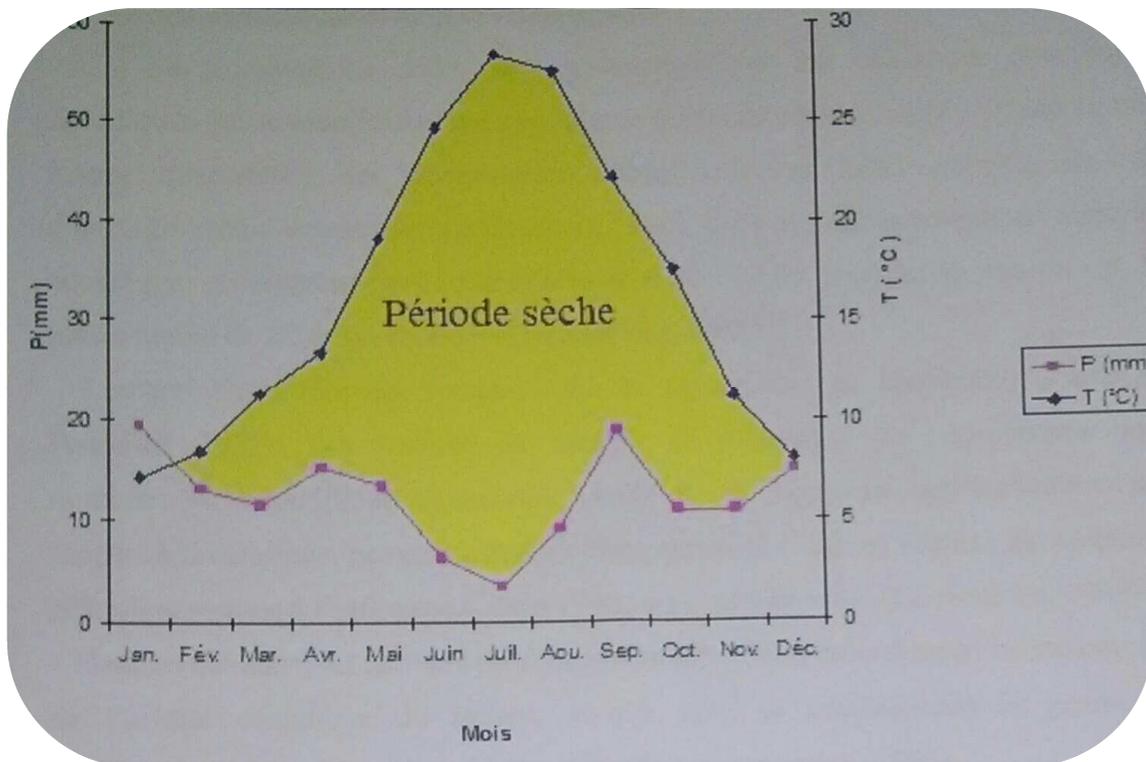


Figure 14. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la région de Messaâd (1990 – 2009). (Laadj, 2012).

La particularité du climat de cette région est qu'en hiver, les vents venant de l'Ouest et du Nord-Ouest dominant, entraînant ainsi les nuages des pluies. Les vents du Nord sont généralement secs, ils repoussent les nuages et empêchent la pluie de tomber, tandis que les vents du Sud qui sont des siroccos, amènent les pluies orageuses. Toutefois, des périodes de gel sont importantes dépassant un mois parfois (Boudiaf Nait Kaci *et al.*, 2014).

1- Echantonnage sur le terrain

Les racines de *Punica granatum* L., objet de notre étude ont été récoltées au mois de février 2017. L'échantillonnage s'est porté sur douze (12) sujets de grenadier qui ont été choisis d'une manière aléatoire ; pris au hasard dans une diagonale dans chacune des parcelles, et prélevé des racines avec leurs sols à plusieurs profondeurs. Un triangle est tracé autour de chaque arbre et trois échantillons sont effectués aux trois sommets du triangle pour en constituer un échantillon représentatif de l'ensemble du système racinaire de l'arbre.

Les racines avec leurs sols rhizosphériques échantillonnées sur terrain sont transportées au laboratoire dans des sacs en plastique portant le numéro du sujet.

2- Tri et conservation des racines

Au laboratoire, les racines sont prélevées de leur sol et ensuite leurs diamètres sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse. En vue d'isoler les radicelles les plus fines responsables de l'absorption racinaire, c'est-à-dire celles dont le diamètre est inférieur à 0,5 mm sont considérées dans ce travail. Ensuite les racines sont conservées dans l'alcool (figure 13). Les radicelles sélectionnées sont préparés pour un éclaircissement et une coloration au bleu du Trypan pour mettre en évidence les structures fongiques présentes dans les tissus racinaires de cette espèce

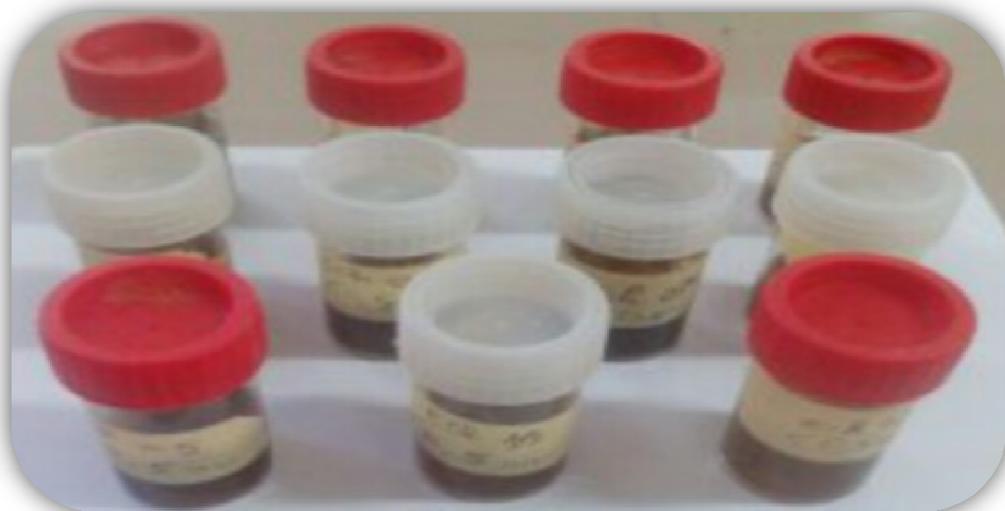


Figure 13 . Conservation des racines dans l'alcool.

3- Eclaircissement et coloration des radicelles

3-1- Technique

La technique de coloration a été faite selon le protocole de Philips et Hayman (1970), cela consiste en :

- les racines sont découpées en petits fragment d'environ 1 cm, ensuite lavées à l'eau courante dans une passoire, pour retirer les traces du fixateur ;
- mettre les racines dans des piluliers en verre contenant une solution de KOH à 10 %, dans une étuve à 90°C pendant 1 heure (remplacer la solution du KOH aussitôt qu'elle devient foncée) ;
- rincer plusieurs fois à l'H₂O₂ (10 %), les remettre à l'étuve à 90°C pendant 10 à 20 mn jusqu'au blanchissement des racines ;
- rincer à l'eau courante ;
- neutraliser les racines avec l'acide lactique (10 %) pendant 3 à 4 mn ;
- mettre les racines dans une solution colorante (bleu trypan) à l'étuve à 90°C ;
- rincer abondamment à l'eau courante.

Après coloration, 5 segments de radicelles (deux répétitions) parmi les plus fines d'environ 1 cm de long prélevés au hasard pour chaque sujet sont montés et écrasés entre lames et lamelles, dans quelques gouttes de gélatine glycinée.



Figure 14. Segments de radicelles montés et écrasés entre lames et lamelles.

3-2- Observation microscopique

L’observation microscopique au microscope photonique des segments racinaires consiste à définir les différentes structures fongiques et l’estimation du pourcentage de colonisation endomycorhizienne .

3-3- Estimation des pourcentages de colonisation par les champignons MA et FS

L’estimation du pourcentage de colonisation des racines est calculée selon la méthode utilisée par Nicolson (1955) in Chafi 1992).

Trois passages équidistants ont été réalisés sur chaque segment de racine (figure 15), lorsque ce dernier traverse le champ optique du microscope et qu’il renferme une infection, on lui donne la valeur (1). Le nombre de points colonisés compté sur le nombre total de points observés donne le rapport qui peut être ensuite converti en pourcentage calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ de colonisation} = \frac{\text{Nombres de points colonisés}}{\text{Nombres total de points observés}} \times 100$$

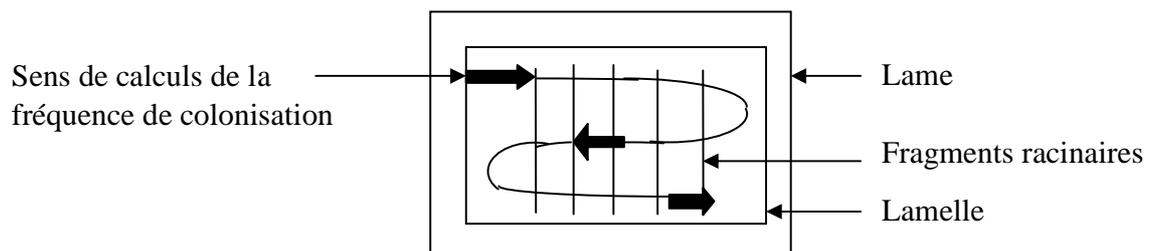


Figure 15. Schématisation de la méthode d’observation et de calcul de la fréquence de colonisation par les champignons mycorhizogènes et fongés séptés.

I. Mise en évidence des structures de l'association endomycorhizienne

Les observations microscopiques des radicelles de tous les sujets du *Punica granatum* L. révèlent la présence, sur une grande partie des fragments racinaires, de différentes structures, colorées en bleu au niveau des espaces inter et intracellulaires du cortex racinaire de cette espèce (Fig. 19). Les différentes structures que nous avons observées sont les hyphes mycéliens extra, inter et intracellulaires, les arbuscules, les enroulements, les vésicules, et aussi les spores au niveau du parenchyme cortical. Ces structures fongiques confirment la présence d'endomycorhizes à vésicules et arbuscules.

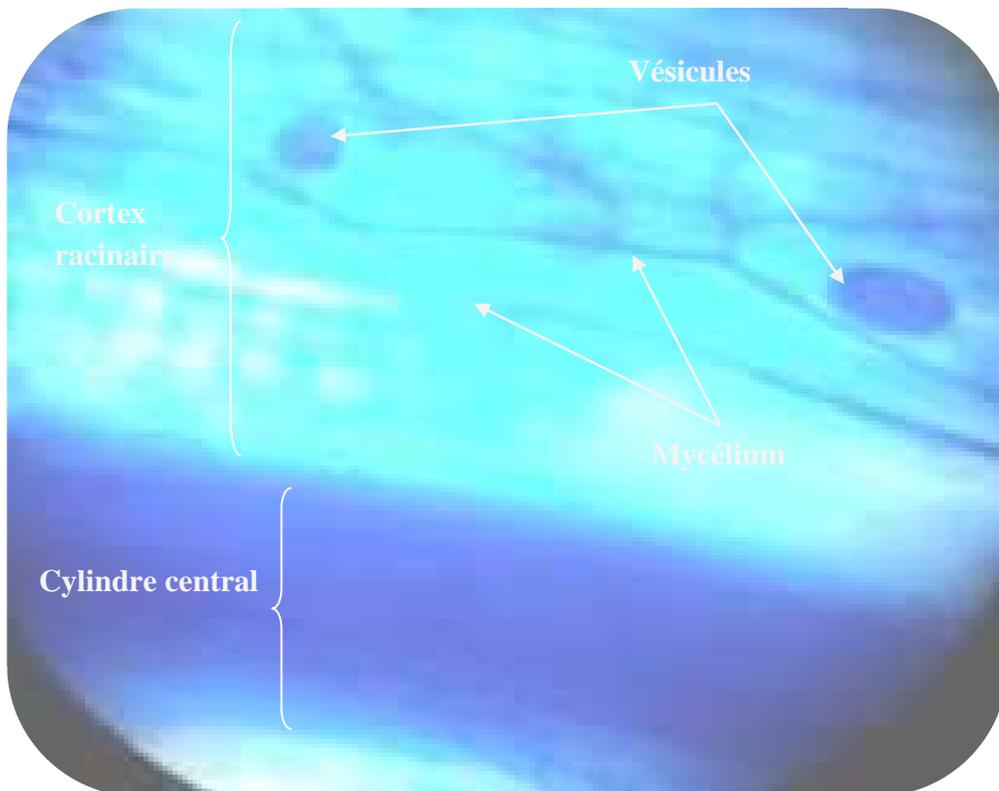
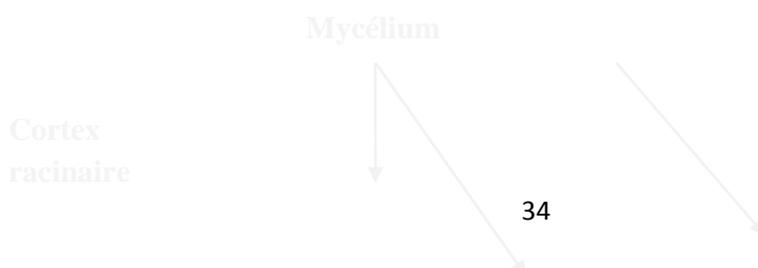


Figure 19. Radicelle de *Punica granatum* L. endomycorhizée (x 400).



I.1. Hyphes intra et extra-racinaires

A l'intérieur des racines les hyphes fongiques se ramifient et s'étendent surtout au niveau du parenchyme cortical. Nous avons observé différents types d'hyphes :

- Hyphes intracellulaires : constitués d'hyphes épaisses et grosses qui se colorent intensément en bleu et progressent en boucles à l'intérieur des cellules racinaires (Fig 20). Ce type d'hyphes intracellulaires caractérise les espèces appartenant à la famille des Gigasporaceae (genres *Gigaspora* et *Scutellospora*). Ce type de mycélium est caractérisé par l'absence de vésicules (Blaszkowski, 2003).

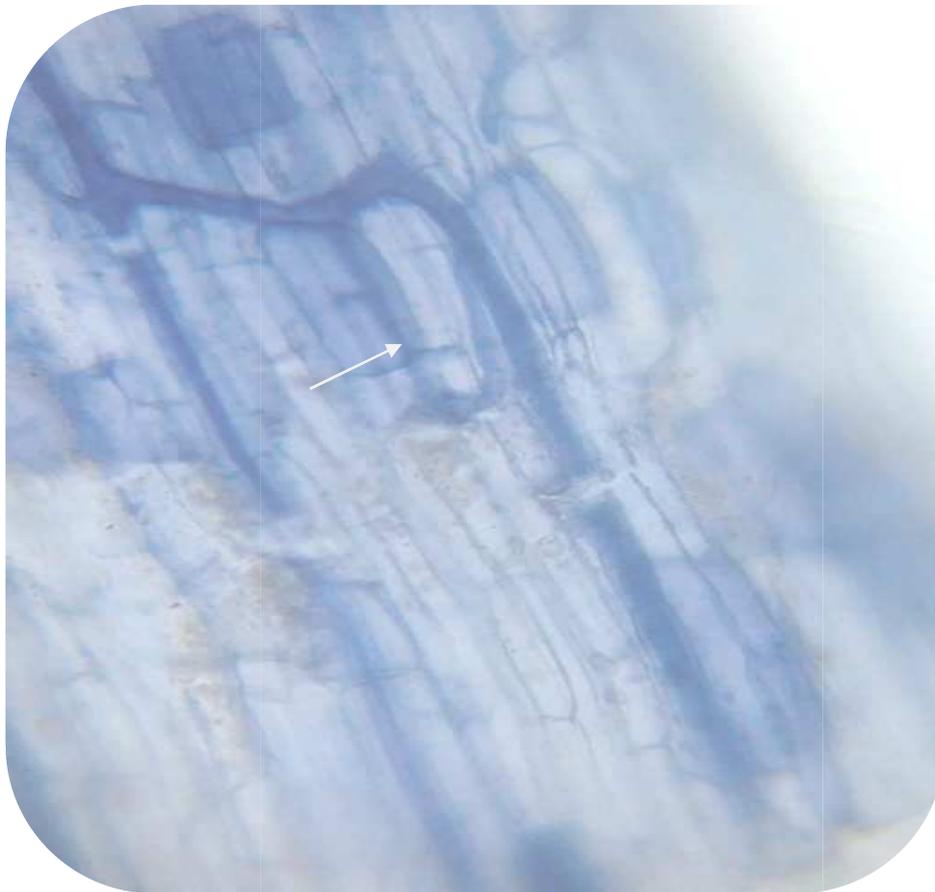


Figure 20. Hyphe intracellulaire (flèche) (x 400).

- Hyphes intercellulaires : constitués d'hyphes à diamètre réduit, droits, qui se colorent intensément en bleu et qui s'étendent entre les cellules (Fig 21).

D'après Dodd *et al.* (2000), ce type d'hyphes correspondrait au genre *Glomus*, et présent dans toutes les racicules échantillonnées.

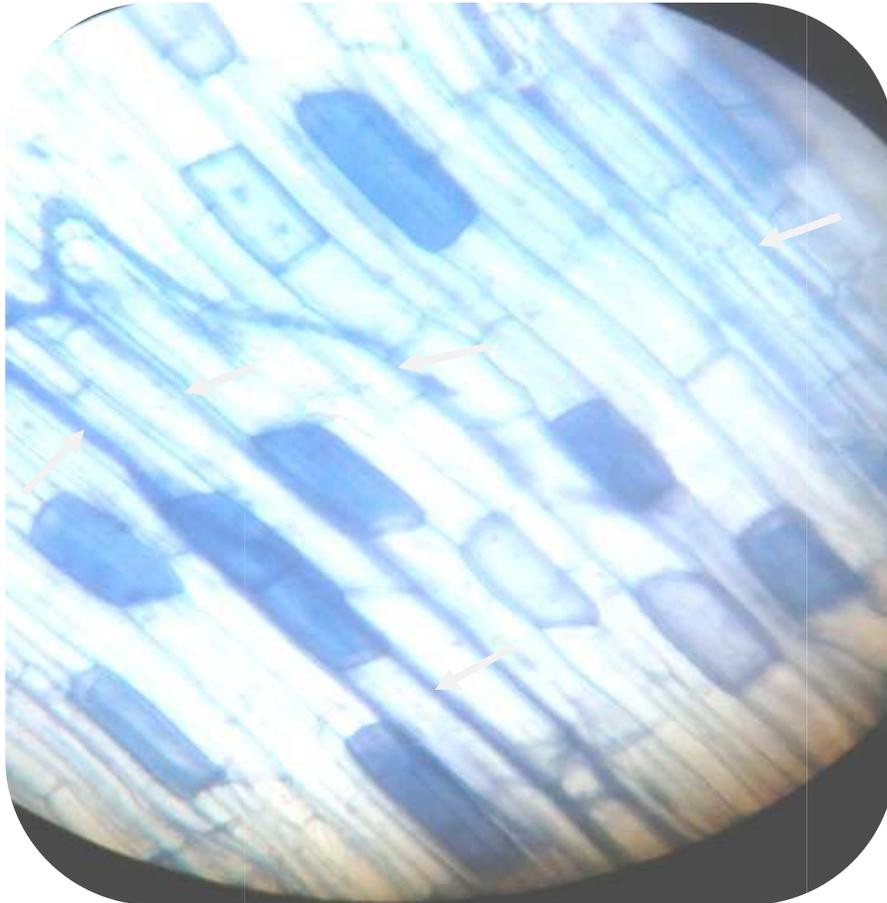


Figure 21. Hyphes intercellulaires (flèches) (x 400).

- On observe aussi des hyphes de diamètre moyen qui prennent la forme irrégulière et envahissent les cellules racinaires, se colorent en bleu clair (Fig 22). Ce type appartiendrait au genre *Acaulospora* (Dodd *et al.*, 2000).

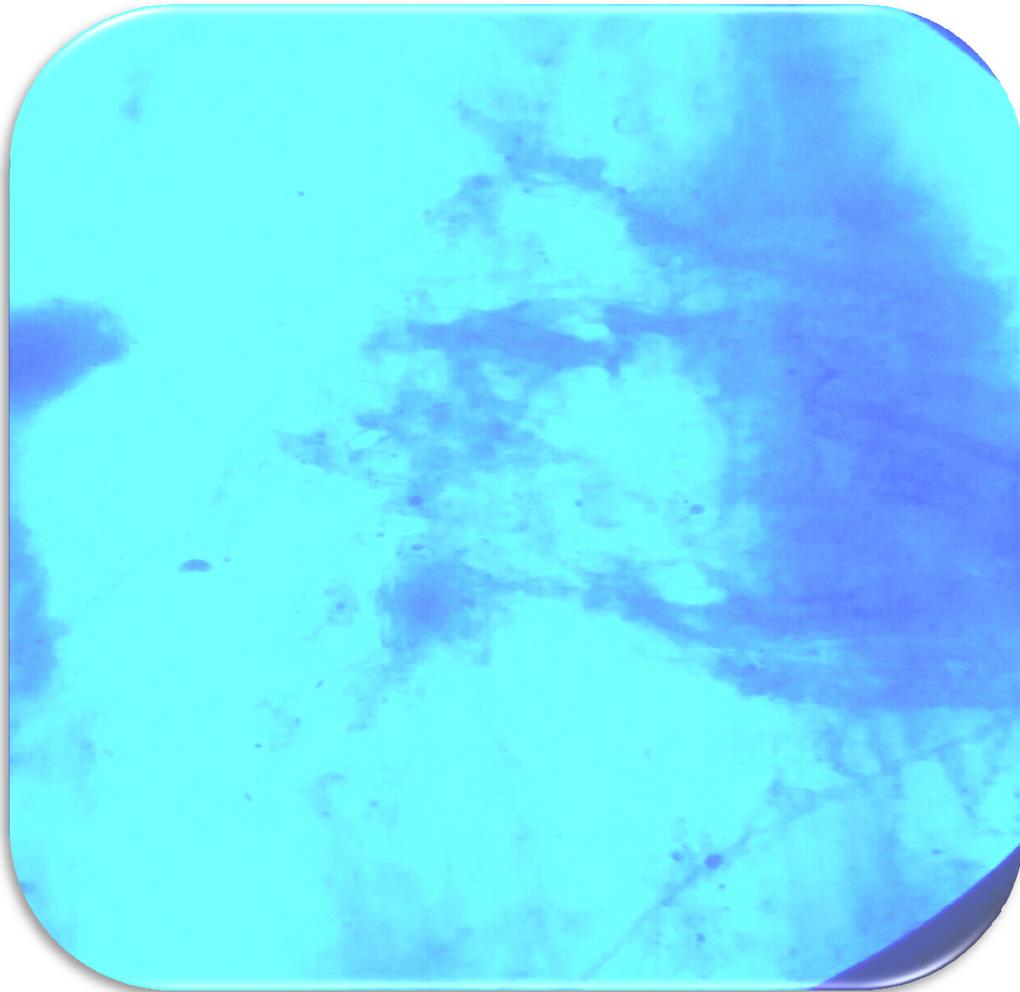


Figure 22. Hyphes intra-racinaires envahissent les cellules racinaires (x 400).

Ces types d'hyphes intra-racinaires sont d'aspect et de diamètre différents. Elles sont fines ou épaisses et peuvent porter des vésicules et des spores (Fig. 23).



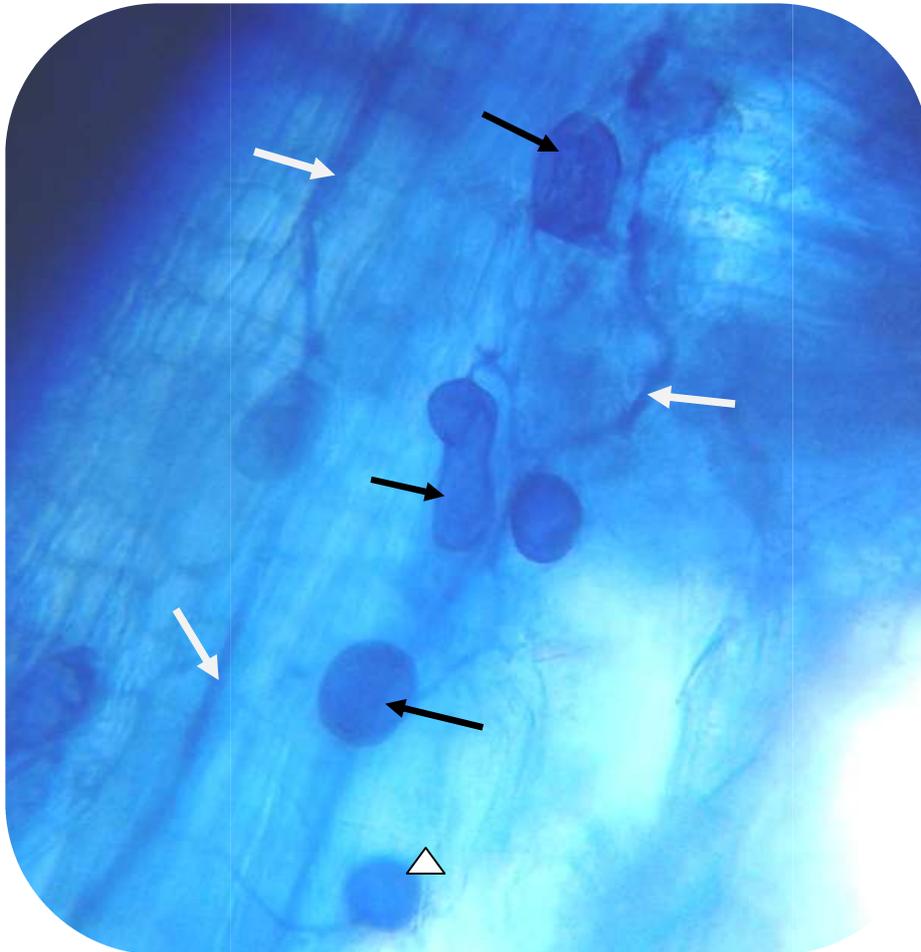


Figure 23. Hyphes intra-racinaires (flèches blanches) portés des vésicules (flèches noirs) et des spores (tête de flèche) (x 400).

Nous avons observé aussi des hyphes extra-racinaires (Fig. 24). Ces hyphes sont longues et montrent différents diamètres.

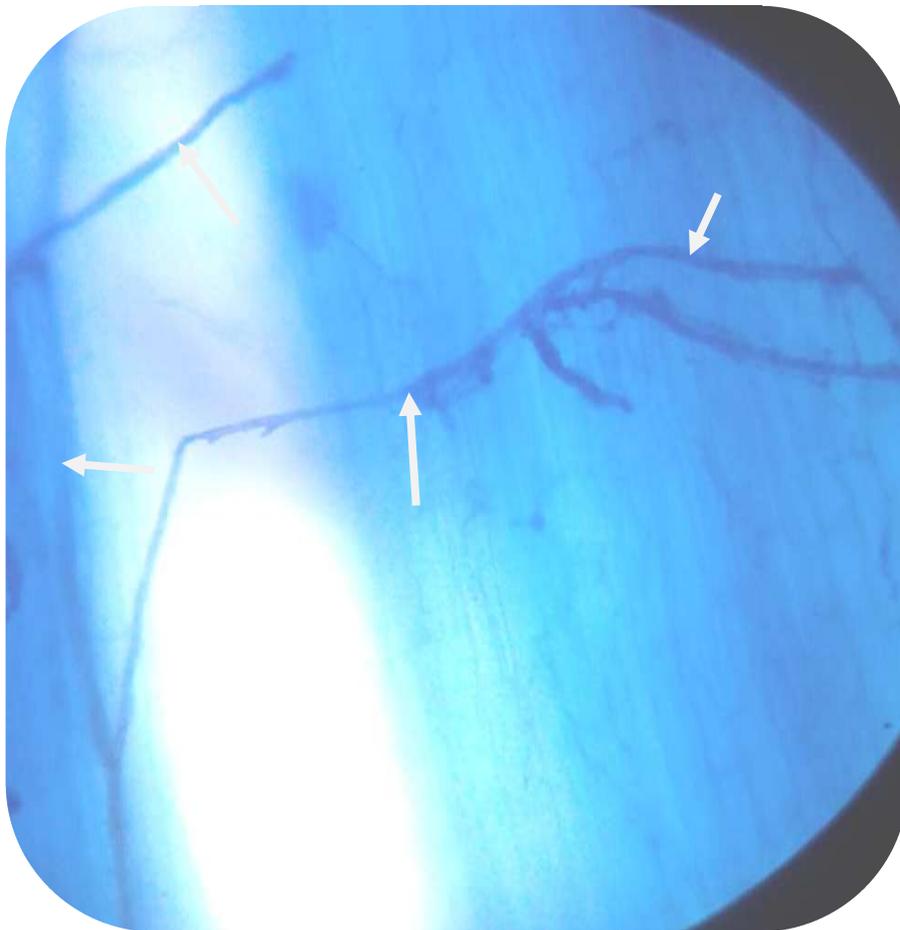


Figure 24. Hyphes extra-racinaires (flèches) (x 400).

Les radicelles concernées par cette étude dont le diamètre est inférieur à 0,5 mm sont responsables de l'absorption hydrique et minérale (Baize et Jabiol, 1995).

D'après Fortin *et al.* (2008), la présence des mycorhizes modifie et engendre généralement six fonctions principales : absorption des éléments minéraux, absorption de l'eau, activité hormonale, agrégation des sols, protection contre les organismes pathogènes et résistance aux stress environnementaux. L'augmentation de la quantité d'eau est due au réseau extra matriciel. Cette meilleure alimentation est nécessaire pour une bonne circulation des éléments minéraux (Kane, 1997). L'amélioration de la nutrition hydrique des plantes par l'intermédiaire des mycorhizes a été notée via ce plus grand volume de sol, exploré par les filaments

mycorhiziens. Le mycélium se développe de manière considérable à l'extérieur, envahissant le sol dans toutes les directions. De très fine dimension, il offre une surface de contact très importante, pénétrant beaucoup plus aisément que la plus fine des radicelles, dans les moindres interstices (Auge, 2001). Concernant l'absorption des éléments minéraux, les excréments d'acide oxalique par les filaments mycéliens seraient le moteur principal de la solubilisation des phosphates calciques. Il en résulte la libération de l'orthophosphate assimilable par les racines (Plenchette, 2005).

I.2. Arbuscules

Nous avons observé la formation d'arbuscules dans les cellules du cortex. Se sont des structures qui représentent les points fonctionnels entre les deux symbiotes (Gianinazzi-Pearson, 1982) et reflètent le mieux les potentialités d'échanges symbiotiques de l'association MA en place (Harley et Smith, 1983). Harrison (1999), confirme que cette interface cellulaire est considérée comme le site d'échange bidirectionnel des éléments nutritifs entre les deux symbiotes. Les arbuscules (Fig. 25) sont généralement plus petits que les vésicules.

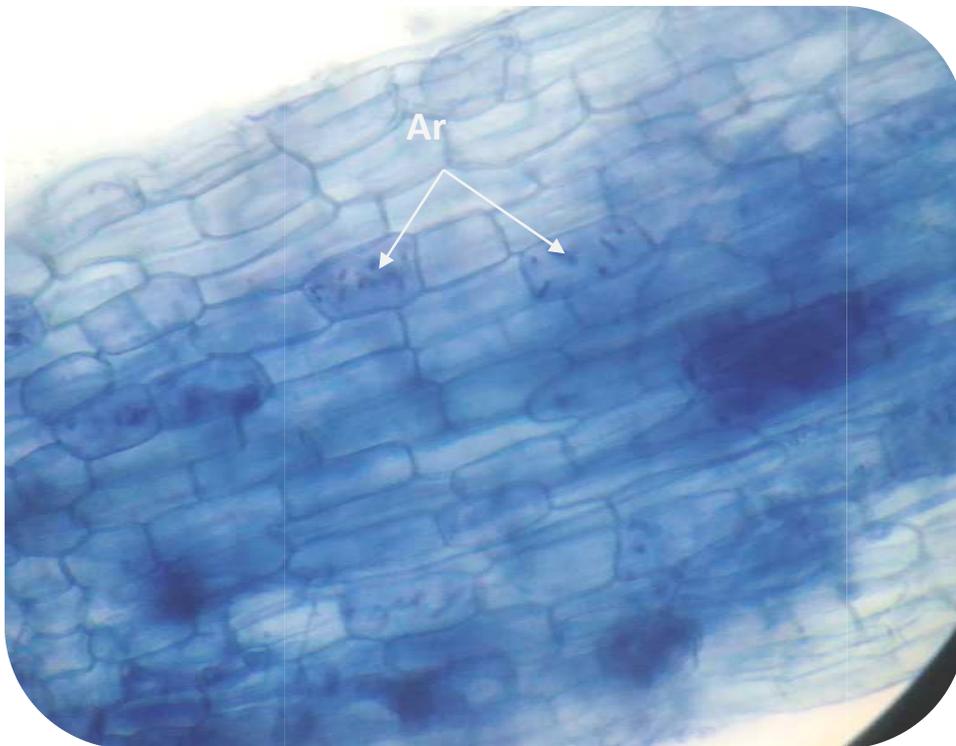


Figure 25. Arbuscules coloré en bleu à l'intérieur de cellules corticales (x 400).

Pour le mode de colonisation des champignons MA nous avons observé le type morphologique « *Arum* » qui est caractérisé par des d'hyphes épaisses qui forment des troncs latéraux et pénètrent à l'intérieur des cellules corticales en développant des dichotomies très fines, formant des arbuscules terminaux (Fig. 26). Ces hyphes se colorent intensément avec le bleu de Trypan. Nos résultats rejoignent ceux de Yamato (2004) ; Muthukumar et Prakash (2009), qui ont rapporté le type « *Arum* » chez les ligneux.

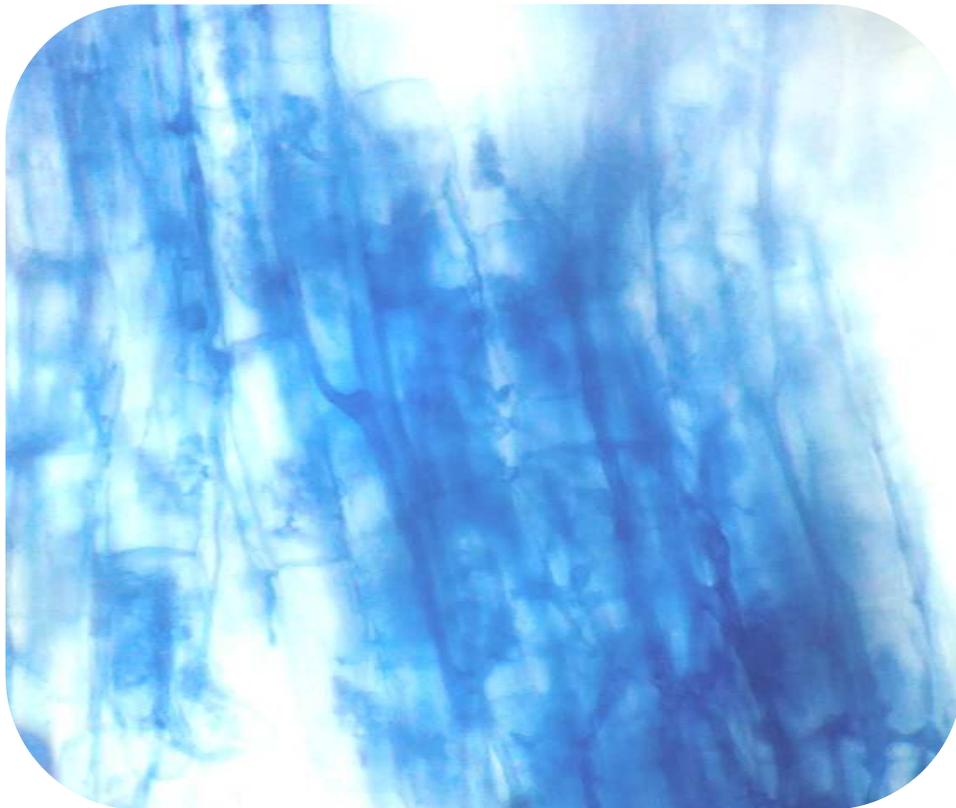


Figure 26. Type « *Arum* » (x 400).

D'un autre coté, nous avons pu observer le type morphologique « *Paris* » qui est représenté par les enroulements d'hyphes dans les espaces intracellulaires. Ce type est moins connu, mais très abondant (Fig. 27). Ces enroulements peuvent se transformer en arbuscules (Smith et Read, 1997). Ce résultat est similaire à celui de McGee (1989), qui a rapporté ce type chez les plantes des écosystèmes arides et semi-arides. Les hyphes enroulées pourraient être un

signe de contrôle majeure par la plante sur le développement fongique, ils ont considéré ce type plus évolué que le type « *Arum* » (Weber *et al.*, 1995).

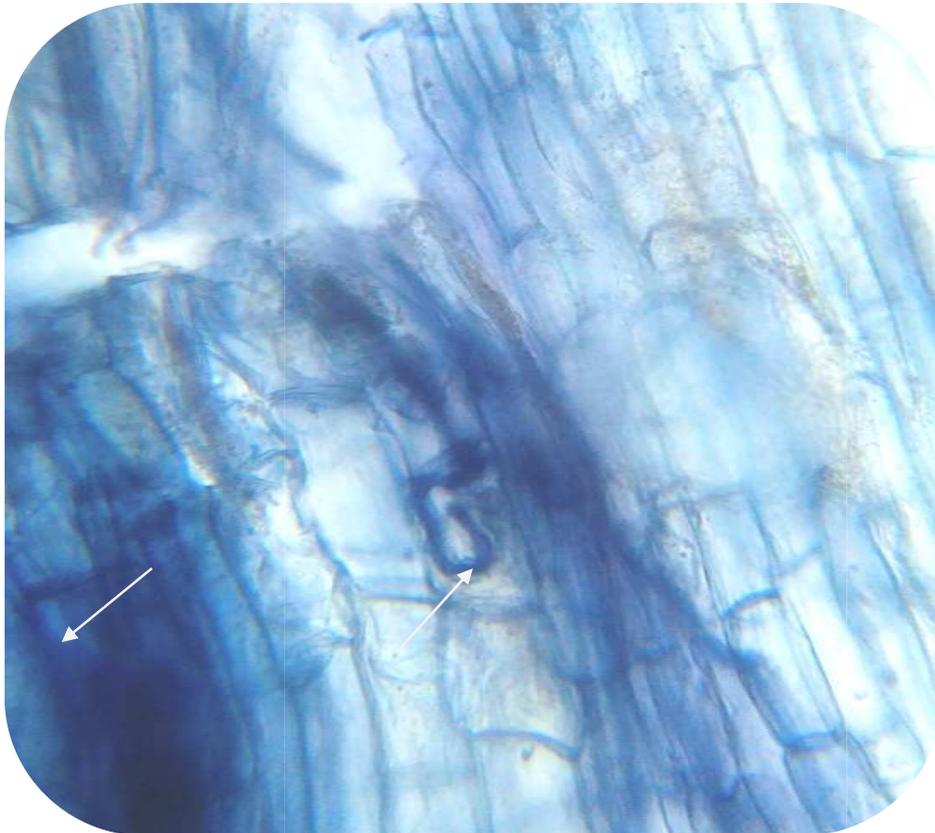


Figure 27. Type « *Paris* », enroulement d'hyphes (flèches) (x 400).

I.3. Vésicules

Nous avons observé des vésicules inter et intracellulaires de différentes formes (ovales, allongées, arrondies, grandes et petites en fonction de l'espace qui leur est offert) et en nombre important portées par les hyphes mycéliens.

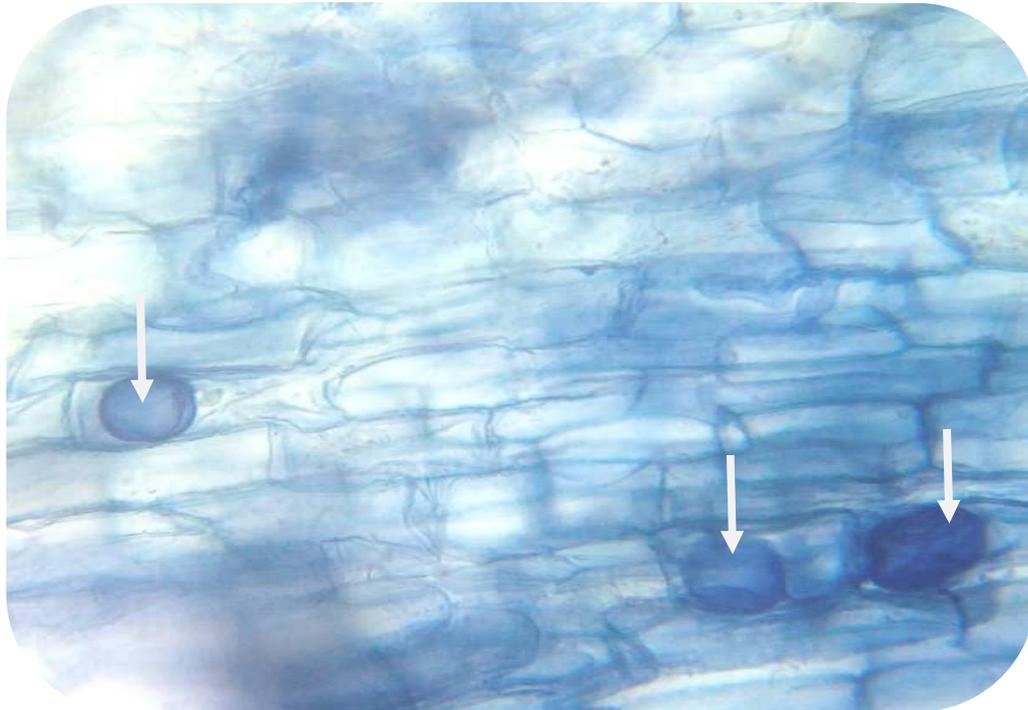


Figure 28. Vésicules intracellulaires sous formes ovales (flèches blanches).(x400).

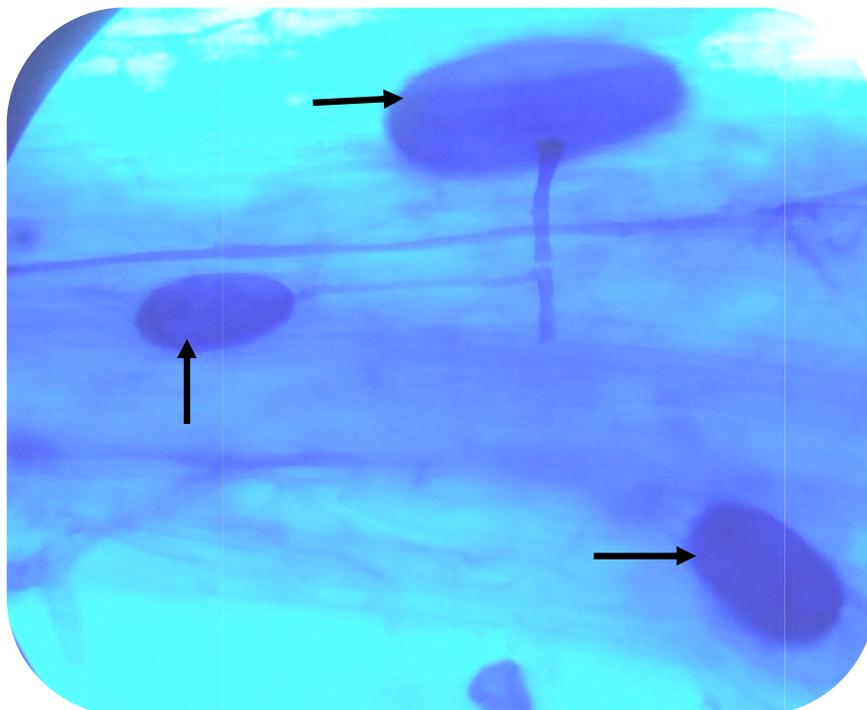


Figure 29. Grandes vésicules sous formes allongées portées par les hyphes mycéliens (flèches noirs) (x400).

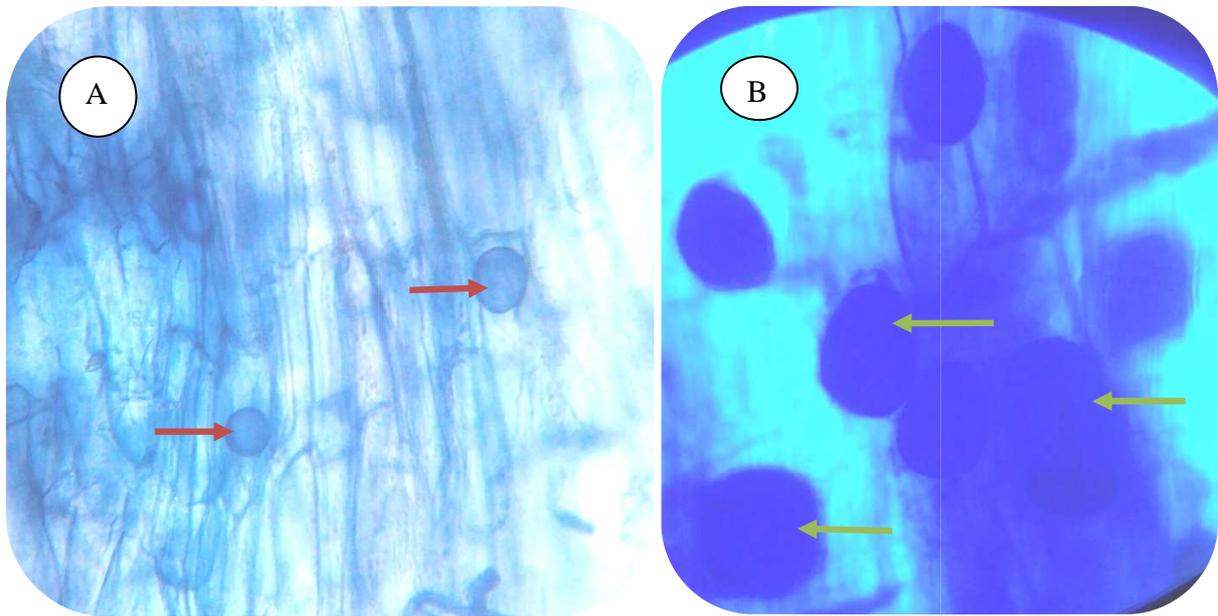


Figure 30. **A)** petites vésicules intracellulaires sous formes arrondies (flèches rouges), **B)** grandes vésicules intercellulaires (flèches vertes) (x 400).

Les vésicules sont des structures riches en gouttelettes lipidiques, elles joueraient le rôle d'organes de réserve. Ces structures ne se forment qu'après la formation des arbuscules (Brundrett *et al.*, 1999). D'après Zubek *et al.* (2008), les vésicules se forment seulement chez les genres appartenant aux Acaulosporaceae, Glomeraceae et Pacisporaceae.

La présence importante de vésicules allongées et ovales dans les fragments racinaires prélevés des douze sujets de *Punica granatum* L. indique la prédominance des espèces appartenant surtout au genre *Glomus*. Ces résultats rejoignent ceux de Wubet *et al.* (2003), qui ont rapporté que les Glomeraceae infectent et colonisent plus rapidement les racines que les Gigasporaceae et les Acaulosporaceae.

I.4. Spores

Nous avons observé des spores intra-racinaires dans la plupart des racelles des sujets échantillonnés (Fig. 31). Elles sont de différentes tailles, petites ou grandes, attachées à des hyphes suspenseurs. Ces spores appartiennent au genre *Glomus*. Ces résultats sont similaires à ceux de Tao et Zhiwei (2005), qui ont montré que quelques espèces de Glomeraceae comme *Gl.intraradices*, *Gl. microaggregatum* et *Gl. clarum*, adaptées à un environnement chaud et aride, forment des spores intra-racinaires.

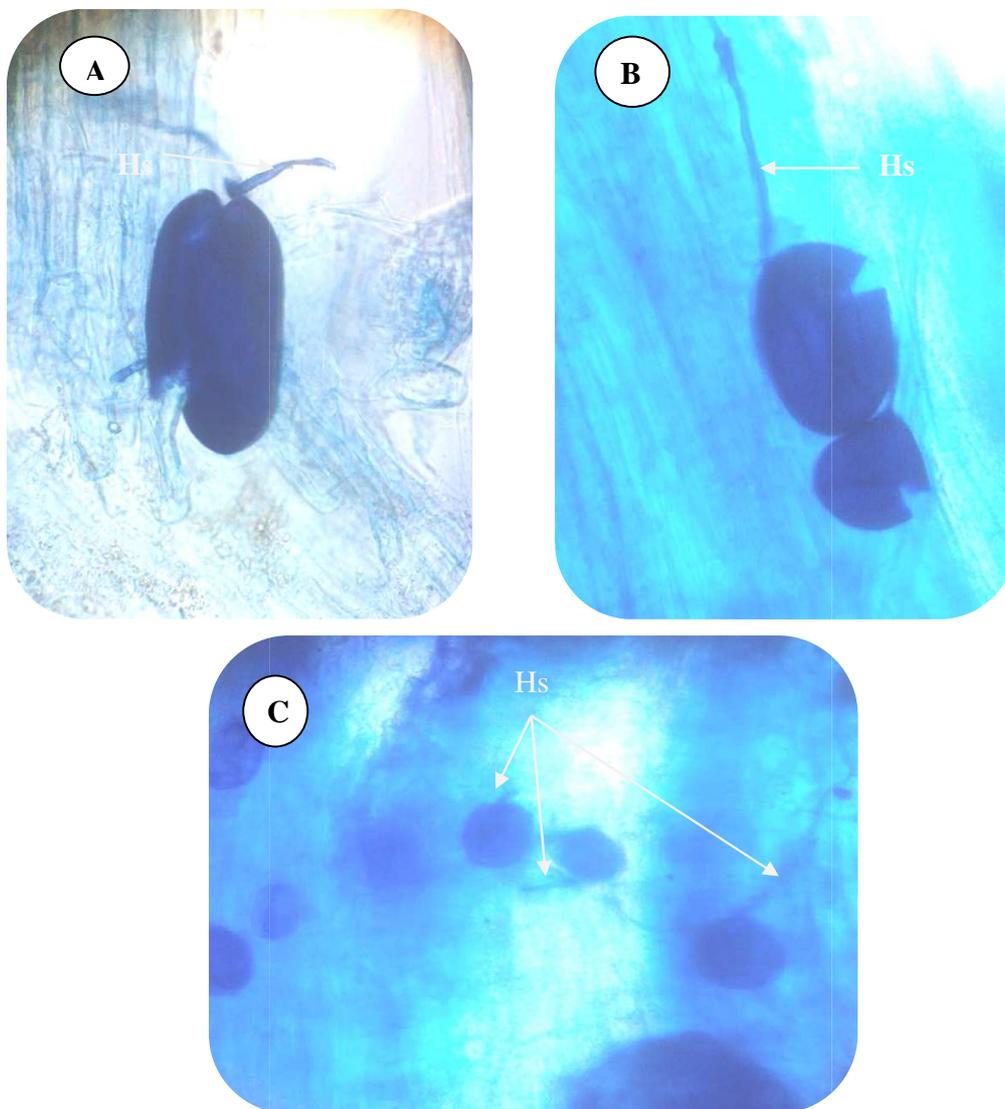


Figure 31. Différentes spores intra-racinaires de genre *Glomus*, **A et B**) : grandes tailles, **C**) : petites tailles (x 400).

I.5. Poils absorbants

Il y a lieu de noter aussi que les racelles présentent de poils absorbants en quantité très faible. Les poils absorbants observés ont une structure inhabituelle, ils sont organisés sur toute la longueur de la racine (Fig. 32).

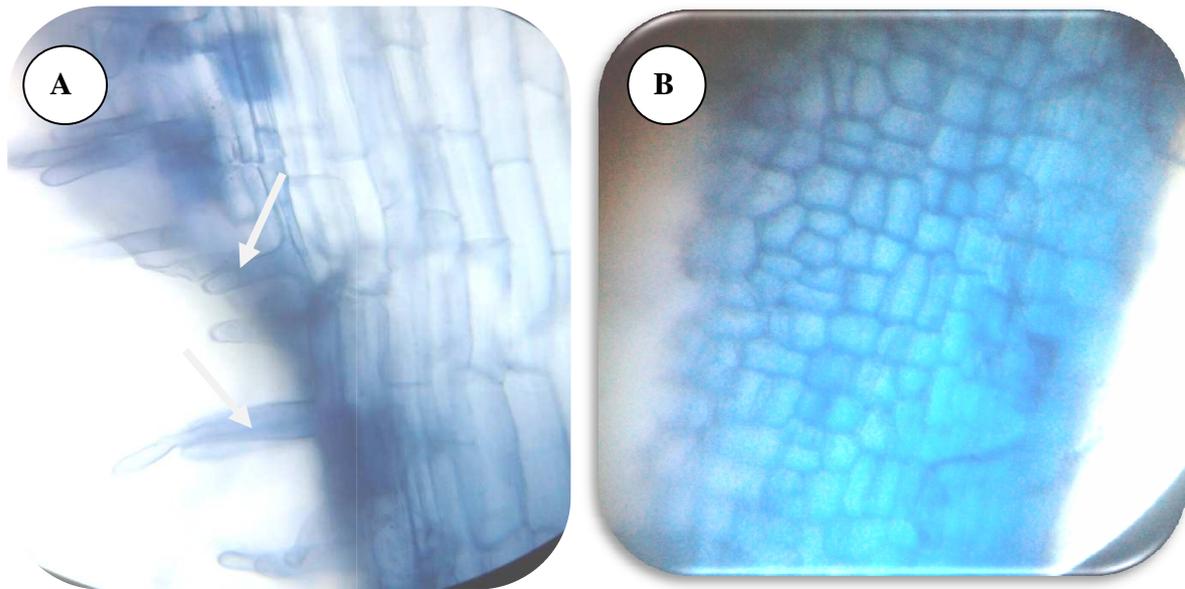


Figure 32. Poils absorbants (flèches) (A), sans poils absorbants (B) (x 400).

D'après Ligrone *et al.* (2007), les champignons endomycorhizogènes pénètrent dans les cellules corticales de l'hôte à l'aide des appressoriums ou par les poils absorbants.

Selon Simon (2014), les poils absorbants, comme leur nom l'indique, représentent le lieu principal d'absorption de l'eau et des sels minéraux par les racines. L'essentiel de l'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait *via* les poils absorbants, y compris pour les racines les plus volumineuses.

La présence de poils absorbants en quantité très faible chez les racelles observées montre que le système racinaire du *Punica granatum* L. est du type magnoloïde proposé par Cronquist (1968). En effet, Baylis (1975), a rapporté que les plantes qui représentent des racines de type magnoloïde c'est-à-dire des racines épaisses avec peu ou sans poils absorbants, tendent à montrer une colonisation mycorhizienne à arbuscules (MA) plus importante et une dépendance plus grande que celles ayant des poils absorbants et des racines fines et longues. Au cours de

l'évolution, il semblerait que la diminution des poils absorbants s'est déroulée avec un transfert de la fonction des poils absorbants au mycélium du CMA. Ce transfert de fonction semble avoir lieu dans un environnement où le phosphore était difficilement accessible pour la plante, comme c'est le cas des plantes des écosystèmes désertiques. Cependant, les résultats du dosage du phosphore assimilable des sols prélevés sous ces arbres sont faibles (Mallek et Ouslimani, en cours).

Le mycélium du CMA semble plus efficace que les poils absorbants en raison de sa capacité d'explorer un volume de sol plus important. De plus, le mycélium n'a pas de seuil limite d'absorption du phosphore, comme c'est le cas de toutes les plantes, il peut mettre le phosphore en réserve sous forme de polyphosphates. Il est aussi capable de le mettre à la disposition de la plante en cas de besoins.

Les observations ont également mis en évidence la présence de certaines structures arrondies très colorées au bleu de trypan. Nous n'avons pas pu observer les filaments mycéliens du champignon (Fig. 33).

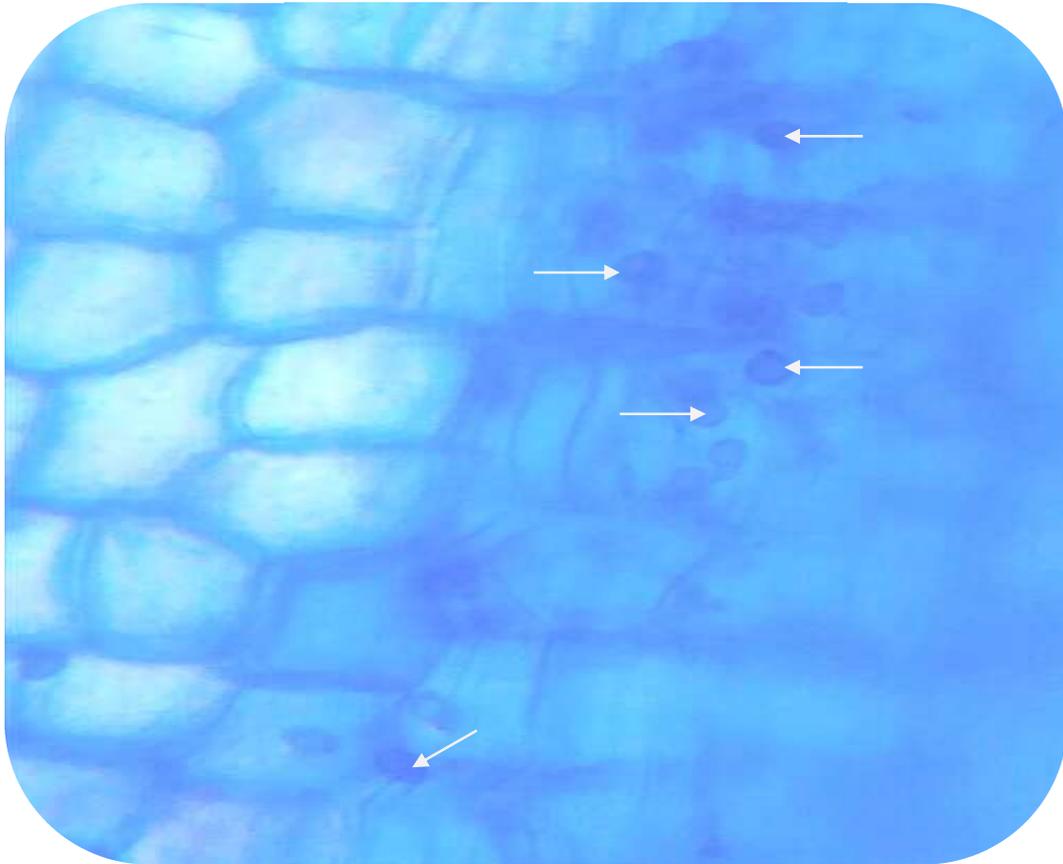


Figure 33. Structures arrondies (flèches) sans filaments mycéliens dans un fragment de racine (x 400).

Comme la majorité des plantes terrestres, *Punica granatum* L. vit en symbiose avec les champignons du sol. Il est capable de former des associations avec des champignons endomycorhizogènes à vésicules et arbuscules au niveau de ses racines. Ces résultats confirment ceux de Smail-Saadoun et Mellah (2008), qui ont été rapportés par d'autre travail effectué au sein du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou sur le Pistachier de l'Atlas. Nos résultats confirment les rapports antérieurs, qui indiquent que ces champignons sont omniprésents dans les communautés des plantes terrestres, associés avec la majorité des espèces végétales. En effet, grâce à cette association, la plante retire de nombreux effets bénéfiques particulièrement la nutrition phosphatée et la gestion du stress hydrique.

II. Mise en évidence des structures de l'association endophytique

Nous avons également observé la présence dans certains fragments racinaires seul un champignon foncé septé (FS) ou (DSE) en anglais, soit en quantité très importante sur la surface racinaire ou pénétrant la racine en formant des micro-sclérotos intracellulaires de différentes formes et différentes couleurs, marron ou bleu (Fig. 34).

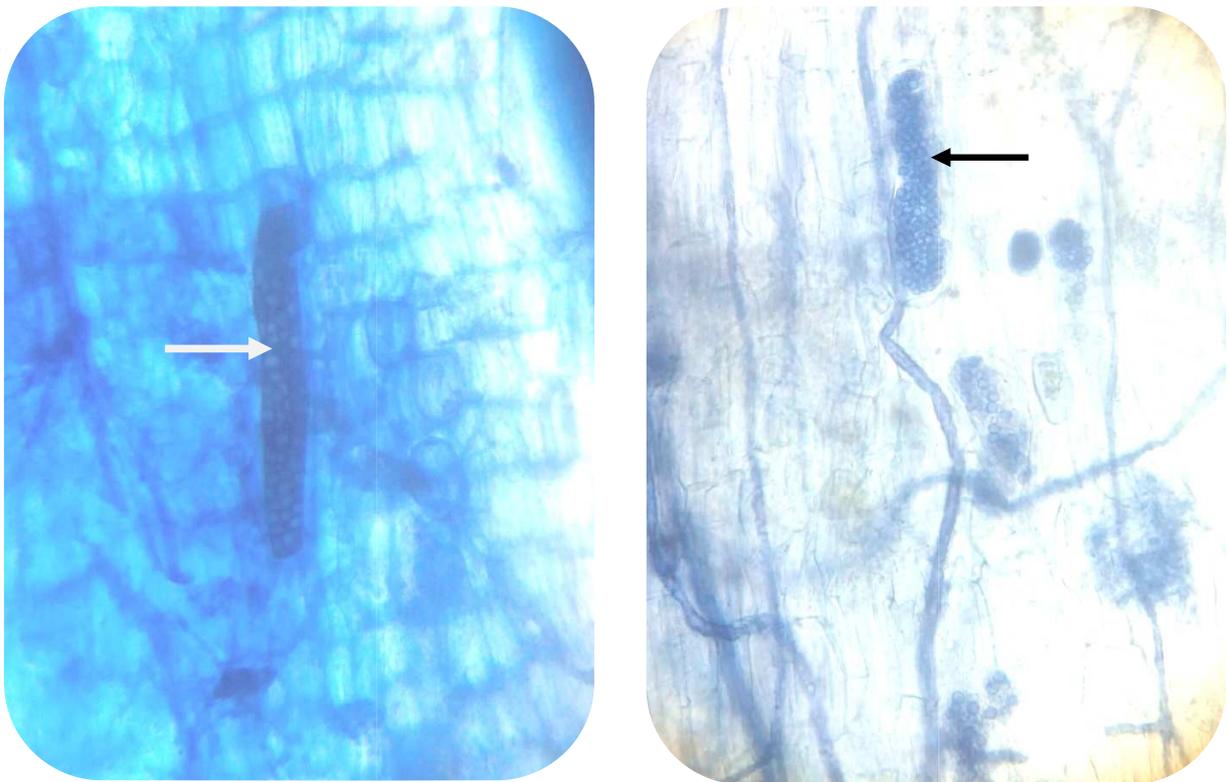


Figure 34. Micro-sclérotos marron (A) (flèche blanche) et bleu (B) (flèche noir) sous formes rectangulaires (x 400).

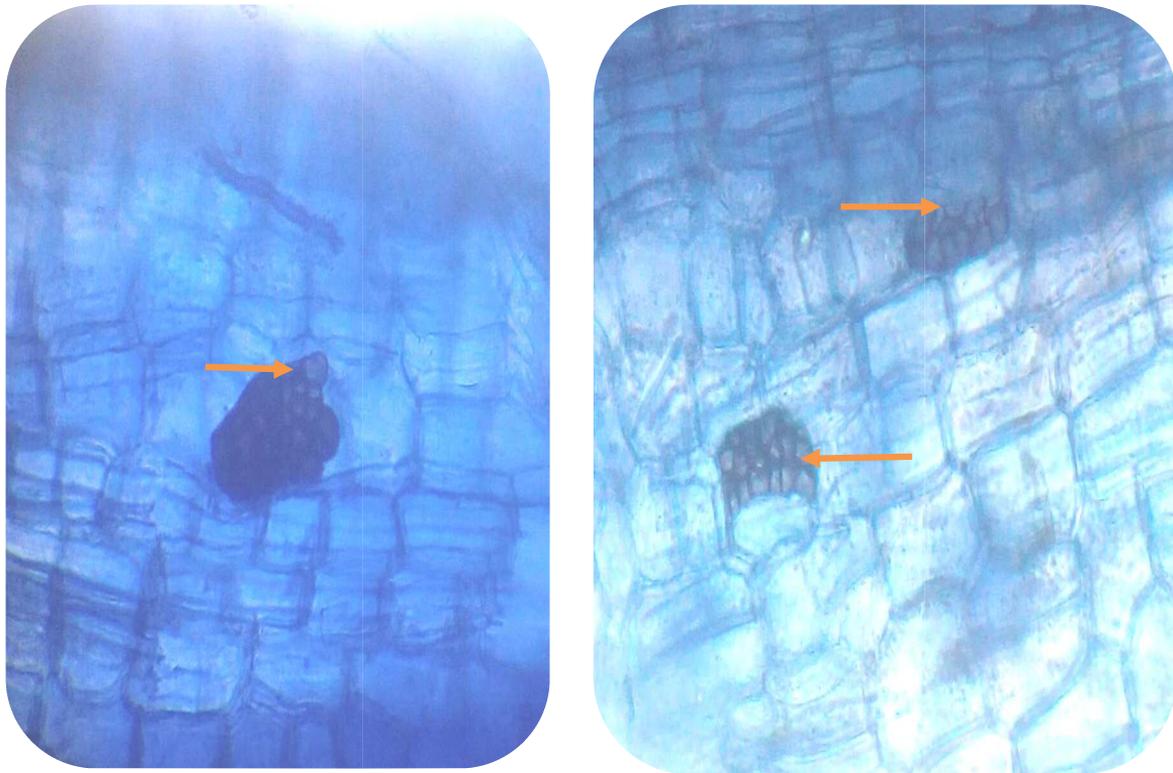


Figure 35. Micro-sclérotés marron sous formes particulières (flèches orange) (x 400).

Et, il est parfois observé dans des fragments racinaires associé au champignon mycorhizogène à arbuscules (MA) (Fig. 36).

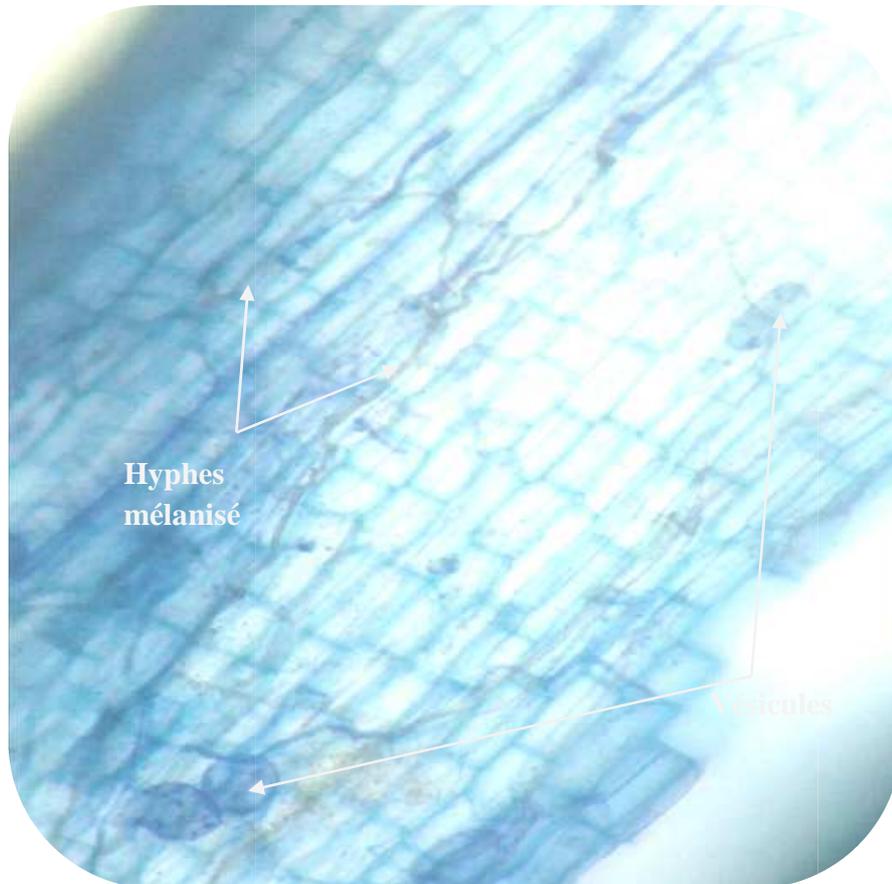


Figure 36. Endophytes associé aux champignons mycorhizogènes à arbuscules (MA) (x 400).

Ces champignons foncés septés ont été observé chez beaucoup d'espèces végétales par plusieurs auteurs dont Jumpponen (2001) et Peterson *et al.* (2008), qui les ont nommés endophytes foncés septés. Zhang *et al.* (2011), ont montré qu'en savane (climat aride au moins une partie de l'année), au moins 84 % des plantes étaient associés symbiotiquement à des (DSE) qui peuvent jouer un rôle dans la tolérance au stress hydrique. Certains de ces mycoendophytes racinaires sont caractérisés par la formation d'hyphes mélanisées, inter ou intracellulaires (Jumpponen et Trappe, 1998). Nos résultats sont similaires à ceux de Raab (2010), Redjidal (2010) et Mechiah (2015) qui ont travaillé sur les racelles du pistachier de l'Atlas dans différentes régions d'Algérie.

Les observations effectuées sur les radicelles du *Punica granatum* L. ont révélé l'existence de structures fongiques mélanisées, caractéristiques des DSE, dont les hyphes sont inter et intracellulaires (Fig. 37).

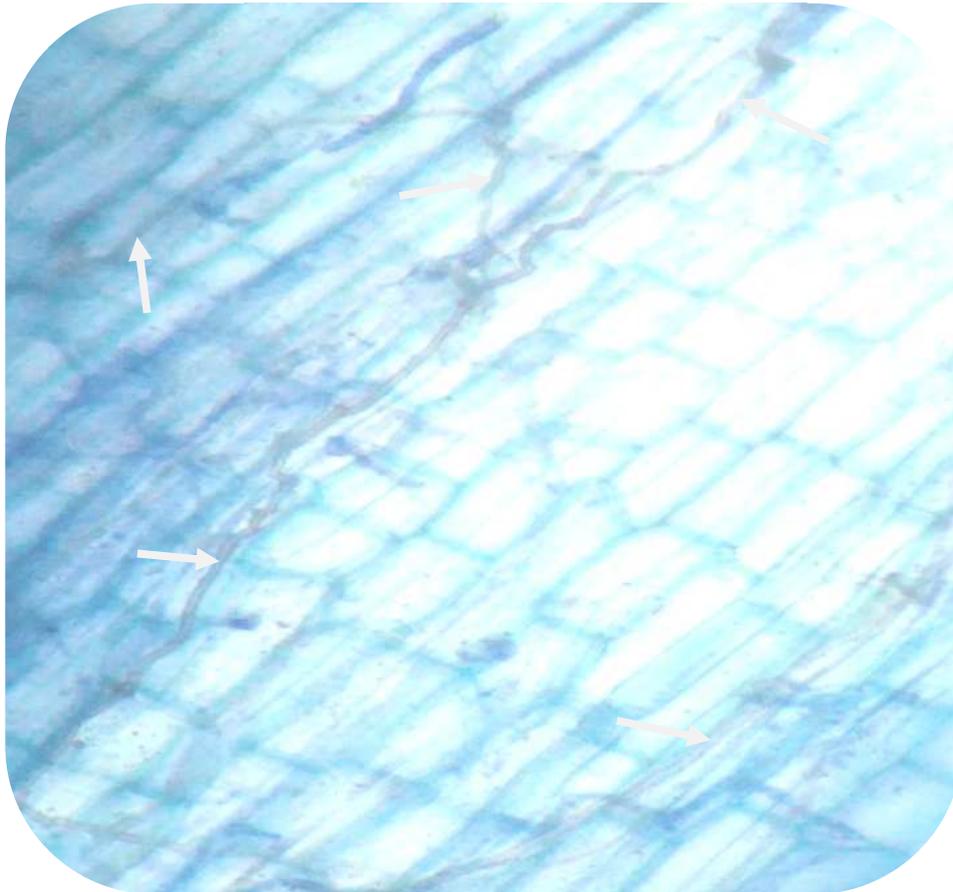


Figure 37. Filaments mycéliens mélanisés de DSE (flèches) (x 400).

Ces endophytes comme les champignons endomycorhizogènes pénètrent dans les cellules corticales de l'hôte pour former des micro-sclérotos intracellulaires (Fig. 38) dans l'épiderme et le cortex racinaire des plantes.

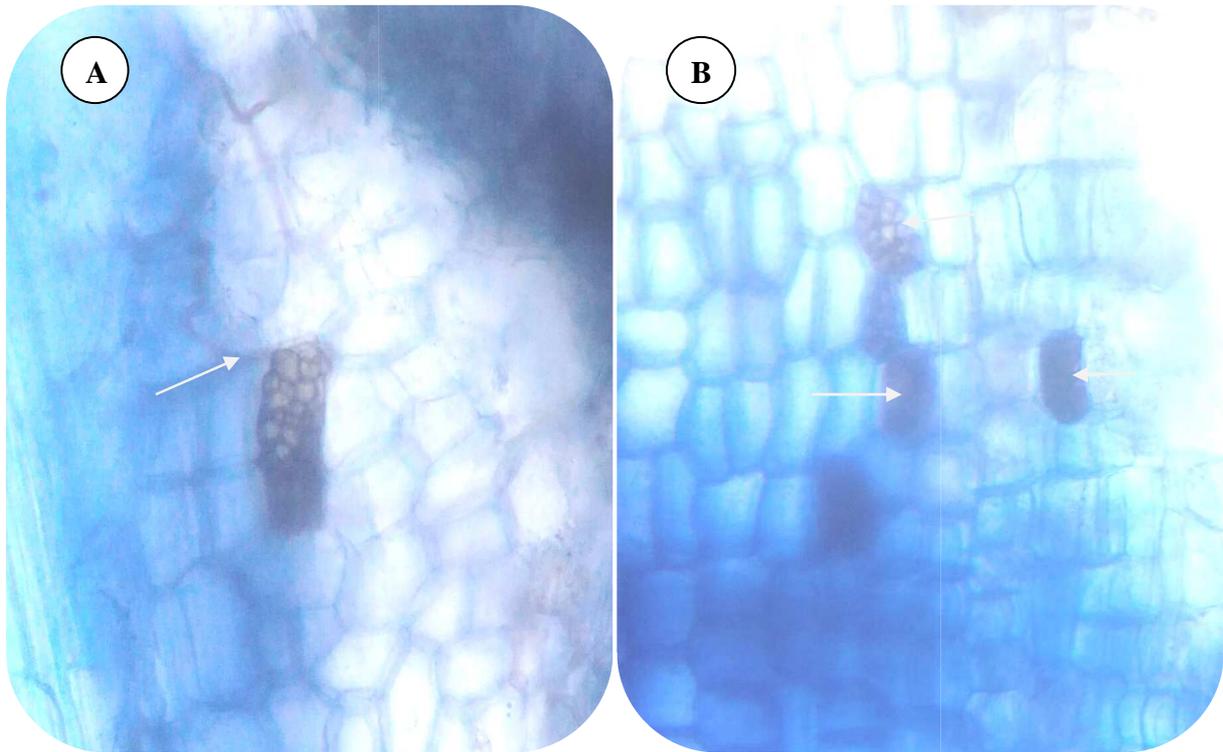


Figure 38. Pénétration des hyphes des DSE (flèche) dans les cellules corticales (A) pour former des micro-sclérotés intracellulaires (flèches) (B) (x 400).

Cette pigmentation à la mélanine protège les hyphes des conditions de l'environnement extrême et le degré de pigmentation dépend de la provenance, de l'âge et des conditions de croissance des champignons (Boudiaf Nait Kaci, 2014).

Lors des observations microscopiques nous avons aussi remarqué une coloration en bleu trypan du cylindre central (Fig. 39). Cette coloration reflète la présence des champignons mycoendophytes au niveau des tissus conducteurs et leur transmission de la partie racinaire à la partie aérienne.

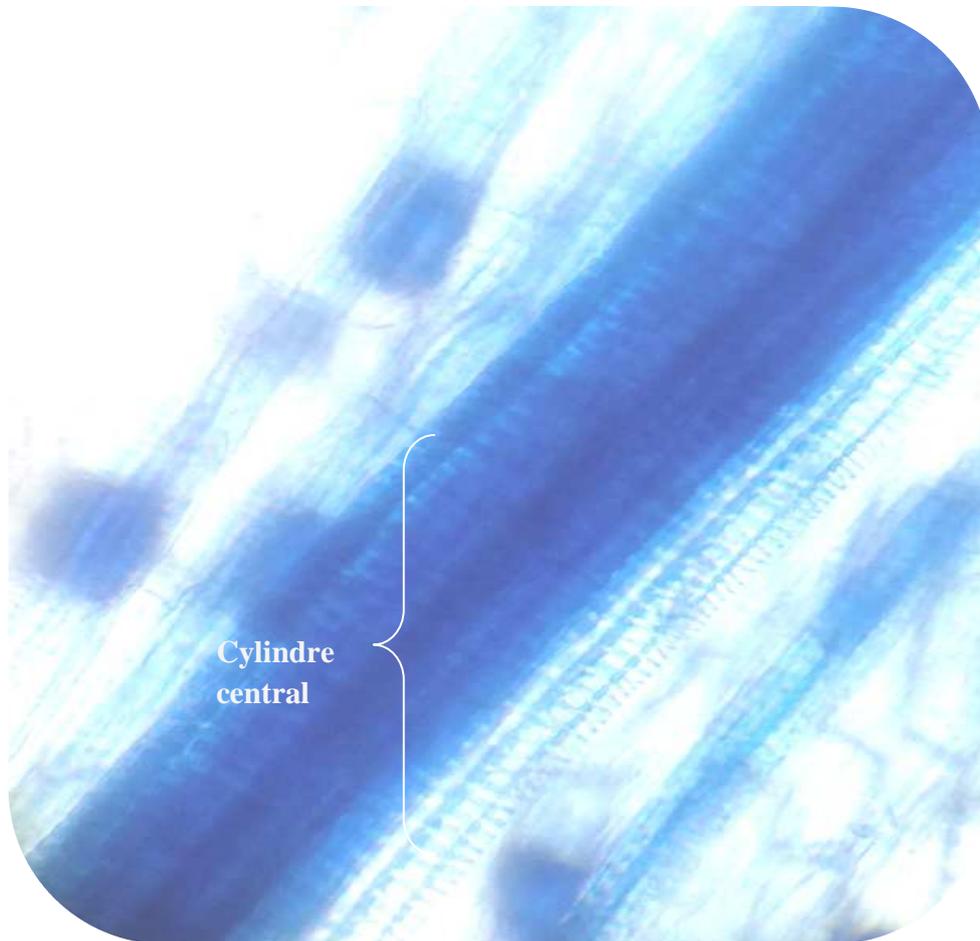


Figure 39. Cylindre centrale (flèche) colorée en bleu (x 400).

Ce résultat est similaire à celui de Barrow (2003), qui a observé les (DSE) dans le cylindre central, dans son étude sur les racines de *Bouteloua gracilis* des pâturages des zones arides du sud-ouest des Etats-Unis, sans endommager les tissus conducteurs contrairement aux champignons pathogènes.

Les champignons endophytes protègent les plantes hôtes contre les maladies (Clay, 1988). En effet, ils produisent des métabolites secondaires variés à activités antivirale, antifongique et antibactérienne (Gunatilara, 2006). Ils produisent aussi des alcaloïdes qui confèrent à la plante hôte une résistance contre les herbivores (Faeth et Saari, 2012). Ils

améliorent aussi la thermotolérance des plantes (Redman *et al.*, 2002) et la résistance à la sécheresse (Arnold, 2002). Peterson *et al.* (2008) suggèrent que ces champignons peuvent transférer le phosphore et l'azote à la plante hôte.

La présence des deux champignons endophyte et CMA chez le *Punica granatum* L. confirme les résultats de Currah *et al.* (1997) et Peterson *et al.* (2004), qui signalent l'association symbiotique entre les deux types de champignons. Selon les mêmes auteurs les endophytes sont rencontrés dans de nombreuses espèces végétales, le plus souvent formant des symbioses avec des champignons mycorhizogènes notamment les CMA. D'après Berube (2007), les endophytes peuvent comme les champignons mycorhizogènes aider les plantes à assimiler certains éléments minéraux comme l'azote et le phosphore.

III. Calculs des taux d'infection par les champignons MA

L'estimation du pourcentage de colonisation des racines calculée selon la méthode de Nicolson (1955) in Chafi (1992), nous montre une variabilité des pourcentages entre les différents arbres étudiés (**tableau 3**). Ces pourcentages fluctuent entre 16,66 % et 73,33 % (Fig. 40).

Tableau 3. Pourcentages d'infection des champignons MA.

Arbres	% d'infection des champignons MA

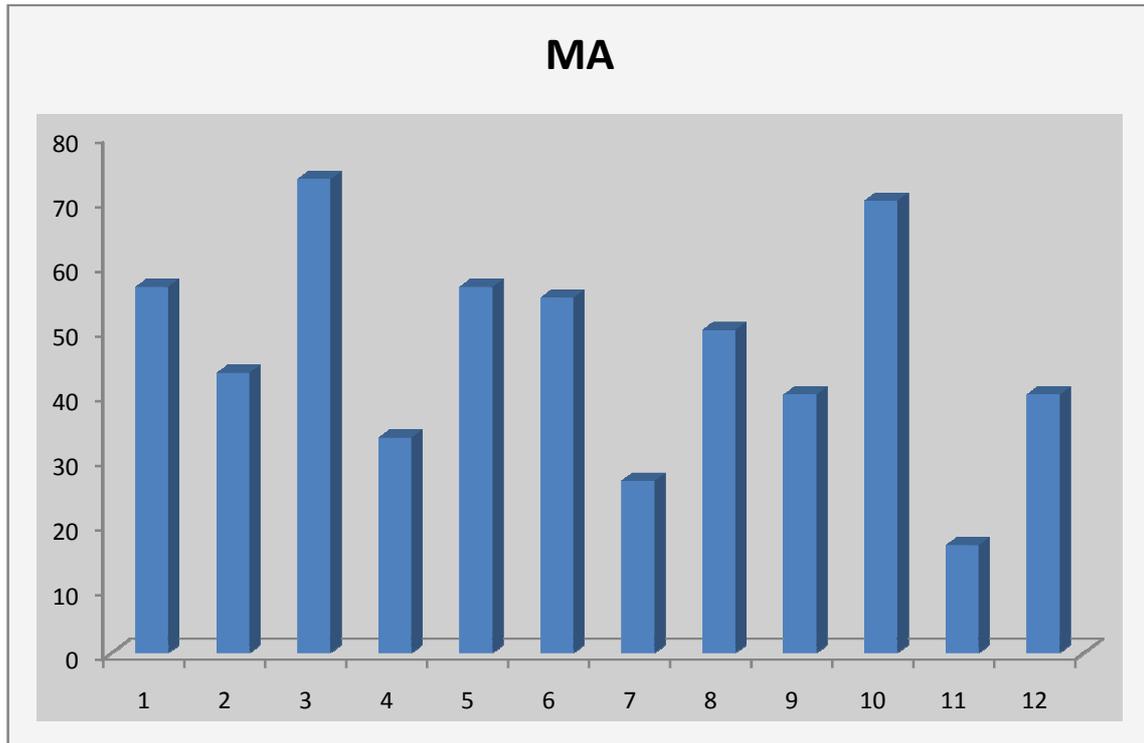


Figure 40. Représentation graphique des taux d'infection des champignons mycorhizogènes à arbuscules.

IV. Calculs des taux d'infection par le champignon FS

Lors des calculs du taux d'infection par le champignon foncé septé, nous avons remarqué la présence de même champignon dans les échantillons concernés. Les pourcentages d'infection varient selon les arbres (**tableau 4**), ils fluctuent entre 3,33 % et 6,66 % (Fig. 41).

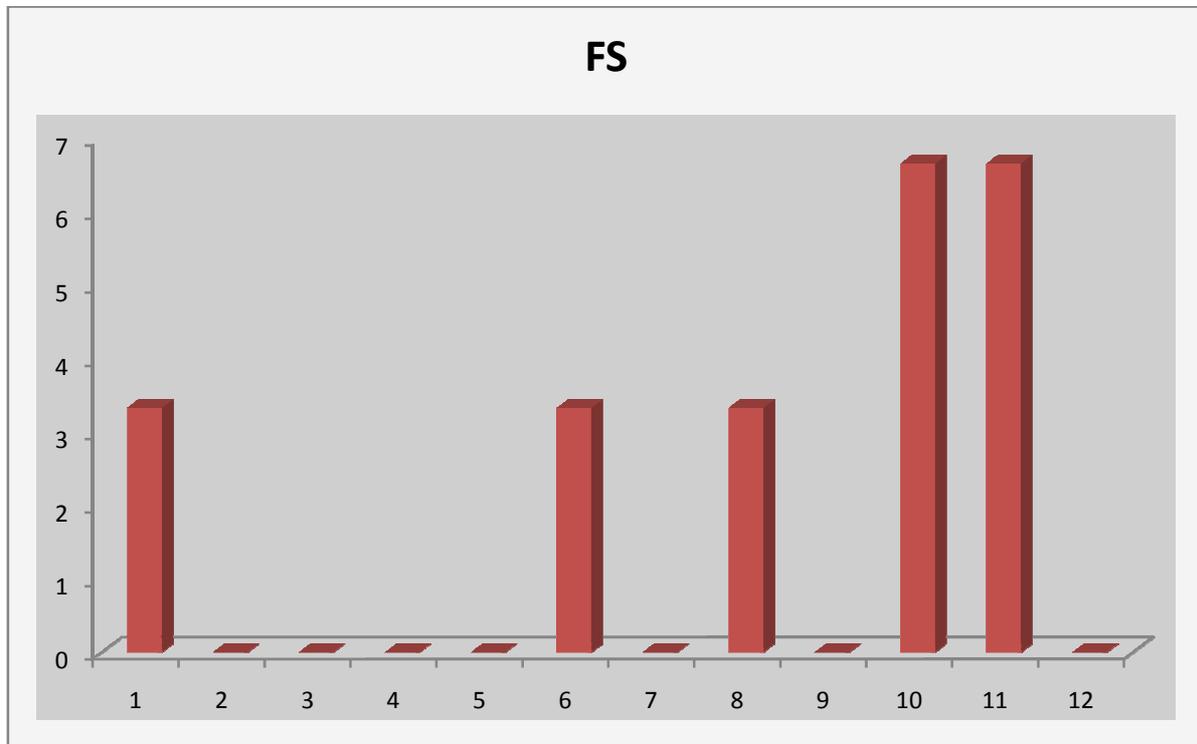


Figure 41. Représentation graphique des taux d'infection par le champignon foncé septé.

Cependant, si nous comparons la moyenne des pourcentages des taux d'infection par le champignon mycorhizogène à arbuscules et du champignon foncé septé, et qui sont respectivement de 46,80 % et 1,94 %, nous constaterons que l'infestation par les champignons MA est plus élevée et plus importante que celle par les champignons FS (Fig. 42).

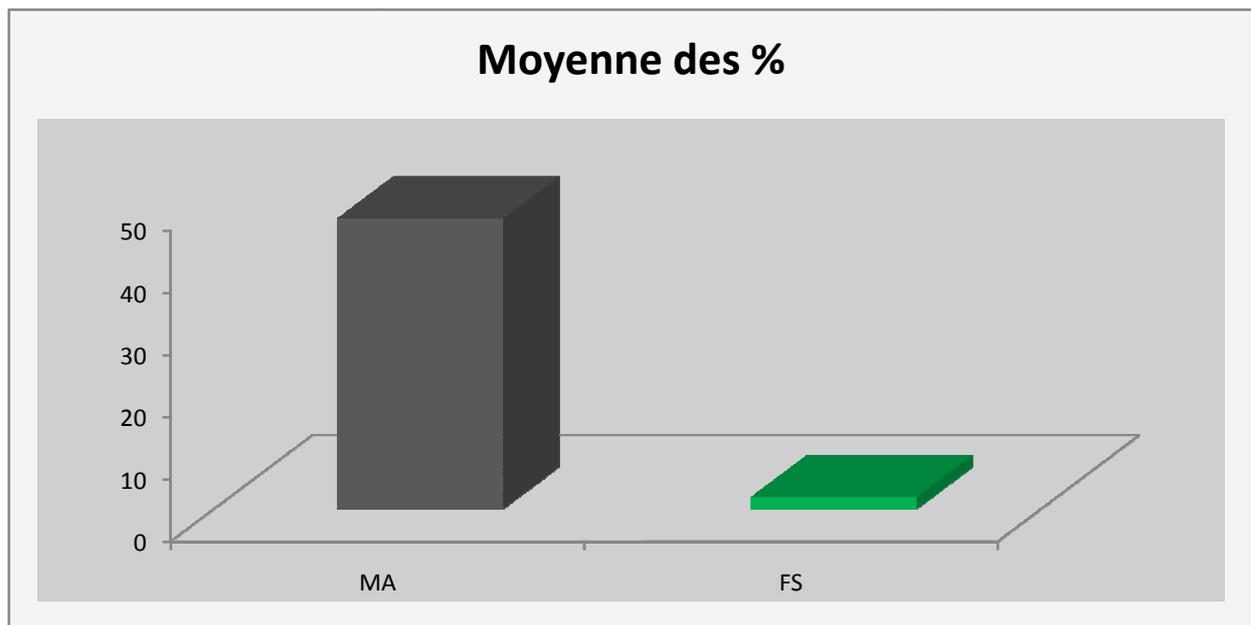


Figure 42. Représentation graphique des moyennes des taux d'infection par les champignons mycorhizogènes à arbuscules (MA) et foncé septé (FS).

Les calculs des taux d'infection par les champignons MA et les champignons FS montre que l'infection par les champignons MA est plus élevée que celle par les champignons FS, et la variabilité des pourcentages de MA et FS entre les différents arbres étudiés probablement dû aux différentes propriétés physiques et chimiques des sols étudiés.

Le sol de cette station est caractérisé par une teneur en CaCO_3 forte qui atteindrait 60%, avec un dosage de phosphore assimilable faible (Mallek et Ouslimani, en cours) et des taux de matière organiques faibles (Hadim en cours).

Nous considérant que ses facteurs abiotiques favorisent une forte immobilisation du phosphore sous forme de phosphates calciques et une nitrification importante (Djellil et Imerzoukène, 2007).

Nous pouvons donc considérer que dans les sols calcaires, l'azote et le phosphore pourraient être deux facteurs limitant de la croissance des espèces arboricoles (Plassard, 1996).

D'après Meddich *et al.* (2000), dans les zones arides la mycorhization permet à la plante de maintenir sa teneur en eau. Et son potentiel hydriques à des valeurs élevées quant il ya une contrainte hydrique sévère.

Conclusion

L'objectif de notre étude est de mettre en évidence la symbiose mycorhizienne et endophytique racinaires nécessaires à la survie du *Punica granatum* L. dans les conditions d'aridité de la zone d'étude, à savoir Melaga, région de Messaad, Wilaya de Djelfa (Algérie).

L'échantillonnage a concerné douze arbres qui ont été choisis d'une manière aléatoire. Nos racines de diamètre inférieur à 0,5 mm ont été colorées au bleu du trypan selon le protocole de coloration de Phillips et Hayman (1970) dans le but de montrer la présence et la diversité en champignons mycorhiziens et endophytes.

Les résultats obtenus montrent que Tous les fragments racinaires analysés sont densément endomycorhizés.

Les résultats de l'estimation de la fréquence de colonisation par les champignons endomycorhizien montrent que cette espèce est fortement colonisée par les champignons CMA. Elle peut atteindre 73,33 %.

Egalement, l'observation des racines ont montré la présence de champignons endophytes (FS) au niveau du cortex racinaire ou pénétrant la racine en formant des micro-sclérotos intracellulaires, et au niveau du cylindre central de certains fragments racinaires.

L' l'estimation de la fréquence de colonisation par les champignons (FS) montrent que cette espèce est faiblement colonisées par les champignons endophytes FS, (entre 3,33 % et 6,66 %).

Lors des observations microscopiques nous avons aussi remarqué la présence de certaines structures arrondies très colorées au bleu de trypan, mais malheureusement nous n'avons pas observé les filaments mycéliens de ce champignon. Le rôle de ce champignon et les conditions de sa formation restent inconnus.

La mycorhize peut être décrite comme phénomène d'amélioration de la résilience d'une plante. Non seulement la tolérance au stress est plus élevée mais aussi la récupération après une phase de stress est améliorée (Rougemont, 2007).

Les endophytes fournissent à la plante plusieurs bénéfices, notamment la protection contre les pathogènes et la lutte contre la sécheresse. Ce sont alors des associations très importantes (Benfoddil, 2015).

Pour mieux comprendre les variations des fréquences de mycorhizes et d'endophytes FS, ainsi que leur impact sur *Punica granatum* L. et élucider les conditions de leur formation, il serait nécessaire de compléter cette étude préliminaire de manière à :

- élargir les paramètres d'études pour toucher un maximum d'arbres,
- étudier et approfondir les propriétés physiques et chimiques du sol sous chaque arbre,
- isoler les souches fongiques et les tester dans des conditions contrôlées,
- un suivi temporel de l'évolution de ces populations fongiques.

Références bibliographie

Abdellaoui K., Smail-Saadoun N., Baghdadi F., Mazouzi D., Behar N., Belkebir-Boukais A., 2013. Symbioses endomycorhizienne et endophytiques de *Pistacia vera* : cas d'une pistacheraie de M'chedallah (wilaya de Bouira - Algérie). *Revue des Régions Arides* - n° 35.1825p.

Addy H.D., Pieredy M.M., Currah R.S., 2005. Microfungal endophytes in roots. *Can. J. Bot.*, 83:1-13.

Afaq F., Malik A., Saleem M., Krueger C.G., Read.J.D., Mukhtar H. 2005. Pomegranate fruit extract modulates UV-Bmediated phosphorylation of mitogen-activated protein kinases and activation of nuclear factor kappa B in normal human epidermal keratinocytes. *Photochemistry and photobiology*. N°81. Pages 38-45.

Ait Youcef M., 2006. *Plantes Médicinales de la Kabylie*. Ed. IBIS PRESS. Paris. 349p.

Amin N., Nasruddin A., Daha L., 2011. Isolation, identification, and in vitro screening of fungal endophytes against pathogen of maize leaf blight, *Helminthosporium maydis*. International Seminar and The 21National congress of The Indonesian Phytopathological Society. Solo. pp 3-5.

Arnold A.E., 2002 .Tropical endophytes: diversity and ecology. Dissertation, University of Arizona, Tucson, USA.

Arnold A.E., 2007. Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges, and frontiers. *Fungal biology reviews*. Vol (21): 51-66.

Auge R.M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11: 3-42.

Azevedo J.L., Maccheroni J.W., Pereira J.O., Araujo .W.L. 2000. Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. *Electr. J. Biotechnol*.Vol (3): 40-65.

Baize D., Jabiol B., 1995. *Guide pour la description des sols*, Ed. INRA, Paris, 375p.

Références bibliographie

Balandreau J., knoweles R., 1978. The rhizosphere. In Interactions between non-pathogenic soil microorganisms and plants. Dommergues Y.R. and Krupa S.V. eds. Elsevier, Amsterdam. 475 p.

Balestrini R., Lanfranco L., 2006. Fungal and plant gene expression in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 16, 509-524.

Barrow J.R., 2003. Atypical morphology of dark septate fungal root endophytes of *Bouteloua* in arid southwestern USA rangelands *Mycorrhiza*, 13: 239-247.

Basu A., Penugonda K., 2009. Pomegranate juice: a heart-healthy fruit juice. *Nutr Rev.* Jan; 67(1):49-56.

Baylis G.T.S., 1975. The magnoloïde mycorrhiza and mycotrophy in root system derived from it. In: Endomycorrhizas. Eds. F.E. Sanders, B. Mosse, et P.B. Tinker. Academic Press, London, 373-389.

Bécard G., Piché Y., 1989. Fungal growth stimulation by CO₂ and root exudates in vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Appl Environ Microbiol*, 55, 2320-2325.

Bécard, G., Kosuta, S., Tamasloukht, M., Sejalon-Delmas, N., Roux C., 2004. Partner communication in the arbuscular mycorrhizal interation. *Can J Bot*, 82, 1186-1197.

Benfoddil O., 2015. Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Spécialité : Sciences Biologiques. Option : Ecologie Végétale Appliquée et Gestion de l'Environnement. UMMTO.

Berube J., 2007. Ressources naturelles. Canada Service canadien des forêts Centre de foresterie des Laurentides n° 34 ; 1055, rue du P.E.P.S.C.P. 10380, succ. Sainte-Foy Québec (Québec) G1V 4C7.

Références bibliographie

Blaszkowski J., 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), Endogone and Complexipes species deposited in the Department of Plant Pathology, University of Agriculture in Szczecin, Poland 230 p.

Blaszkowski J., Czerniawska B., 2011. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Glomeromycota) associated with roots of *Ammophila arenaria* growing in maritime dunes of Bornholm (Denmark). *ACTA Societatis botanicorum Poloniae*. 1: 63-76.

Bock B., 2011. Bases de Données Nomenclaturales de la Flore de France BDNFF. Ed. Tela botanica V4.02. France. 3p.

Bonfante P., Anca I.A., 2009. Plants, mycorrhizal fungi, and bacteria: a network of interactions. *Annual Review of Microbiology*, 63: 363-383. *Botany*, 73S: 25-32.

Boudiaf Nait Kaci M., 2014. Biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère de l'olivier (*Olea europaeae L.*). Thèse de Doctorat, spécialité Agronomie, Option : Pédologie. UMMTO.

Boudiaf Nait kaci M., Hedde M., Mouas-Bourbia S., Siad D. et Derridj A., 2010. Biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère du grenadier (*Punica granatum L.*) Sous climat aride : cas des vergers de Messaad Wilaya de Djelfa. UR 251 PESSAC-Centre INRA de Verrailles-Grignon .8p.

Bowes B.G., Mauseth J.D., 2012. Structure des plantes. Deuxième édition. Ed. Quae. 288p.

Brundrett M.C., Abbott L.K., Jasper D.A., 1999. Glomalean fungi from tropical Australia. I. Comparison of the effectiveness of isolation procedures. *Mycorrhiza*, 8: 305-314.

Cammalletti P., 2012. La mycorhization contrôlée aux Pépinières Robin .Astredhor. Journées techniques 35p.

Cauchard P., 2013. Le grenadier. Organisation de la filière, opportunités et contraintes pour son développement. Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences

Références bibliographie

Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du paysage. Spécialité : Horticulture, Option : Fruits, Légumes, Alimentation et Marchés (FLAM). 56p.

Chafi M.E.H., 1992. Prospection des plantes à associations symbiotiques de type mycorhize des zones arides Algériennes .Cas de la région de Ain Ben Khellil .Wilaya de Naama.Thèse de mag. Université d'Oran.114p.

Chaillou S., 2008. Développement racinaire, fonctionnement de la rhizosphère et nutrition minérale. 61p.

Charest C., Dalpé Y., Brown A., 1993. The vesicular-arbuscular mycorrhizae and chilling on two hybrids of *Zea mays* L. *Mycorrhizae*, 4:89-92.

Chiffot V ., 2008. Etude moléculaire de CMA dans le système agris Sylvicole. Mémoire. Université Laval. Québec.63p.

Clay K., 1988 – Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plants and fungi. *Ecology*, 69: 10-16.

Crete X., Lemoine H.T., 2014. Le grenadier, *Punica granatum* L. Famille des Lythracées, Originaire de l'Asie de l'Ouest. 5p.

Cronquist A., 1968. The evolution and classification of Flowering plants. Nelson, London. 396p.

Currah R.S., Zelmer C.D., Hambleton S., Richardson K.A., 1997. Fungi from orchid Mycorrhizas. In *Orchid Biology. Review and perspectives* .Edited by J. Arditti and A.M. Pridgeon. Kluwer Academic Publishers. Great Britain. pp. 117-170.

Dalpé Y., 1997. Biodiversité des champignons mycorhiziens. Centre de recherches de l'Est sur les céréales et les oléagineux (CRECO), Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 13p.

Références bibliographie

Dalpe Y., 2005. Les mycorrhizes: un outil de protection des plantes mais pas une panacée. *Phytoprotect.*, 86: 53-59.

Dalpe Y., 2006. Les mycorrhizes: un outil de protection des plantes mais pas une panacée. *Phytoprotect.*, 86 : 53-59.

Dalpe Y., Granenbrouck S., Séguin S., Declerck S., 2005. The Monoxenic Culture of Arbuscular Mycorrhizal Fungi as a tool for Systematics and Biodiversity. In: *In Vitro Culture of Mycorrhizas*. Eds: Declerck S., Strullu D.G., Fortin A. *Soil Biol*, 4: 31-48.

Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production. Ed. I.N.R.A., 344 p.

Davis E.A., young J.L., 1985. Endomycorrhizal colonization of glass-house grown wheat as influenced by fertilizer salts when banded or soilmixed. *Can.J.Bot.* 63: 1196-1203.

DeBary A., 1866. *Morphologie und Physiologie der Pilze, Flechten und Myxomyceten*. In thèse de Doctorat : Les champignons endophytes : impact sur écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique A.S- Crozet et B. Canard. 2016. p12.

Dechamplain N., Gosselin L., 2002. Les champignons mycorrhizogènes. Université Laval.12p.

Delille L.A., 2010. Les plantes médicinales d'Algérie. 2^{ème} Ed. BERTI. 239p.

Dexheimer J., 1997. Etude structurale et fonctionnelle des interfaces entre le champignon et la plante-hôte. *Rev For Fr XLIV*: 43-56.

Deysson G., 1979. Cours de Botanique Générale : Organisation et classification des plantes vasculaires. Tom II .Ed. SEDES, Paris V^e, 540 P.

Dickson S., 2004. The *Arum-Paris* Continuum of Mycorrhizal Symbioses. *New Phytologist*, 163(1) : 187-200.

Références bibliographie

Djellil M., Imerzoukène N., 2007. Valorisation des propriétés physiques, chimiques et la biodisponibilité du phosphore à l'interface sol-racine, cas de l'olivier au stade hivernal .Thèse d'ing. UMMTO.72p.

Dodd J. C., Boddington C. L., Rodriguez A., Gonzalez-Chavez C., Mansur I., 2000. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from different genera: form, function and detection .Plant Soil, 226: 131-151.

Domenech G., 2011. Les mycorhizes : quand végétaux et champignons s'associent pour le meilleur !

Drouet F., 2016. Quelques informations utiles sur le grenadier (*Punica granatum* L.).

Duhoux E., Nicole M., 2004. Biologie Végétale : associations chez les plantes. Ed D.U.N.O.D, Paris, P 160.

Duponnois R., Hafidi M., Ramankierama H., Bâ., 2013. Des champignons symbiotiques contre la désertification : Ecosystème méditerranéens, tropicaux et insulaires .Ed. IRD. 512p.

Egli S., et Brunner I., 2002. Les mycorhizes : une fascinante biocénose en forêt. Institut fédéral de recherches WSL-CH -8903. Birmensdorf. Allemagne .8p.

El Hachimi F., El Antari A., Boujnah M., Bendrisse A., Alfaiz C., 2015. Comparaison des huiles des graines et de la teneur en acides gras de différentes populations marocaines de jujubier, de grenadier et de figuier de barbarie [Comparison of oils seed and fatty acid content of various Moroccan populations of jujube, grenadier and prickly pear]. ISSN: 2028-2508, CODEN: JMESCN. J. Mater. Environ. Sci. 6 (5) (2015) 1488-1502.

Evreinoff V.A., 1957. Contribution à l'étude de grenadier. Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliqué. Vol (4). N°3 .pp.124-138.

Faeth S.H., Saari S., 2012. Fungal grasses endophytes and arthropod communities lessons from plant defence theory and multitrophic interaction. Fungal Ecology, 5:364-371.

Références bibliographie

Fortin J.A., 2016. Les mycorhizes: un atout pour l'agriculture. Ed. Cef. Université Laval. 51p.

Fortin J.A., Plenchette C., Piche Y., 2008. Les mycorhizes : la nouvelle révolution verte, édition Multi Mondes. Québec, Canada. 129 p.

Fourasté I., 2002. Etude botanique « Le grenadier ». Faculté des Sciences Pharmaceutiques de Toulouse. Ed. SIA Laveur. 16p.

Fuchs J.G., Hérisse J.M., 1999. Fertilité des sols, les produits biologiques : bien les connaître pour mieux les utiliser. Ed. Biophyt Sa, Agre, Biarritz.44p.

Gallaud I., 1905. Etude sur les mycorhizes endotrophes. Rev.Général. Bot., 17:5-48.

Garbaye J., 2000. The role of ectomycorrhizal symbiosis in the resistance of forests to water stress. Outlook on Agriculture, 29 : 63-69.

Garbaye J., 2013. Symbiose mycorhizienne. Ed. Quae. p224.

Genre A., Chabaud M., Timmers, T., Bonfante, P. and Barker, D.G. 2005). Arbuscular mycorrhizal fungi elicit a novel intracellular apparatus in *Medicago truncatula* root epidermal cells before infection. *Plant Cell*, 17, 3489-3499.

Gianinazzi-Pearson V., 1982. Importance des mycorhizes dans la nutrition et la physiologie des plantes. *In Mycorhizes : biologie et utilisation*. Ed. INRA, les colloques de l'INRA, n° 13 : 51-59.

Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Collection Gérer l'Environnement N° 14, Lausanne.569 p.

Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2003. Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (Ed). 568p.

Références bibliographie

Guerin P., 1898. Sur la présence d'un champignon dans l'ivraie. *J Bot.*

Gunatilara A.L., 2006 – Natural products from plant-associated microorganisms: distribution, structural diversity, bioactivity and implications of their occurrence. *Journal of Natural Products*, 69: 509-526.

Hahn H., Mc Mamus M.T., Warnstorff K., Monahan B.J. Young C.A., Davies E., Trappe B., Scott B., 2008 . *Neotyphodium* fungal endophytes confer physiological protection to perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) subjected to a water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 63: 181-199.

Harley J.L., Smith S.E., 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, 483 pp.

Harrison M.J., 1999. Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of plant Physiology and Plant molecular Biology* 50: 361-389.

Hiltner L., 1904. Über neuere erfahrungen und probleme auf dem gebiet der bodenbakteriologie unter besonderer berücksichtigung der gründung und barche (on recent insights and problems in the area of soil bacteriology under special consideration of the une of green manure and fallowing). *arbeiten der Deitshen Landwirtschaftlichen Gesellschaft*, 98, 59-78.

Hinsinger, P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: A review. *Plant & Soil*, 237: 173-195.

Hodgson S., de Cates C., Hodgson J., Morley N.J, Sutton B.C., Gange A.C., 2014. Vertical transmission of fungal endophytes is widespread in forbs. *Ecol Evol.* 4(8): 1199–208.

Hyde K.D., Soyong K., 2008. The fungal endophytes dilemma. *Fungal Diversity*. Vol (33): 163-173.

Iserin P., 2001. *Encyclopédie des plantes médicinales , identification , préparations, soins*, 2^{ème} Ed. Larousse. 335p. ISBN: 2-03-560252.

Références bibliographiques

Jakobsen I., 1995. Transport of phosphorus and carbon in arbuscular Mycorrhizas. In: *Mycorrhizas: Structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer 305-332.

Jumpponen A., 2001. Dark septate endophytes - are they mycorrhizal? *Mycorrhiza*, 11: 207- 211.

Jumpponen A., Trappe M., 1998. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root colonizing fungi. *New Phytologist*. 140: 295-310.

Jurenka J S., 2008. Therapeutic applications of pomegranate (*punica granatum* L.): a review. *Altern Med Rev*. 2008 Jun; 13 (2): 128 – 44.

Kane A., 1997. Effets des fongicides et des endomycorhizes sur la croissance et le développement de deux variétés d'oignon (red créole et early yellow texas grano 502 prr) cultivé sur un sol infesté par *Pyrenochaeta terrestris* au nord-ouest de Sénégal. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 107 p.

Khider H.H., Eudy D.M., Porras-Alfaro A., Herrera J., Natvig D.O., Sinsabaugh R.L., 2010. A general suite of fungal endophytes dominate the roots of two dominant grasses in a semi-arid grassland .*J Arid Environ* 74: 35-42.

Kusari S., Spiteller M., 2012. Metabolomics of endophytic fungi producing associated plant secondary metabolites: progress, challenges and opportunities. *Metabolomics*. Vol (1866): 241–66.

Laadj I., 2012. Evaluation de la biomasse racinaire et l'activité rhizosphérique d'une jeune olive sous climat aride dans la région de Messaâd (Wilaya de Djelfa). Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques. Spécialité : Science du sol. UMMTO.

Laberche J.C., 2010. *Biologie Végétale*. 3^{ème} Ed. Dunod. 270p.

Lairini S., Bouslamti R., Zerrouq F., Farah A., 2014. Valorisation de l'extrait aqueux de l'écorce de fruit de *Punica granatum* par l'étude de ses activités antimicrobienne et antioxydante (Enhancement of the aqueous extract of the bark of

Références bibliographie

Punica granatum fruit through the study of its antimicrobial and antioxidant activities). ISSN: 2028-2508 CODEN: JMESCEN, J. Mater. Environ. Sci. 5 (S1) (2014) 2314-2318.

Lambers H., Raven J.A., Shaver J.R., Smith S.E., 2008. Plant nutrient acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution*, 23 : 95-103.

Lansky E. P., Newman R.A., 2007. *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer . *Journal of Ethnopharmacology* 109: 177 – 206.

Lansky E., Shubert S., Neeman I., 2000. Pharmacological and therapeutic properties of pomegranate. Ed. CIHEAM-Options Méditerranéennes. Pages 231- 235.

Le Tacon F., 1985. Les mycorhizes : une coopération entre plantes et champignons. *La recherche*, 166 : 624-632.

Le Tacon F., Selosse M.A., 1997. Le rôle des mycorhizes dans la colonisation des continents et la diversifications des écosystèmes terrestres. Equipe de Microbiologie forestière .Centre de Recherches de L'INRA de Nancy.34p.

Leake J., Johnson D., Donnelly D., Muckle G., Boddy L., Read D., 2004. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agro ecosystem functioning. *Canadian Journal of Botany*, 82:1016-1045.

Lesuffleur F., 2007. Rhizodéposition à court terme de l'azote et exsudation racinaire des acides aminées par le trèfle blanc (*Trifolium repens* L.) .Thèse Doct. Université CAEN. Basse Normandie. (INRA). 260p.

Leucero M.E., Barrow J.R., Osuna P., Reyes I., 2006. Plant-fungal interactions in arid and semi-arid ecosystems: large-scale impacts from microscale process. *Journal of Arid Environments*.65: 276-284.

Références bibliographie

Leyval C., Weinenhorn I., Glashoff A., Berthelin J., 1994. Influence of heavy metalson germination of arbuscular-mycorrhizal fungal spores in soils. *Acta-Bot. Gallica*, 141: 523-528.

Ligrone R., Carafa A., Lumini E., Bianciotto V., Bonfante P., Duckett J.G., 2007. Glomeromycota an associations in liverworts: a molecular cellular and taxonomic analysis. *Am. J. Bot.*, 94: 1756-1777.

Limam M.A.F., 2015. Isolement et pré-identification des mycorhizes à arbuscules provenant de quelques palmeraies d'Ouargla. Mémoire de master académique. Spécialité : microbiologie appliquée. 73p.

Linderman, R.G., 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology*, 78: 366-371.

Louche J., 2009. Régulation de la sécrétion des phosphates acidesdes champignons ectomycorhiziens et mobilisation de phosphore organique dans la rhizosphère des arbres forestiers : Approches biochimiques et moléculaires. Thèse de Doctorat. Discipline : Ecosystèmes. Université de Montpellier. 29p.

Maheshwari R., What is an endophytic fungus? *Current Science*, 2006. 90: 1039.

Mandyam K.et Jumpponen A., 2005 – Seeking the elusive function of the rootcolonizing dark septate fungi. *Stud. Mycol.*, 53: 89-173.

Mars M., 2000. Pomegranate plant material: Genetic resources and breeding, a review. Institut des Régions Arides, 4119 Médenine, Tunisia. Ed. CIHEAM-Options Méditerranéennes. Pages 55-62.

Mars M., Marrakchi M., 2003. Dynamique de floraison et régime de reproduction chez le grenadier (*Punica granatum* L.) en Tunisie. Article original. Pages 39-48.

McGee P.A., 1989. Variation in propagule numbers of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in a semi- arid soil. *Mycological Research* 92: 28-33.

Références bibliographiques

Mechiah F., 2015. Approche des symbioses racinaires de *Pistachia atlantica* Desf .de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister, Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, UMMTO, 125p.

Meddich M., Oihabi A., Abbas Y., Bizid E., 2000. Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules de zones arides dans la résistance du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) au déficit hydrique. Laboratoire de Physiologie Végétale, Faculté des Sciences. Semlalia, Marrakech, Maroc. Laboratoire de Physiologie Végétale, Campus universitaire. Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie. 13p.

Melgarejo, P., Salazar, D.M.S., 2003. Tratado De Fruticultura Para Zonas Aridas Y Semiaridas. Vol. 2: Algarr. 416 p.

Menoyo E., Becerra A.G., Renison D., 2007 – Mycorrhizal association in *Polylepis* woodlands of central Argentina. Can. J. Bot., 85: 525-531.

Mikolajsk A., 2007. Arbres fruitiers. Ed. Marabout, Paris. 191p.

Moricca S., Ragazzi A. 2008. Fungal Endophytes in Mediterranean Oak Forests: A Lesson from *Discula quercina*. Phytopathology. Vol (98): 380-386.

Morton J.B., Bentivenga, S.P., Bever, J.D., 1995. Discovery, measurement, and interpretation of diversity in symbiotic endomycorrhizal fungi.

Mosse B., 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. Ann. Rev.

Mosse B., 1981.V.A.M research for tropical agriculture. Research bulletin 194, (Hawaii Institut of Tropical Agriculture and Humain Ressource). University of Hawaii 82p.

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.

Références bibliographie

Muthukumar T., Prakash S., 2009. Arbuscular mycorrhizal morphology in crops and associated weeds in tropical agro-ecosystems. *Mycoscience*, 50: 233-239.

Nabors M., 2008. *Biologie végétale*. 2^{ème} Ed. De Boeck 614p.

Nicolson T.H., 1959. Mycorrhizas in the Gramineae. I- Vesicular-arbuscular endophyte, with special reference to the external phase. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* p 42, 421-438.

Nizinski J.J., Montoroi J.P., Hachicha M., 2015. Etude de l'absorption racinaire des grenadiers (*Punica granatum* L.) dans des sols argileux salés de la plaine du Sisseb-Kairouan en Tunisie Centrale. Projet de recherche. IRD - UMR 242 « Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement - *iEES de Paris* ». 11p.

Nouaïm R., et Chaussod R., 1996. Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique des plantes, notamment des ligneux en zones arides. *Options Méditerranéennes*, 20 : 9-26.

Oukabli A., 2004. Le Grenadier. Des variétés performantes pour la culture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. MADRPM / DEPD, 123 : 1-2 - 4 .

Paszkowski U., 2006a. A journey through signaling in arbuscular mycorrhizal symbioses 2006. *New Phytol*, 172, 35-46.

Peterson L.R., Wagg C., Pautler M., 2008. Association between microfungel endophyte and roots: do structural features indicate function? *Botany* 86: 445-456.

Peterson R.L., Massicotte H.B., Hugues B., Melville-Lewis H., 2004. Mycorrhizas: Anatomy and cell Biology. NRC Research Press. Ottawa. 1-3: 147-153.

Phillips J.M. & Hayman D.S., 1970 – Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society*, 55: 158-160. *Phytopathol.*, 11 : 171-196.

Pinton R., Varanini Z., Nannipieri P., 2001. *The rhizosphere*, New York.

Références bibliographie

Plassard C., 1996. La mycorhization des plantes forestières en milieu aride et semi- aride : nutrition minérale en terrains calcaires. Laboratoire de recherches sur les symbiotes des racines. Revue CIHEAM, Option Méditerranéennes .Ed. INRA-ENSAM. France.6 p.

Plenchette C., 2005. Mycorhizes et nutrition phosphatée des plantes. Ed. INRA: 103-119.

Polese J.M., 2010. Arbres et Arbustes de Méditerranéen. Ed. Edissud. 135p.

Pons E.C., Menge J.A., Jarrel W.M., 1984. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline soils. *Mycologia*, 76: 74- 84.

Pouget M., 1980. Les relations sol –racine dans les steppes sud – Algéroises. ORSTOM. Paris, 543p.

Pousset J., 2005. Mycorhizes : pourquoi et comment profiter de leurs bienfaits ?. Groupement régional d’agriculture biologique de Basse-Normandie (GRAB), Association d’agriculture écologique de l’Orne (AGRECO), Association Nature et Progrès. Document Biodoc n° 8. 4p.

Raab G., 2010. Contribution à l’étude des symbioses mycorhiziennes du pistachier de l’Atlas : cas de la population de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Sciences Agronomiques, spécialité : Science du sol, UMMTO.

Raven P.H., Evert R.F., Eichhorn S.E., 2008. Biologie végétale. 2^{ème} Ed. De Boeck. 529p.

Read D, 1984. The structure and function of the vegetative mycelium of mycorrhizal roots. In the ecology and physiology of the fungal mycelium .Edited by D.H. Jennings and A.D.M. Rayner. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 215-240.

Redjda L., 2010. Contribution à l’étude des symbioses mycorhiziennes du pistachier de l’Atlas : cas de la population du centre de la daya de Tilrhemt (wilaya de Laghouat). Mémoire d’ingénieur d’Etat en Sciences Agronomiques, spécialité : Science du sol, UMMTO.

Redman R.S., Sheehan K.B., Stout R.G., Rodriguez R.J., Henson J.M. 2002. Thermotolerance conferred to plant host and fungal endophyte during mutualistic symbiosis. *Science* .Vol (298): 1581.

Références bibliographie

Reinhardt, D. (2007) Programming good relations--development of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*, 10 (1): 98-105.

Repussard C., Zebib N., Tardieu D., Guerre P., 2013. Les champignons endophytes du genre *Neotyphodium* et leur toxines : généralités et problématique française. *Revue Méd.* 164, 12,503-606.

Rodriguez R.J., Henson J., Van Volkenburgh E., Hoy M., Wright L., Beckwith F., Kim YO., Redman R.S., 2008. Stress tolérance in plants via habitat - adapted symbiosis. *International Society for Microbial Ecology*. Vol (2): 404 - 416.

Rodriguez R.J., White Jr J.F., Arnold A.E., Redman R.S., 2009. Fungal endophytes: diversity and Functional roles. *New phytologist*. Vol (182): 314-330.

Roland F., 1995. Atlas de biologie végétale. 2- Organisation des plantes à fleurs. 6^{ème} Ed. Ed. MASSON. Tome 2.133p.

Rougemont M., 2007. Les mycorhizes et l'olivier: Effets sur le développement des plants en pépinière et en verger. *Journées Méditerranéens de l'Olivier, Meknès*. 9p.

Rovira A. D., et Davey C. B., 1971. Biology of the rhizosphere. In *The Plant root and its Environnement*, Ed C E.W. University Press of Virginia, Charlottesville.

Saikkonen K, Faeth SH, Helander M, Sullivan TJ. 1998. Fungal endophytes: a continuum of interactions with host plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 319-343.

Schussler A., Schwarzott D., Walker C., 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105: 1413-1421.

Selim K.A., El- Beih A.A., Abd El-Rahman T.M., EL-Diwany A.I. 2012. Biology of Endophytic Fungi. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*. Vol (1) n° 2 : 31-82.

Seltzer D., 1946 : le climat de l'Algérie. *Travaux Inst .Météor . etphys.du globe. UNIV.d'Alger*.219 P

Références bibliographie

Simon B., 2014. Les racines des plantes : Anatomie et fonctionnement. Mémoire N3. 57p.

Simon L., Bousquet J., Leversque R.C., Lalonde M., 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vesicular land plants. *Nature* 363: 67-69.

Smail D., Smail-Saadoun N., Mellah H., 2008. Ectomycorrhizes du pistachier de l'Atlas : cas de la population d'Oued Besbes- Algérie. XIV Meeting of the Mediterranean. Research Group for Almond and Pistacio (GREMPA), Athens, Greece, 31 March – 5 April 2008.

Smail-Saadoun N., Boubrima A., Yazag S., 2013. Symbioses racinaires du pistachier de l'Atlas de dayate Saadi (Laghout – Algérie). Laboratoire Ressources Naturelles. UMMTO. 9p.

Smith S.E., Read D.J., 1997. Mycorrhizal symbiosis 2nd Ed. Ed. Academic Press, San Diego, CA, USA. pp.605.

Spichiger R. E., Savolainen V.V., Figeat M., Jeanmonod D., 2004. Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. Editions Presses polytechnique et Universitaires romandes. Troisième édition. 413P.

Stengel P., et Gelin S., 1998. Sol : interface fragile .Ed. Quae. 222p.

Stover E et Mercure E. W., 2007. The Pomegranate .A New-look at the Fruit of Paradise Hort Science, 42 (5): 1088 – 1092.

Strack, D., Fester, T., Hause, B., Schliemann, W. and Walter, M.H. (2003) Arbuscular mycorrhiza: biological, chemical, and molecular aspects. *J Chem Ecol*, 29, 1955-1979.

Strullu, D.G., 1991. Les mycorrhizes des arbres et plantes cultivées. Collection Tec. & Doc., Lavoisier, Paris, 250 pages.

Références bibliographie

- Suryanarayanan T. S., Murali T. S. and Venkatesan G., 2002. Occurrence and distribution of fungal endophytes in tropical forests across a rainfall gradient. *Canadian Journal of Botany*; 80: 818-826.
- Tao L., Zhiwei Z, 2005. Arbuscular mycorrhizas in a hot and aride ecosystem in southwest China. *Appl Soil Ecol*, 29: 135-141.
- Vavou, 2007. Ressources Naturelles. Rapport sur d'état et l'avenir de l'environnement de la wilaya de Djelfa, inspection de l'environnement de Wilaya Djelfa, 71p.
- Weber H.C., Clahr A., Manon-Heimbuch M., 1995. Anatomical structures of the VA mycorrhiza in the Apocynaceae (Gentianales). *Botanica Acta*, 108: 525-534.
- Wu L., Guo S., 2007. Interaction between an isolate of dark-septate fungi and its host plant *Saussurea involucre*. Institut of Medicinal Plant, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College. China. 7p.
- Wubet T., Kottke I., Teketay D., Oberwinkler F., 2003. Mycorrhizal status of indigenous trees in dry Afromontane forests of Ethiopia. *For. Ecol. Manage.*, 179: 387-399.
- Yameogo W.M., 2009. Diversité des champignons endomycorhiziens et des bactéries fixatrices d'azotes associés au niébe (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. Dans différentes zones climatiques du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural. Université Burkina Faso.
- Zabalgogea I. Fungal endophytes and their interaction with plant pathogens. 2008. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2008; 6: 138-146.
- Zhang Y., Li T., Li L., Zhao Z.W., 2011. The colonization of plants by dark septate endophytes (DSE) in the valley- type savanna of Yunnan, southwest China. *African Journal of Microbiology Research* Vol. (5) 31:5540-5547.
- Zubek S., Turnau K., Blaszkowski J., 2008. Arbuscular mycorrhiza of endangered plants from the Tatra MTS. *Acta Soc. Tis Bot. Polonia*, 77 (2):148-156.

Résumé

En Algérie, le grenadier est l'arbre par excellence des milieux steppiques. Il possède une importance écologique, économique et médicinale. Il montre une grande adaptation à l'aridité.

L'objectif de notre étude est de montrer la présence, mais aussi l'importance diversité des associations symbiotiques mycorhiziennes et endophytiques au niveau des racines du *Punicagranatum L.* Pour cela nous avons échantillonné au sein d'un verger dans Melaga, région de Messaad, Wilaya de Djelfa (Algérie).

Les examens microscopiques de ces racines ont révélé la présence des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA), des taux de colonisation élevés (73,33 %), et la présence des champignons endophytes (DSE), des taux de colonisation faibles (6,66 %).

Les résultats de cette étude suggèrent que le *Punicagranatum* de la région Messaad, W. Djelfa à une biodiversité importante en champignons MA et FS racinaire.

Mot- clés : *Punicagranatum L.* Aridité, Mycorhization, CMA, FS.

Summary

In Algeria, the pomegranate is the tree by excellence steppe environments. It has an ecological, economic and medicinal importance. It shows a great adaptation to the aridity.

The objective of our study is to show the presence, but also the importance diversity of symbiotic mycorrhizien and endophytic associations on the level of the roots of pomegranate. For that, we sampled within an orchard in Melaga, area of Messaad, Wilaya of Djelfa (Algeria).

The microscopic examinations of these roots revealed the presence of the mushrooms mycorrhizien arbuscular (CMA), High rates of colonization high (73, 33%), and the presence of the mushrooms endophytes (Of), low colonization rates (6, 66%).

The results of this study suggest that pomegranate of Messaad's area, of W. Djelfa has an important biodiversity of MY and DSE mushroom root.

Key word: Pomegranate. Aridity, Mycorhization, CMA, DSE.