

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRNOMIQUES



MEMOIRE D'INGENIEUR

Spécialité : Sciences Agronomiques

Option : Sciences du sol

THEME

**Approche des symbioses racinaires du pistachier
de l'Atlas de dayate Aiat (Laghouat, Algérie)**

Présenté par :Mr Camara Alpha Kabiné

Le : 19/09/2016

Devant le juré composé de :

Mr Merrouki K.	MCB	UMMTO	Président
Mme Smail-Saadoun N.	Professeur	UMMTO	Promotrice
Mme Nait Kaci-Boudiaf M.	MCA	UMMTO	Examinatrice
Mme Larbi-Aidrous N.	MAA	UMMTO	Examinatrice

2015/2016

Dédicaces

Je dédie ce travail tout d'abord à mes chers parents et à tous ceux qui m'aiment et qui m'ont soutenu dans ma vie.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Madame SMAÏI-SAADOUN NORIA, sans qui ce travail ne serait jamais réalisé que ça soit par ses conseils ses directives son soutien pour ne citer que ceux-là, n'a ménagée aucun effort pour la réalisation de ce travail ; vraiment et sincèrement du fonds du cœur un grand MERCI à vous.

Je remercie également Mr Merrouki K., d'avoir accepté de présider le jury de soutenance et d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également à Mme Nait-Kaci Boudiaf N., Mme Larbi-Aidroun N., qui ont accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail.

Je tiens également à remercier les membres du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ainsi que toutes autres personnes m'ayant aidé pour la réalisation de ce travail.

Liste des figures

Figure 1 : coupe longitudinale d'une racine (Raven et <i>al.</i> , 2000).....	7
Figure 2 : structure primaire complète d'une racine (wikipedia.com).....	8
Figure 3 : principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de racine d'après Le Tacon (1985).....	10
Figure 4 : représentation schématique des trois principaux types de colonisation du cortex racinaire par Gloméromycètes formant les endomycorhizes arbusculaires (Peterson et <i>al.</i> , 2006).....	13
Figure 5 : type Paris (Peterson et <i>al.</i> , 2006).....	14
Figure 6 : type arum (Peterson et <i>al.</i> , 2006).....	15
Figure 7 : A)- Formation d'un sclérote dans une cellule du parenchyme corticale racinaire. B)- Hyphes hyalins septés (grande flèche) et hyphes mélanisés septés (double tête de flèche) d'endophyte présentant des exsudats (tête de flèche) racinaires (Peterson et <i>al.</i> , 2004)..	18
Figure 8 : système racinaire du pistachier de l'Atlas (Benaradj et <i>al.</i> , 2015).....	23
Figure 9 : localisation de la ville de Laghouat (google.fr).....	29
Figure 10 : situation de la zone d'étude.....	31
Figure 11 : le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la station de Hassi R'mel (1995-2005) (Deguiche, 2008 ; Chebieb, 2008).....	32
Figure 12 : zonation écoclimatique de Hassi R'mel selon la méthode de Le Houérou (1995).....	34
Figure 13 : Sujets 1 et 2.....	35
Figure 14 : Sujets 3 et 4.....	36
Figure 15 : hyphe intraracinaire allongée.....	41
Figure 16 : hyphe s intraracinaires sous la forme d'un « Y ».....	42
Figure 17 : hyphe intraracinaire enroulée.....	42

Figure 18: observation d'une hyphe extraradiculaire colorée en bleu.....	43
Figure 19 : observation d'arbuscules de type <i>Paris</i>	44
Figure 20 : observation d'arbuscules de type <i>Arum</i>	45
Figure 21 : observations de vésicules.....	46
Figure 22 : observation de spores.....	47
Figure 23 : observation de poils absorbants.....	48
Figure 24 : observation d'hyphes mycoendophytiques colorées en bleu à l'intérieur du cylindre central.....	50
Figure 25 : observation d'hyphes mycoendophytiques intraradiculaire colorées en marron.....	50
Figure 26 : observation de microsclérotos en marron.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : statut mycorhizien et endophytique des différentes populations du pistachier de l'Atlas étudiées par (Raab, 2010).....	26
Tableau 2 : données et paramètres utilisés dans la classification écoclimatique de la station de Hassi R'mel (Deguiche, 2008 et Chebieb, 2008).....	33
Tableau 3 : résultats des observations microscopiques de la symbiose mycorhizienne du pistachier de l'Atlas de la daya de Timzerth.....	39
Tableau 4 : résultats de nos observations microscopiques de la symbiose mycoendophytique pistachier de l'Atlas de la daya de Timzerth.....	48

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	2
Chapitre 1. Interaction sols-racines.....	4
1. Introduction.....	5
2. Racines.....	5
2.1. Introduction.....	5
2.2. Structures racinaires.....	6
2.2.1. Structure primaire.....	6
2.2.2. Autre type de structure racinaire.....	8
3. Symbiose mycorhizienne.....	8
3.1. Généralités sur les mycorhizes.....	8
3.2. Différents types de mycorhizes	9
3.2.1. Ectomycorhizes.....	10
3.2.2. Endomycorhizes.....	11
4. Champignons endophytes.....	16
4.1. Introduction.....	16
4.2. Colonisation des tissus des végétaux par les endophytes.....	17
4.3. Mycoendophytes des racines.....	18
4.4. Rôles écologiques et physiologiques.....	19
Chapitre 2. Présentation de l'espèce.....	21
1. Introduction.....	22

2. Système racinaire du pistachier de l'Atlas.....	22
3. Caractéristiques des sols sous pistachier de l'Atlas.....	23
4. Statut mycorhizien et endophytique.....	24
Chapitre 3. Matériel et méthodes.....	28
1. Description de la zone d'étude.....	29
2. Bioclimat de la zone d'étude.....	31
3. Echantillonnage et tri des racines.....	35
4. Eclaircissement des racines.....	36
4.1. Technique.....	36
4.2. Observation microscopique.....	37
Chapitre 4. Résultats et discussion.....	38
1. Symbiose mycorhizienne.....	39
1.1. Hyphes.....	40
1.2. Arbuscules.....	43
1.3. Vésicules.....	45
1.4. Spores.....	46
1.5. Poils absorbants.....	47
2. Symbiose mycoendophytique.....	48
3. Discussion générale.....	51
Conclusion générale.....	55
Références bibliographiques.....	57

Introduction générale

Pistacia atlantica Desf., de la famille des Anacardiacees est pratiquement présent sur toute la bordure de l'Afrique du Nord et se distribue de manière discontinue dans ces territoires (Canaries, Maroc, Algérie et Tunisie) (Lagha, 1993). Le pistachier de l'Atlas ou bétoum, de son scientifique : *Pistacia atlantica* Desf. constitue une curiosité floristique et botanique dans le milieu aride, où il colonise de façon diffuse un territoire considérable centré sur les pays méditerranéens à saison sèche et chaude bien marquée ; il est le plus ubiquiste des arbres du nord de l'Afrique et du Proche-Orient. A l'état adulte, sa silhouette est impressionnante. Peu d'essences ont un port plus massif et son feuillage semble même d'autant plus serré qu'il se développe dans des stations aux plus faible indice d'évapotranspiration (Monjauze, 1980). Il ne se régénère que rarement dans l'ombre du *Zizyphus lotus*, dont il est l'hôte classique (Lagha, 1993).

En Algérie, l'utilisation de sa culture reste faible malgré son potentiel d'adaptation aux conditions arides du milieu. Les conditions climatiques de la plupart des régions agricoles montagneuses et semi-arides de ce pays sont favorables à son extension. Cette espèce très peu exigeante en pluviométrie et s'accommodant d'une large gamme de sols peut jouer un rôle pour la lutte contre la désertification. Elle est utilisée pour la fixation des dunes, comme brise-vents, elle est également source en bois de chauffage dans les régions retranchées.

Les travaux déjà réalisés au laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, de Raab (2010) Redjdal (2010) et Mechiah (2015) pour ne citer que ceux-ci ont montré des symbioses mycorhiziennes et endophytiques de cette espèce.

Il est universellement reconnu que les champignons mycorhiziens contribuent efficacement à l'établissement et au maintien des arbres dans des conditions écologiques très contraignantes (Le Tacon et *al.*, 1987). Certains arbres ne peuvent croître sans être associés à des champignons mycorhiziens (Janos, 1987). Les hyphes mycéliennes explorent un grand volume de sol et permettent ainsi aux plantes colonisées d'obtenir l'eau et les substances nutritives nécessaires à leur fonctionnement et à leur croissance. Elles seraient ainsi à l'origine de la plus grande tolérance à la sécheresse des plantes mycorhizées par rapport aux plantes non mycorhizées (Nelson, 1987).

Pour cela, le pistachier de l'Atlas compte parmi les essences essentielles à étudier et à protéger pour une meilleure exploitation durable des ressources naturelles, en vue du

développement des zones arides et semi-arides, ainsi que la préservation des sols contre la désertification.

Notre travail rentre dans le cadre des travaux du laboratoire ressources naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, il a pour objectif la mise en évidence des symbioses racinaires du pistachier de l'Atlas de dayate Aiat (Laghouat), se subdivise comme suit :

- une partie bibliographique qui comporte, les interactions sol - racines en chapitre 1 et la présentation de l'espèce en chapitre 2 ;
- une partie expérimentale qui comporte, le matériel et les méthodes en chapitre 3 et le chapitre 4 qui porte sur les résultats et la discussion de ces derniers ;
- et enfin une conclusion.

Chapitre 1. Interactions sol-racines

1. Introduction

Le sol est la partie la plus externe marquée par les êtres vivants de la croûte terrestre. Il est le siège d'un échange intense de matière et d'énergie entre l'air, l'eau et les roches. Le sol en tant que partie de l'écosystème, occupe une position-clé dans les cycles globaux des matières (Gobat *et al.*, 2003). Pour le végétal, c'est un substrat d'ancrage, un réservoir d'eau et de sels minéraux, un lieu de coopération avec les microorganismes et un compartiment d'excrétion (Meyer *et al.*, 2004). Un sol comporte :

- une phase solide composée de cailloux, de graviers, de sables, de limons et d'argiles, mais aussi de débris de végétaux, d'animaux et de colloïdes ;
- une phase gazeuse qui comporte l'air en communication avec l'atmosphère ;
- des êtres vivants tels les bactéries, les champignons, les animaux, etc.... ;
- des exsudats racinaires de nature très diverse faisant du sol un compartiment d'excrétion pour le végétal, ces exsudats affectent les populations de microorganismes de la rhizosphère.

La rhizosphère est la zone entourant les racines des plantes, dans laquelle, des interactions complexes existent entre les plantes, les microorganismes du sol et le sol lui-même (Philips, 2009).

La grande majorité des végétaux, dans les conditions naturelles vivent en association symbiotique avec des champignons qui assurent, l'approvisionnement de leurs hôtes en eau et éléments minéraux, ainsi qu'une protection des racines contre les champignons pathogènes (Smith et Read, 1997).

2. Racines

2.1. Introduction

Les racines sont ordinairement des organes cylindriques, de teinte brune ou jaunâtre dues à la présence de liège à leur surface (Ozenda, 2000). Elles se développent sous terre ce qui les rend difficile à observer et à étudier expérimentalement (Ducreux, 2002).

D'après Ducreux (2002), leur rôle est triple :

a) l'ancrage de la plante dans le sol, cette première fonction n'est pas anodine, car elle retentit profondément sur le comportement biologique des plantes ; organismes fixés, les plantes ne peuvent se soustraire aux contraintes de l'environnement que ces dernières soient abiotiques ou biotiques ; les plantes doivent aussi développer des stratégies originales pour l'occupation de l'espace et le succès de la reproduction ;

b) l'alimentation en eau et en sels minéraux : les tissus de la plante contiennent 90% d'eau, les réserves d'eau présentes dans le sol sont pompées par les racines ;

c) la mise en réserve en liaison avec le passage de la mauvaise saison ou de la floraison.

2.2. Structures racinaires

2.2.1. Structure primaire

La jeune racine présente une structure primaire, avant qu'elle ne s'épaississe par formation de nouveaux tissus (croissance secondaire en épaisseur) (Camefort, 1996) (Figure 1).

A la partie terminale de la jeune racine, on note la coiffe. C'est un tissu protecteur du point végétatif. Elle facilite la croissance des racines et cela par la libération des mucilages qui s'exfolient et protègent la partie délicate des cellules méristématiques des dommages mécaniques. Elle est une sorte d'organe sensoriel pour l'orientation (Lüttge et *al.*, 1992).

La zone d'allongement se trouve en arrière du point végétatif. C'est également le site de différenciation des tissus racinaires. La zone pilifère succède à la zone d'allongement, elle constitue le site d'absorption de l'eau et des sels minéraux (Lüttge et *al.*, 1992).

Pour Zaffran (1998), elle est caractérisée par la présence de nombreux poils absorbants. En arrière de la zone pilifère se trouve la zone subérifiée. C'est une région dépourvue de poils absorbants (Lüttge et *al.*, 1992), où apparaissent des ébauches de jeunes racines secondaires (Camefort, 1996).

Sur le plan anatomique, on distingue au niveau de la zone pilifère de l'extérieur vers l'intérieur (Figure 2) :

- l'assise pilifère qui est une assise continue de cellules aux parois minces cellulosiques unies les unes aux autres ; elle forme vers l'extérieur des poils absorbants (Camefort, 1996) ;
- l'écorce qui est constituée d'un parenchyme homogène, les cellules de l'écorce peuvent emmagasiner des substances de réserves, la dernière assise qui est au contact du cylindre central est appelée endoderme (Camefort, 1996) ; cet endoderme peut fonctionner en tant que barrière physiologique et contrôle le passage de l'eau et des sels qui y sont dissous, de l'écorce vers le cylindre central par dépôt de subérine (Nultsch, 1998) ;
- le cylindre central est constitué de cordons de xylème et de phloème qui alternent régulièrement (Ozenda, 2000) ; les éléments du phloème se différencient plus tôt que ceux de xylème qui assurent le transport de l'eau et des sels minéraux, alors que le phloème fonctionnel s'étend jusqu'à la limite supérieure de la zone d'allongement ; ceci est nécessaire pour que le point végétatif soit alimenté en éléments de structure ; à la périphérie du cylindre se trouve le péricycle qui comporte une ou plusieurs assises cellulaires (Nultsch, 1998).

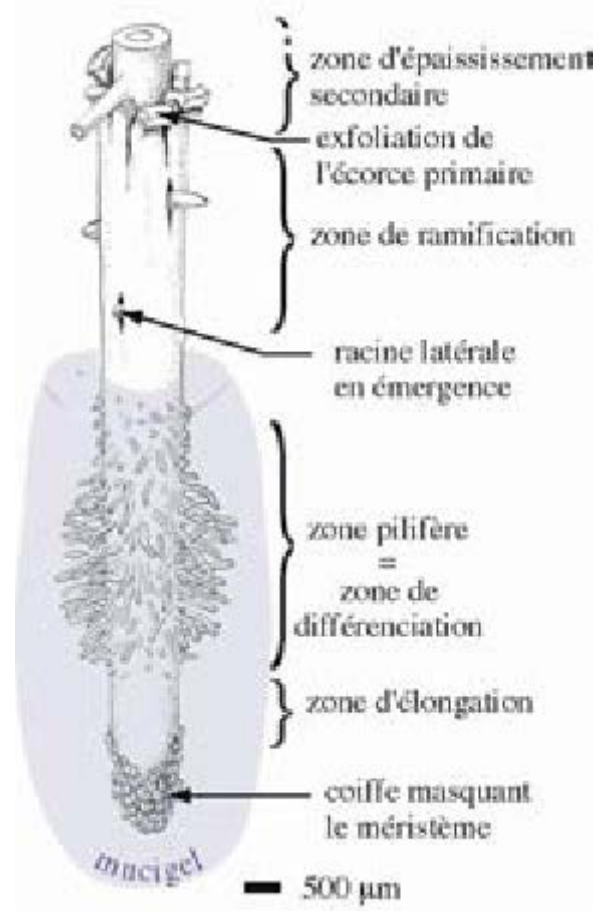


Figure 1 : coupe longitudinale d'une racine (Raven et *al.*, 2000).

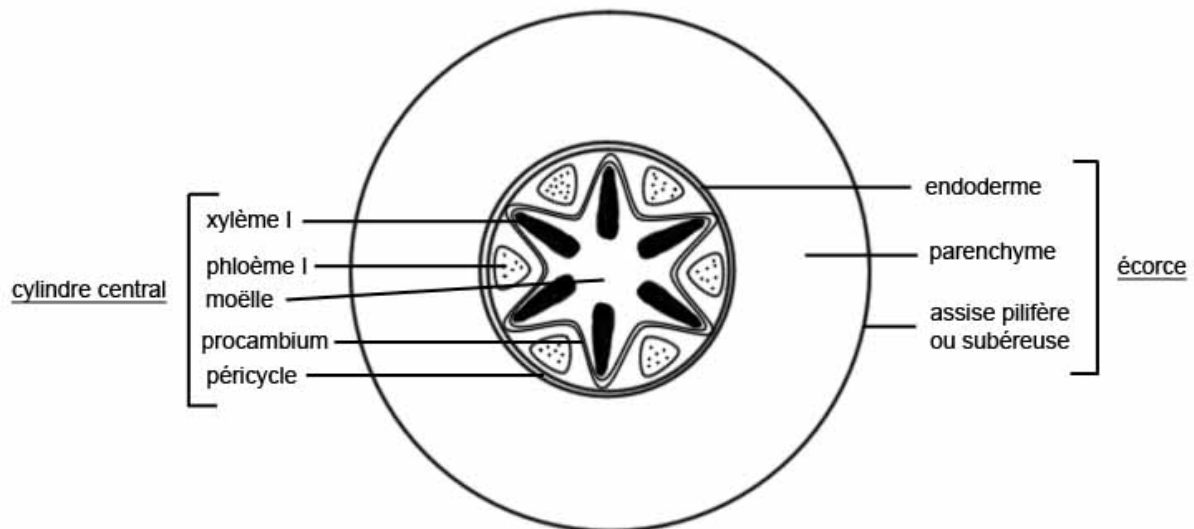


Figure 2 : structure primaire complète d'une racine (Simon., 2014).

2.2.2. Autre type de structure racinaire

La formation des tissus secondaires dans la racine ne s'observe que chez certaines plantes vasculaires : les Gymnospermes et la plupart des Eudicotylédones par deux zones génératrices (Camefort, 1996) :

- la zone génératrice libéro-ligneuse et sur la face externe, il se différencie du phloème secondaire ou liber, et sur la face interne du xylème secondaire ou bois ;
- la zone génératrice subéro-phellodermique, formé à partir du péricycle, elle produit le liège ou suber sur la face externe ; sur la face interne apparaissent quelques assises d'un tissu parenchymateux : le phelloderme

3. Symbiose mycorhizienne

3.1. Généralités sur les mycorhizes

Le mot symbiose fut utilisé pour la première fois par l'allemand Frank (1877) pour qualifier la coexistence d'organismes différents. Les symbioses mutualistes, où les partenaires coexistent activement d'un point de vue physiologique, écologique et reproductif (Harley, 1989) furent pendant longtemps jugées peu importantes dans les processus écologiques (Lambers et *al.*, 2009). Il est actuellement admis que la symbiose mycorhizienne est une association obligatoire et à bénéfice réciproque entre une racine de plante et un champignon.

Dès le 19^{ème} siècle, les mycorhizes ont fait l'objet de descriptions et d'études de distribution de part le globe.

La presque totalité des plantes vertes terrestres vivent en symbiose mycorhizienne. Seuls des membres de quelques familles en sont quelques fois dépourvues (Fortin et *al.*, 2008).

Cette association mutualiste joue un rôle prépondérant dans le fonctionnement des écosystèmes végétaux. 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 extraradiculaires constituant la phase extramatrix, qui s'étend bien au delà de la zone du sol exploré par les racines (Smith et Read, 1997). Sans cette association mycorhizienne, le champignon mycorhizogène ne peut compléter son cycle vital.

3.2. Différents types de mycorhizes

Cette symbiose prend différentes formes, appelées ectomycorhizes (mycorhizes externes) qui se rencontrent chez environ 5% des végétaux et endomycorhizes (mycorhizes internes) qui sont les plus répandues chez environ 80% des végétaux. Il existe également un troisième type de mycorhize appelé ectendomycorhizes ; il s'agit d'une structure intermédiaire entre les deux premières (Founoune, 2001). Selon les caractères anatomiques de l'association (Peyronel et *al.*, 1969), qui dépendent en fait directement des partenaires impliqués. La classification des mycorhizes est basée sur des critères écologiques, morphologiques et physiologiques (Strullu, 1991).

La figure 3 ci-dessous nous schématise les trois types de mycorhizes et nous permet de comprendre les différents modes d'action des champignons sur la plante hôte.

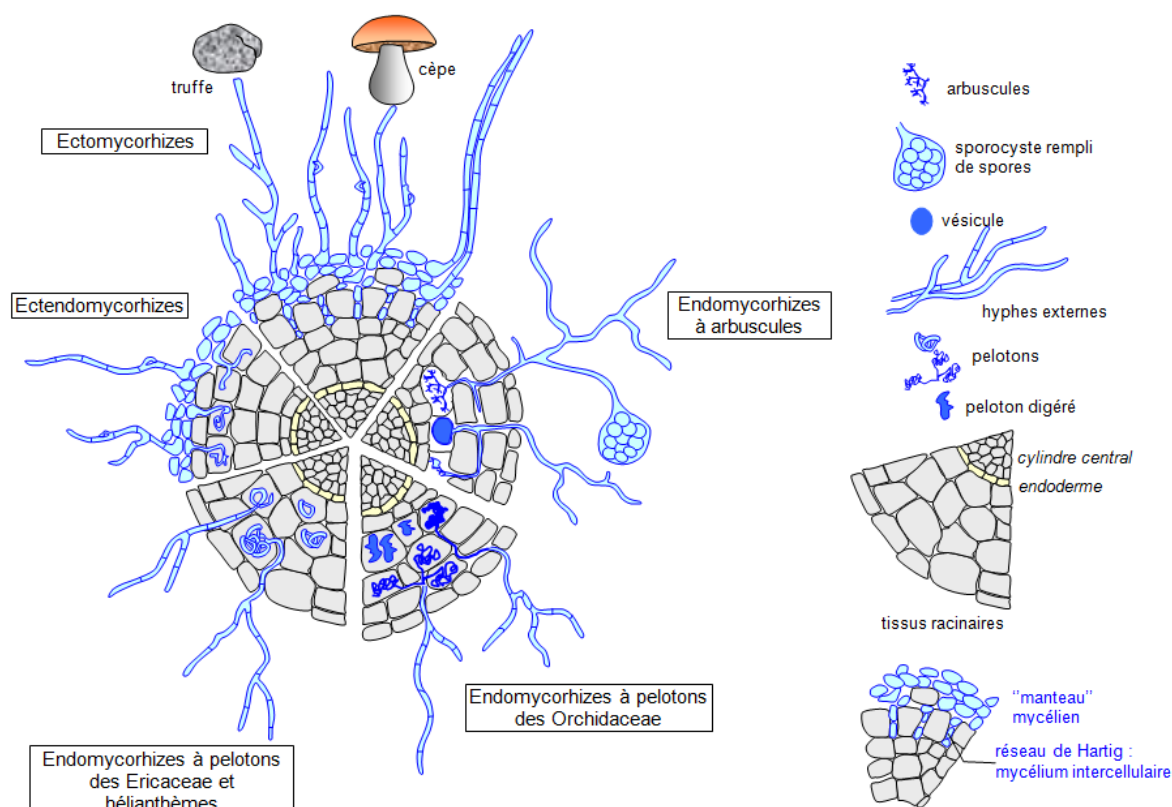


Figure 3 : principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale de racine d'après Le Tacon (1985).

3.2.1. Ectomycorhizes

Ces champignons supérieurs se retrouvent dans le sous-bois parce que, sauf exception, ils ne forment des mycorhizes qu'avec les plantes ligneuses, arbres ou arbustes. Beaucoup de ces champignons produisent des carpophores sur le tapis forestier. La symbiose ectomycorhizienne ne concerne que 3% des espèces végétales (Mousain, 1991), mais elle a été (et est toujours) très étudiée, car ces espèces constituent la majorité des ligneux à intérêt économique. Dans les forêts boréales et tempérées, on estime que plus de 90% des racines courtes forment des ectomycorhizes (Smith et Read, 2008).

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

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

3.2.2. Endomycorhizes

Les champignons endomycorhizogènes 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 en traversant la paroi des cellules et en 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 d'hyphes extramatriciels explorant le sol (Louche, 2009). La morphologie des racines n'est pas modifiée. Les endomycorhizes sont les plus répandues et vivent en symbiose avec un peu plus de 80% de taxons végétaux. 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).

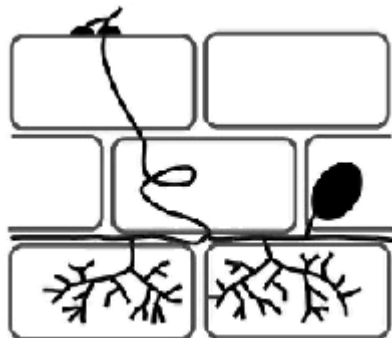
Selon la différenciation morphologique des hyphes intercellulaires, on peut distinguer les endomycorhizes à arbuscules, qui sont les plus répandues car elles se forment avec 80% des espèces végétales (Allen et *al.*, 2003). Ce type de symbiose mycorhizienne est le mieux connu et le plus étudié. Les champignons concernés appartiennent au phylum des Glomeromycota. Elles sont présentes chez les Bryophytes, les Ptéridophytes, les Gymnospermes et les Angiospermes (Torrey, 1992). Le cycle de reproduction sexuée reste pour le moment inconnu. Leur reproduction n'est donc assurée que par des spores asexuées (Kendrick, 1992). Le mycélium du champignon est formé d'hyphes non septées et ramifiées qui peuvent développer deux structures importantes, les arbuscules et les vésicules (Figures 5 et 6).

Les arbuscules sont des ramifications dichotomiques des hyphes intramatricielles, ayant l'apparence d'un arbre de 2-6 μm . Ils se forment uniquement à l'intérieur des cellules, entre la paroi et la membrane cytoplasmique (Dexheimer, 1997). Il représente la structure clé de la

symbiose et sa morphologie dépend du type de mycorhize arbusculaire (Dickson et *al.*, 2007). Les arbuscules sont le site d'échange de minéraux et de nutriments entre la plante hôte et le champignon (Boullard, 1968). La durée de vie des arbuscules est courte. Après 4 à 15 jours, l'arbuscule dégénère et la cellule de l'hôte retrouve son état normal (Kendrick, 1992).

Les vésicules sont des organes d'entreposage de lipides et de glycolipides (Dodd et *al.*, 2000). Ces vésicules peuvent être intra ou intercellulaires, terminales ou intercalaires (Dalpé et *al.*, 2005). Généralement, elles ont une forme ovoïde, globulaire ou ellipsoïde et contiennent une à deux parois minces. Les vésicules peuvent servir d'organes de réserve ou d'organes de survie, une seule vésicule peut en effet redonner un organisme complet fonctionnel (Boullard, 1968). Selon Dodd et *al.* (2000) et Dalpé et *al.* (2005), la formation des arbuscules précède celle des vésicules.

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 par conséquent, l'identification des mycorhizes arbusculaires sur la base du morphotype est très complexe (Dickson, 2004). Deux types morphologiques sont présents dans la littérature, soit celle de type *Arum* et celle de type *Paris* (Figure 4), quoiqu'il existe un continuum de structures intermédiaires entre ces morphotypes (Dickson, 2004). Les mycorhizes de type *Arum* sont mieux décrites et plus typiques, formant un arbuscule, alors que les mycorhizes de type *Paris*, moins connues, mais abondantes, forment plutôt un enroulement intracellulaire (Figure 5). Les mycorhizes de type *Paris* étaient autrefois considérées comme une exception, puisque l'arbuscule définit ce qu'est la mycorhize arbusculaire (Dickson, 2000).

Type *Paris*Type *Arum*

Type intermédiaire

Figure 4 : représentation schématique des trois principaux types de colonisation du cortex racinaire par Gloméromycètes formant les endomycorhizes arbusculaires (Peterson et *al.*, 2006).

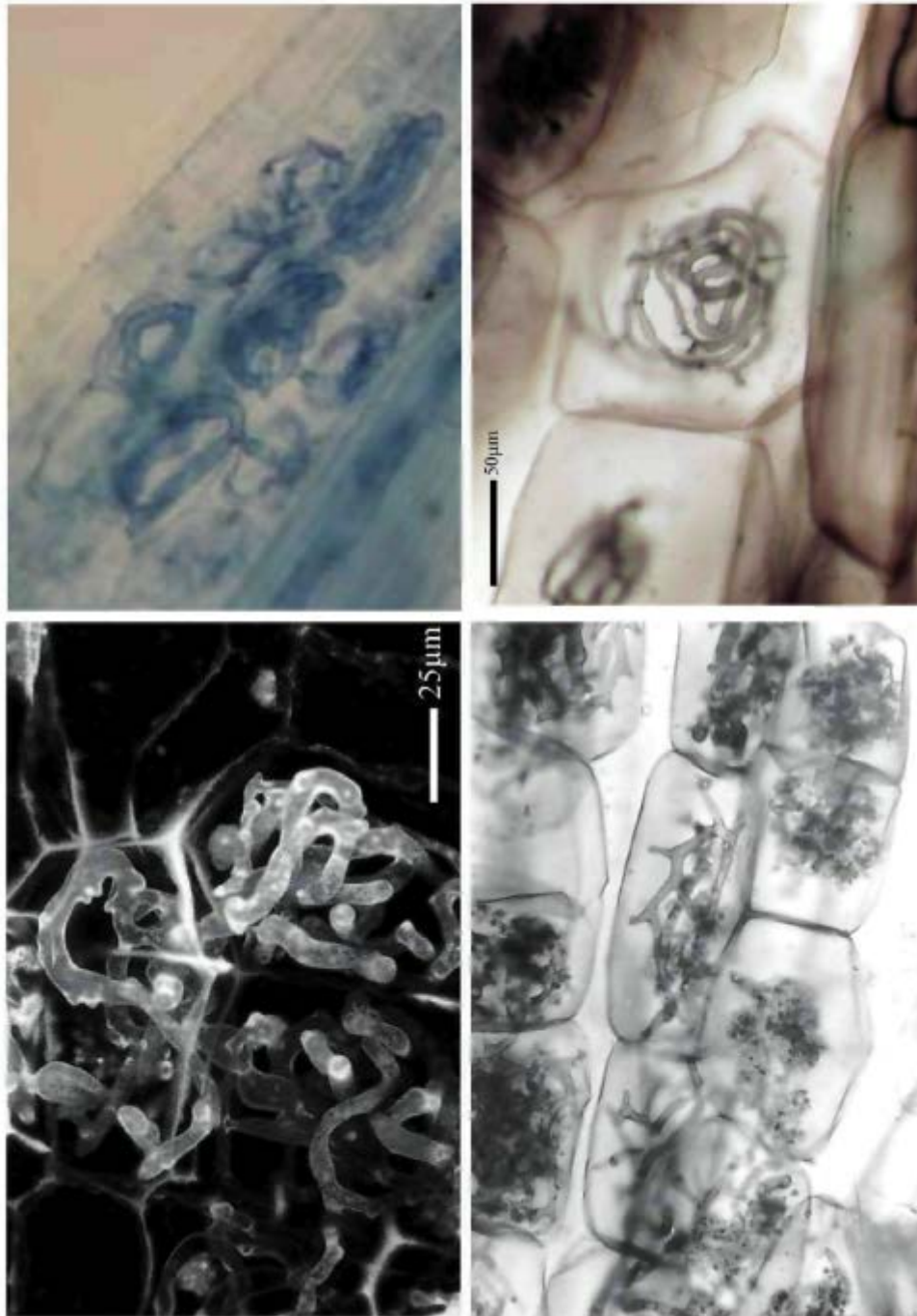


Figure 5 : type Paris. **En haut à gauche** : spires de mycélium intracellulaires typiques des endomycorhizes arbusculaires de type paris ; chaque spire (boucles résulte de l'enroulement du mycélium à l'intérieur d'une cellule du cortex racinaire ; le cylindre central, avec le faisceau des tissus conducteurs, est visible en vas à droite de l'image. **En haut à droite** : amas spiralé de mycélium occupant le milieu d'une cellule corticale. **En bas à gauche** : détail du mycélium spiralé à l'intérieur des cellules, montrant la forme irrégulière des hyphes. **En bas à droite** : type de colonisation intermédiaire entre les types Paris et Arum, avec le mycélium

passant directement d'une cellule à l'autre comme dans le type Paris mais portant de petits arbuscules en plus des spires (Peterson *et al.*, 2006).

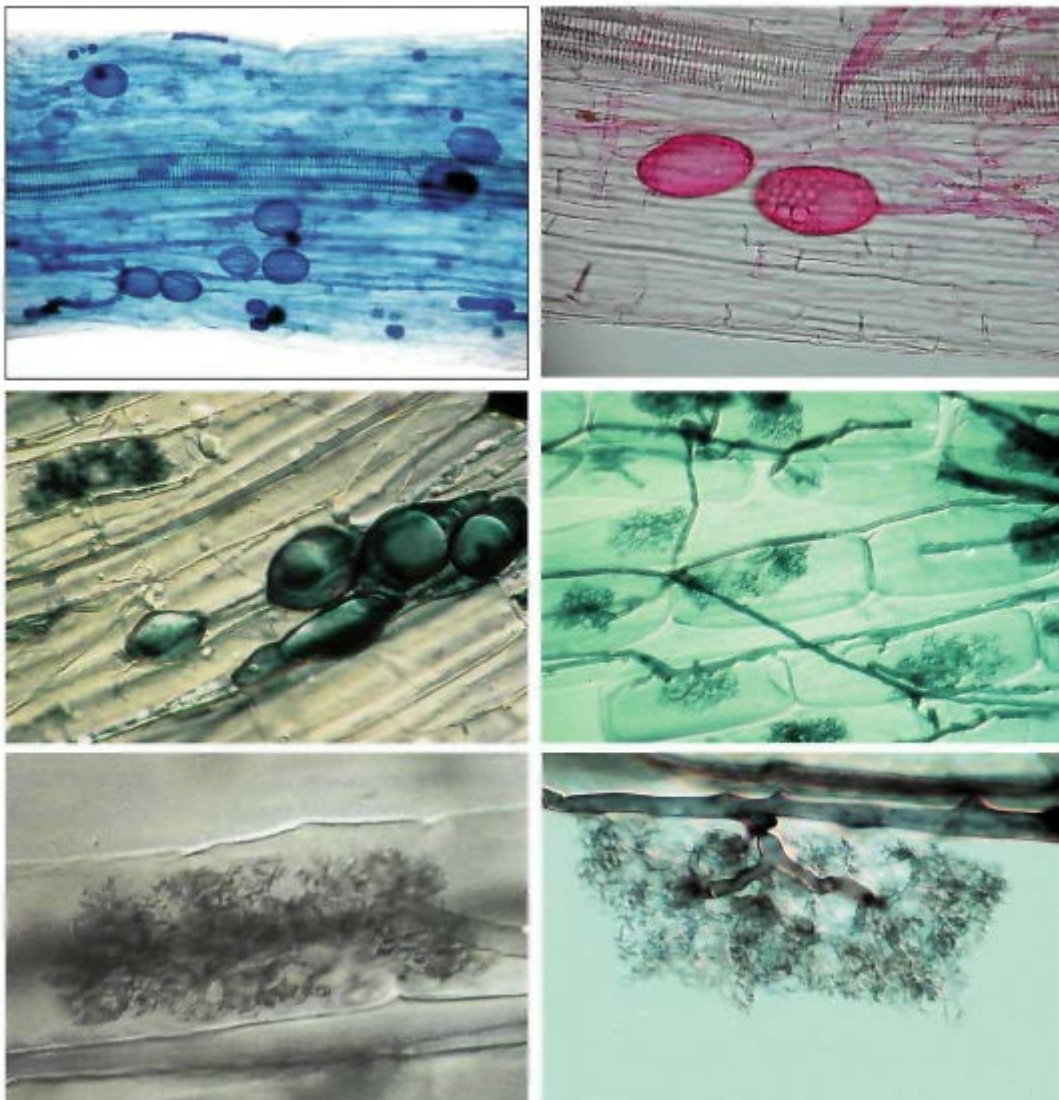


Figure 6 : type arum. **En haut à gauche** : racine endomycorhizée dans laquelle les structures fongiques ont été colorées en bleu ; on voit des vésicules, des hyphes longitudinaux (surtout en bas de la photo) et des arbuscules sous forme de petits nuages flous ; la bande striée au centre de la racine est le faisceau des vaisseaux qui conduisent la sève. **En haut à droite** : mycélium de Gloméromycète (coloré en rouge) portant des vésicules terminant qui contiennent des globules lipidiques. **Au milieu à gauche** : vésicules (en bas à droite de la photo) et un arbuscule (en haut à gauche) ; en haut à gauche des hyphes longitudinaux. **Au milieu à droite** : hyphes portant des arbuscules ; chaque arbuscule occupe une cellule du cortex racinaire. **Photos du bas** : vue au fort grossissement de deux arbuscules de forme différente (Peterson *et al.*, 2006).

4. Champignons endophytes

4.1. Introduction

Carroll (1986) définit l'endophyte comme étant un organisme qui cause des infections asymptomatiques des tissus végétaux. Ainsi, Petrini (1991 *in* Wilson, 1997) développa cette définition en incluant l'ensemble des microorganismes occupant les organes du végétal, et qui pour une période du cycle de vie peuvent coloniser les tissus internes de l'hôte sans apparition de symptômes (Wilson, 1997; Strobel *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2007; Radji *et al.*, 2011). En traduction littérale, le mot endophyte est dérivé du grec: «endo» ou «endon» c'est-à-dire «intérieur», et «phyte» ou «phyton» c'est-à-dire « plante ». Selon Hawksworth *et al.*, (1995) dans «The dictionary of the fungi», le mot “endophyte” désigne « l'organisme qui vit dans la plante » (Pirttilä, 2001; Schulz *et* Boyle, 2006).

Les champignons endophytes sont des microorganismes qui sont présents dans diverses plantes et qui sont capables de coloniser les tissus sains internes des plantes. Ils se développent de façon intercellulaire ou intracellulaire sans y causer de symptômes de maladies (Strobel *et al.*, 1999), ni d'affecter négativement ou altérer le statut biologique et physiologique du partenaire végétal et former donc, un type particulier d'infection dite «asymptomatique ».

Les endophytes racinaires sont ubiquistes. Ceux-ci incluent les endophytes foncés septés (DSE : Dark septate endophytes), dont on connaît mal le rôle dans la croissance des plantes et le maintien des communautés végétales (Peterson *et al.*, 2008).

Les mycoendophytes sont des champignons microscopiques qui colonisent toutes les parties de la plante : les feuilles, les rameaux, les troncs et les racines sans causer d'effets nuisibles apparents à l'hôte et sans qu'on puisse en soupçonner la présence (Peterson *et al.*, 2004). Ils représentent toutefois un important réservoir de biodiversité dans les écosystèmes forestiers.

Certains endophytes sont susceptibles de renforcer la tolérance des végétaux hôtes à des stress environnementaux (sécheresse, forte variation de température, forte salinité...), à des phytopathogènes ou des herbivores (Waller, 2005) et contribuent par conséquent au maintien de la biodiversité végétale.

4.2. Colonisation des tissus végétaux par les endophytes

La colonisation des membres du règne des Planta par les champignons endophytes est ubiquiste. Ces organismes furent découverts pour la première fois chez les Graminées fourragères par de Bary (1866), et chez les espèces ligneuses (*Picea canadiensis*) par Lewis (1924) (Pirttilä, 2001). Dès lors, ce groupe fongique fut caractérisé chez une large gamme de phytotaxons, non seulement chez les Angiospermes, dans lesquels sont rangés la majorité des espèces, mais également chez les Algues, Mousses, Hépatiques, Fougères et Gymnospermes (Sieber et *al.*, 1991; Wilson, 1997; Arnold et *al.*, 2001; Arnold et Herre, 2003; Suryanarayanan et *al.*, 2005; Lucero et *al.*, 2006).

Les études portées sur les champignons endophytes ont été réalisées sur un large spectre de biotopes (Wilson, 1997 ; Arnold et *al.*, 2001; Stone et *al.*, 2004 ; Suryanarayanan et *al.*, 2005).

Eu égard à l'universalité des infections d'endophytes, la diversité des espèces fongiques est significative à l'échelle interspécifique ou intraspécifique de l'hôte. De ce fait, il est admis que les mycoendophytes peuvent représenter une trame substantielle d'espèces non découvertes encore. La spécificité des champignons endophytes à l'égard de la plante-hôte est déterminée par plusieurs facteurs: des régulateurs de nature chimique, le génotype de l'hôte, la période de l'année, et des facteurs physico-chimiques environnants (Stone et *al.*, 2004).

La colonisation des tissus internes des plantes-hôtes par les endophytes peut être intracellulaire et limitée à quelques cellules individualisées, intercellulaire localisée ou systémique, ou bien à la fois intra et intercellulaire (Stone et *al.*, 2004). Elle peut s'avérer limitée au système racinaire comme pour les endophytes bruns cloisonnés ou DSE (Dark Septate Endophytes) (Jumpponen, 2001; Sieber, 2002).

Le champignon peut infecter souvent son hôte en développant des structures particulières: les appressoriums et les haustoriums (Stone et *al.*, 2004), ou en pénétrant directement la paroi cellulaire, ou bien à travers les ouvertures naturelles du végétal (stomates et les chambres sous-stomatiques) (Schulz et Boyle, 2005).

4.3. Mycoendophytes des racines

Les champignons endophytes des racines ou « Rhizoendophytes » décrits dans le présent texte se réfèrent aux champignons non-mycorhiziens. Ces derniers sont nettement distincts de ce groupe bien qu'ils colonisent la même partie. Cette catégorie distincte de champignons endophytes associés aux racines est communément appelée dans la littérature anglo-saxonne « Dark Septate Endophytes » ou DSE (O'Dell *et al.*, 1993). Bien que ces champignons aient été observés sur plusieurs années dans des échantillons de racines d'une variété de plantes, ce n'est que récemment qu'ils ont reçu beaucoup d'attention sur leur place systématique et leur fonction (Peterson *et al.*, 2004).

Jumpponen et Trappe (1998) définissent les DSE comme étant des Ascomycètes stériles colonisant les racines d'une vaste gamme de plantes supérieures (Angiospermes, Gymnospermes, fougères,...) (Horton *et al.*, 1998), qui forment des structures mélanisées, telles que les hyphes inter et intracellulaires et les microsclérotés dans l'épiderme et le cortex racinaire des plantes (Figure 7) (Brundrett, 2004 ; Wilson *et al.*, 2004 ; Mandyam et Jumpponen, 2005 ; Muthukumar *et al.*, 2006 ; Silvani *et al.*, 2008).

La diversité, les fréquences de colonisation et la densité de la communauté mycoendophyte au niveau des racines varient selon les conditions climatiques et édaphiques, ainsi que l'hétérogénéité de l'habitat. Les changements observés dans la dynamique des populations endophytes limitées à cette partie souterraine de la plante sont déterminés par les variations saisonnières subies par la partie aérienne (Sieber, 2002).

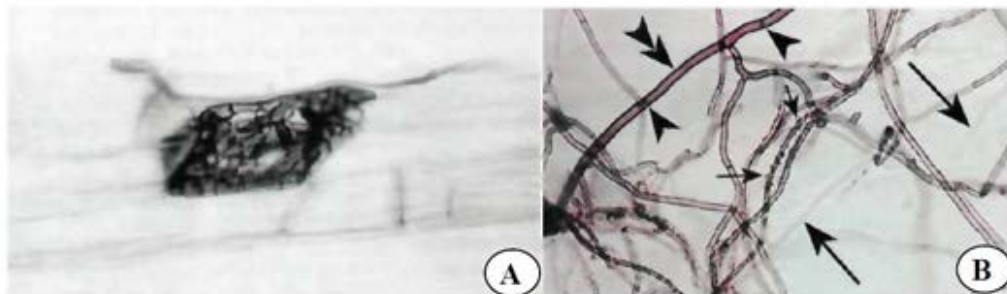


Figure 7 : A)- Formation d'un sclérote dans une cellule du parenchyme corticale racinaire. B)- Hyphes hyalins septés (grande flèche) et hyphes mélanisés septés (double tête de flèche) d'endophyte présentant des exsudats (tête de flèche) racinaires (Peterson *et al.*, 2004)

Les microsclérotas sont de structures différentes, il est suggéré qu'ils correspondent à différentes étapes de développement ou d'espèces différentes de DSE (Vitorino et *al.*, 2012).

Les DSE sont distribués mondialement dans divers habitats et associés avec une gamme vaste d'hôtes qui incluent 600 espèces de plantes de 320 genres et plus de 110 familles (Jumpponen et Trappe, 1998), y compris les plantes qui sont non mycorhiziennes. L'existence des DSE dans divers habitats a mené l'hypothèse que ces champignons peuvent, comme les champignons endomycorhizogènes affecter la structure et la composition de la communauté végétale.

4.4. Rôles écologiques et physiologiques

L'ubiquité et l'hyperdiversité des mycoendophytes supposent que ces derniers peuvent jouer des rôles extrêmement importants dans le fonctionnement des écosystèmes, ainsi, il est probable que leurs actions au sein d'un biotope donné soient multiples (Deckert, 2000; Rudgers et *al.*, 2005). Deckert (2000) considère que l'endophytisme peut refléter une stratégie caractéristique des organismes opportunistes d'être présents et actifs lorsque les conditions deviennent convenables pour le développement éventuel d'une maladie sur l'hôte. Pour beaucoup d'espèces forestières, notamment les conifères, la communauté mycoendophyte renferme une vaste gamme d'espèces potentiellement pathogènes, ou modérément commensales. Mais le spectre de leur interaction symbiotique mutuelle avec leurs hôtes est encore mal compris.

En contre partie de la nutrition offerte par la plante-hôte, les champignons endophytes confèrent à cette dernière la capacité de maintenir et d'améliorer ses performances biotiques, même sous conditions écologiques sévères, par la protection contre beaucoup de ravageurs et d'agents phytopathogènes et même contre des facteurs de stress abiotiques (stress hydrique, salin, radiatif, pollution,...) (Carroll, 1986; Azevedo et *al.*, 2000; Rodriguez et *al.*, 2004). Les champignons endophytes jouent également un rôle déterminant en matière d'assimilation des éléments minéraux (N et P notamment) (Malinowski et Belesky, 2000).

Dans ce contexte de bioprotection, il a été constaté que les plantes colonisées par ce groupe fongique se développent mieux, ceci est dû en partie à la synthèse de certains types de régulateurs de croissance tels que l'acide 3-indolacétique (AIA) et des cytokinines (Tan et Zou, 2001).

Il est admis que le statut quantitatif et notamment qualitatif des champignons endophytes foliaires et la sénescence des feuilles sont étroitement corrélés. Bien que la nature de cette relation demeure mal élucidée, il est apparent, que les endophytes sont parmi les premiers microorganismes à envahir les tissus morts des feuilles, et de ce fait, contribuent dans le cycle biogéochimique dans les écosystèmes forestiers (Deckert, 2000). Avant l'abscission et la tombé des feuilles sur le sol, les champignons endophytes ayant-les premiers- l'opportunité d'exploiter les ressources nutritives à partir des feuilles mortes, avant qu'elles soient disponibles pour les autres trames microbiennes du sol. Selon Wilson, (1997), ce changement marquant de l'aspect trophique de ces organismes contribue dans le succès de l'endophytisme.

Chapitre 2. Présentation de l'espèce

1. Introduction

Le pistachier de l'Atlas ou *Pistacia atlantica* de son nom scientifique ou encore appelé bétoum en arabe, iggh en berbère a été décrit pour la fois par Desfontaines en 1798. Monjauze (1968) a décrit le pistachier de l'Atlas comme étant une essence par excellence des hautes plaines du Maghreb et des dayas du piémont méridional de l'Atlas Saharien. Le pistachier de l'Atlas est utilisé dans les programmes de reforestation et sylviculture dans les zones semi-arides et arides en produisant notamment des quantités importantes d'humus capable d'augmenter les qualités physico-chimique des sols (Boudy, 1952 ; Mirzaie-Nodoushan et Arefi, 2001 *in* Belhadj, 2007). Il pourrait être utilisé comme brise vent (Makhlouf, 1992 *in* Belhadj, 2007).

C'est le plus ubiquiste des arbres du Nord de l'Afrique et du Proche Orient (Monjauze, 1980). Il présente une amplitude écologique et une plasticité remarquables. On le trouve au cœur du Sahara jusqu'aux marges du bioclimat humide (Quézel et Médail, 2003).

2. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Son système racinaire n'est pas moins impressionnant. En effet selon Chaba et *al.* (1991), Ait Slimane (2004), Limane et *al.* (2014) et Boubrima (2014), le pistachier de l'Atlas présente un système racinaire vigoureux à extension horizontale et verticale. Au stade juvénile, il présente un pivot séminal orthogéotrope, à ramification latérales se ramifiant profondément dans le sol pour que la plante puisse se fixer au sol, s'alimenter en ressources hydrominérales, et offre par la suite un système racinaire mixte à extension verticale profonde et horizontale superficielle. Mais au stade adulte, le pivot peut se développer et se lignifier, comme il peut disparaître et laisser place aux racines secondaires pour se développer et donner par la suite un système racinaire à extension latérale ou superficielle. Les deux types de racines peuvent se développer pour donner le type généralisé (racines à extension verticale et latérale (Limane et *al.*, 2014) (Figure 8).



Figure 8 : système racinaire du pistachier de l'Atlas (Benaradj et *al.*, 2015).

3. Caractéristiques des sols sous pistachier de l'Atlas

Mise à part le sable, il croît sur tous les sols, mais il a une préférence pour les argiles et les limons (loess, alluvions des dayas) (Monjauze, 1982 ; Quézel & Médail, 2003).

Du point de vue édaphique, le pistachier de l'Atlas préfère des sols d'alluvions des dayas à *Ziziphus lotus* (L) Desf. (Khalife, 1952). Le pistachier de l'Atlas se développe aussi dans les alluvions de plaines (Seigue, 1985).

Du point de vue textural, la fraction limoneuse domine généralement au niveau des sols sous pistachier de l'Atlas. Les sols dans la forêt de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt) se caractérisent par une texture qui varie de limono-sableuse, limoneuse, limono-argileuse fine à argileuse (Tisgouine, 2010). La texture des sols de la réserve nationale d'EL-Mergueb (wilaya de M'sila) varie de limoneuse fine limono-sableuse, limono-argilo-sableuse, sablo-limoneuse à sableuse (Limane, 2009). La texture des sols au niveau de la daya de Boucédraia (wilaya de

Djelfa) est limono-sableuse à limoneuse fine (Bentaleb, 2011). La texture des sols de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat) varie de limono-sableuse, limoneuse fine, limoneuse très fine et enfin à limono-argileuse (Deguiche, 2008). Pour les sols sous pistachier de l'Atlas de la daya de Tilrhemt (wilaya de Laghouat), la texture varie de limono-sableuse à limoneuse fine (Bounceur, 2009).

Pour Brown et *al.* (1994), le pistachier de l'Atlas occupe une variété de sols qui se caractérisent par un pH élevé. En effet, les sols sous pistachier de l'Atlas de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt) se caractérisent par un pH neutre à basique : de 6,6% à 7,54% (Tisgouine, 2010). Les sols de la réserve nationale d'El-Mergueb (wilaya de M'sila) présente un pH basique : 7,50% à 8,70% (Limane, 2009). Pour les sols de Boucédraia (wilaya de Djelfa), ils présentent un pH qui varie entre 7,53% à 8,19% (Bentaleb, 2011). Le pH des sols de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat) est aussi basique : 8,07% et 8,51% (Deguiche, 2008). Les sols sous pistachier de l'Atlas de la daya de Tilrhemt (wilaya de Laghouat) se caractérisent par un pH basique allant de 7,66% à 8,45% (Bounceur, 2009).

Pour le calcaire, il n'affecte pas le développement du pistachier de l'Atlas (Ait Radi, 1979). En effet les sols sous pistachier de l'Atlas de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt) se caractérisent par un taux de calcaire qui varie de 7,18% à 34,37% (Tisgouine, 2010). Les sols de la réserve nationale d'El-Mergueb (wilaya de M'sila) présente un taux de calcaire qui varie entre 5% et 25% (Limane, 2009). Pour les sols de Boucédraia (wilaya de Djelfa), ils présentent un taux de calcaire total de 1,10% à 17,50% (Bentaleb, 2011). Pour les sols de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat), le taux de calcaire varie de 5,62% à 51,87% (Deguiche, 2008). Les sols sous pistachier de l'Atlas de la daya de Tilrhemt (wilaya de Laghouat) se caractérisent par un taux de calcaire variant entre 7,81% et 32,81% (Bounceur, 2009).

Selon Callot et *al.* (1982), en sol calcaire et en présence des carbonates de calcium, le pH du sol est contrôlé par le système CaCO_3 , CO_2 et H_2O . Les acides organiques diffusées par les racines sont neutralisés par les ions Ca^{2+} libérés par le CaCO_3 . Quant aux carbonates (CO_3), ils fixent les protons H^+ présents dans le sol, ceci diminue la concentration des protons libres dans ces sols et provoque par conséquent l'augmentation du pH de ces mêmes sols.

Pour Brown et *al.* (1994), le pistachier de l'Atlas occupe une variété de sol qui se caractérise par une pauvreté en matière organique. Pour les sols sous pistachier de l'Atlas de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt), les taux varient d'extrêmement faibles à très élevés (Tisgouine, 2010). Les sols de la réserve nationale d'El-Mergueb (wilaya de M'sila) présentent des taux très faibles à très élevés en matière organique : 1,11% à 5,4% (Limane, 2009). Pour les sols de Boucédraia, ils montrent des taux de matière organique extrêmement faibles à faibles : 0,03% à 2,04% (Bentaleb, 2011). Les sols de Timzerth (wilaya de Laghouat) ont des taux de matière organique extrêmement faibles à faibles : ils varient de 0,1% à 2,43% (Deguiche, 2008). Le taux de matière organique dans les sols de la daya de Tiltrhemt sont extrêmement faibles à faibles ; ils varient de 0,15% à 1,95% (Bounceur, 2009).

4. Statut mycorhizien et endophytique

Le système racinaire du pistachier de l'Atlas établit des relations symbiotiques principalement avec des espèces fongiques pour faire face aux conditions climatiques et édaphiques rudes. Selon Abed (2006), Ait Zegagh-Benamara (2006), Mellah (2007), Amarache et Chelli (2008), Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009) et Raab (2010), les racelles du pistachier de l'Atlas (différentes populations étudiées) sont mycorhizées. Ces travaux montrent que les racelles dont les diamètres sont compris entre [0,5, 1[mm, [1, 2 [mm et [2, 3[mm sont mycorhizées.

Raab (2010) travaillant sur la population de la daya de Timzerth dans la wilaya de Laghouat, souligne la double mycorhization des racelles de cette espèce. Le même résultat est signalé par Amarache et Chelli (2008) pour les individus de la périphérie de la daya de Tiltrhemt toujours dans la wilaya de Laghouat. Toutefois, la double mycorhization n'a pas été rapportée dans les travaux effectués dans les stations de Béni Ounif (Béchar), Boucédraia (Djelfa), et Oued Besbes (Médéa) respectivement par Ait Zegagh-Benamara (2006), Abed (2006) et Mellah (2007) qui n'ont répertorié qu'une ectomycorhize.

D'après les travaux effectués par Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009) à Theniet El Had (Tissemsilt), Mellah (2007) à Oued Besbes (Médéa), Abed (2006) à Boucédraia (Djelfa), Raab (2010) à Timzerth (Laghouat), Amarache et Chelli (2008) à Tiltrhemt aussi dans la wilaya de Laghouat et Ait Zegagh-Benamara (2006) à Béni Ounif dans la wilaya de Béchar, et suivant le gradient nord /sud, nous avons synthétiser leurs résultats dans le tableau 1.

Ils s'accordent tous à dire que le pistachier de l'Atlas est mycorhizé. Les différences enregistrées concernent les types de mycorhizes observés et les parties de l'arbre infectées par

les mycorhizes et /ou les endophytes. En effet, Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009) à Theniet El Had, ont signalé des endophytes dans les feuilles du pistachier de l'Atlas.

Tableau 1 : statut mycorhizien et endophytique des différentes populations du pistachier de l'Atlas étudiées par (Raab, 2010).

La zone d'étude	Les mycorhizes		Les endophytes	
	Endo (MA /MV)	Ecto	Racines	feuilles
-Theniet El Had (Tissemsilt) (Hadj Benamane et Ould Amrouche, 2009)	P	P	P	P
-Oued Besbes (Médéa) (Mellah, 2007)	A	P	P	PED
-Boucédraia (Djelfa) (Abeb, 2006)	A	P	P	PED
-Timzerth (Laghouat) (Raab, 2010 et Zareb, 2014)	P	P	PED	P
-Tilrhemt (Laghouat) (Amrache et Chelli, 2008)	P	P	P	PED
-Béni Ounif (Béchar) (Ait Zegagh-Benamara, 2006)	A	P	PED	PED

(MA) : mycorhizes arbusculaires ; (MV): mycorhizes à vésicules ; A : absence ; P : présence et PED : pas encore déterminée.

A partir de ces résultats, il apparait que le pistachier de l'Atlas fait appel à une mycorhization suivant les conditions du milieu. En effet, dans toutes les situations il est ectomycorhizé, et

jusqu'à présent, il n'y'a que dans la région de Laghouat et Theniet El Had où les endomycorhizes ont été recensées.

En plus de l'association mycorhizienne, Ferhani (2015) a montré la présence de deux champignons endophytiques cosmopolites (*Aspergillus* et *Penicillium*) dans les tissus racinaires de cette espèce. Ces résultats font apparaitre que le pistachier de l'Atlas fait appel à des symbioses racinaires suivant les conditions édaphiques et climatiques du milieu.

Dans une stratégie d'optimisation de l'acquisition d'eau et différents éléments minéraux indispensables, le système racinaire du pistachier de l'Atlas établit des relations symbiotiques principalement fongiques (Limane, 2009). Ces dernières sont observées à travers des observations microscopiques effectuées sur les racines fines de cette espèce des différentes populations dans plusieurs travaux menés au laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, en l'occurrence Abed (2006), Ait Zegagh Benamara (2006), Mellah (2007), Amarache et Chelli (2008), Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009), Raab (2010), Redjdal (2010), Yazag (2013), Ferhani (2015) et Mechiah (2015). Tous ces travaux s'accordent à dire que le pistachier de l'Atlas établit des symbioses mycorhiziennes et endophytiques (DSE).

Chapitre 3. Matériel et méthodes

1. Description de la zone d'étude

La ville de Laghouat est située à 400 km au sud d'Alger sur l'axe routier Alger – Ghardaïa. Elle se situe sur le flan sud de l'Atlas Saharien (Figure 9).

Elle est limitée au nord par les wilayas de Tiaret et Djelfa, à l'est par la wilaya de Touggourt et El Oued, à l'ouest par la wilaya d'El Bayadh et au sud par la wilaya de Ghardaïa

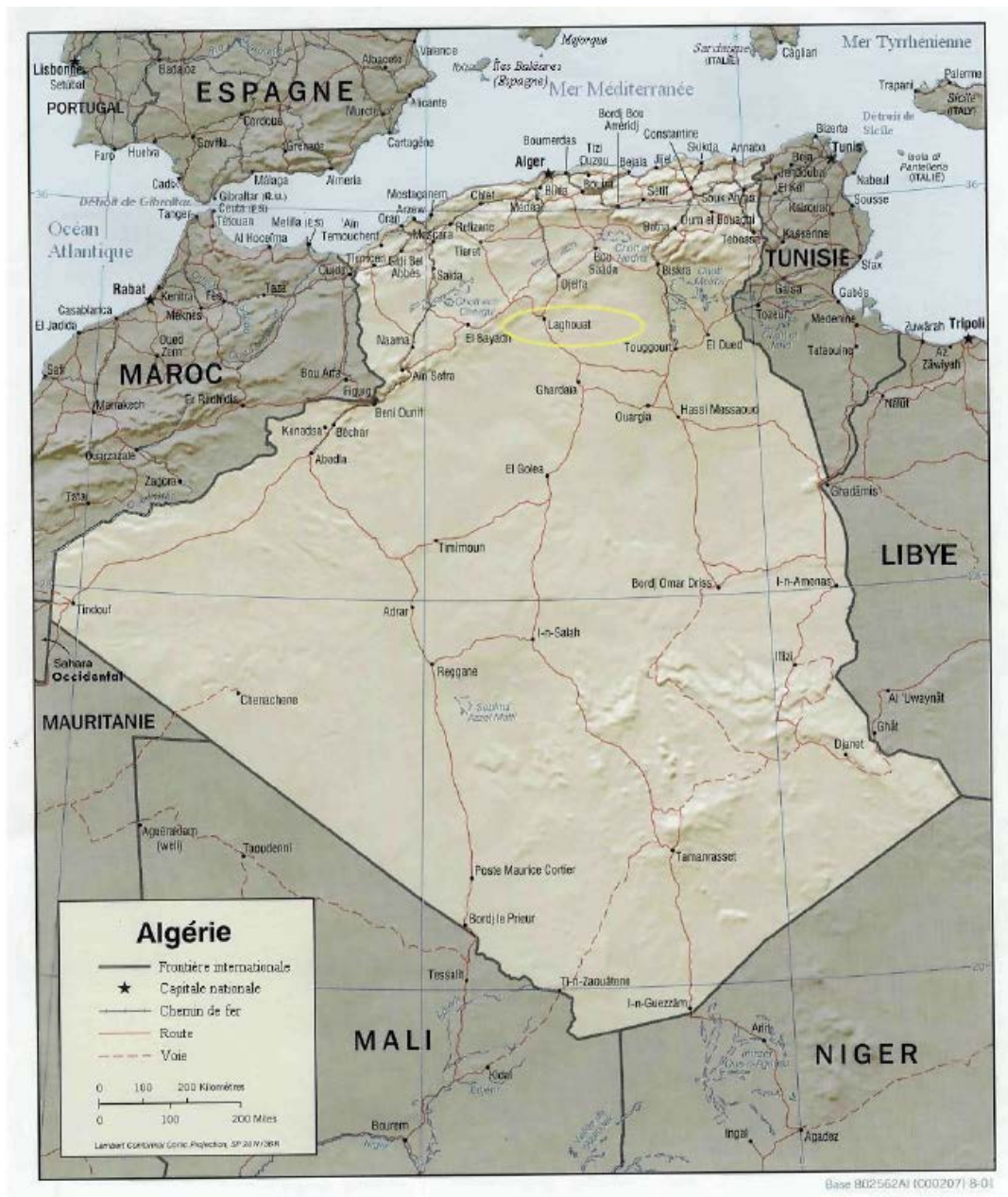


Figure 9: localisation de la ville de Laghouat (google.fr)

échelle : 1/200 000^e

La wilaya de Laghouat se localise sur des glacis du quaternaire appartenant au sous secteur de l'Atlas Saharien algérien. Elle a connu une forte croissance de la population et de

l'effectif des troupeaux ovins et caprins avec un déclin des camélidés (Amghar et Kadi-Hanifi, 2004).

Notre zone d'étude : la daya de Timzerth, est située à 50 km au sud de la ville de Laghouat. Elle est localisée au cœur de la région des Dayas (Figure 10). Selon Monjauze (1982), la région des dayas est un haut plateau dont l'altitude moyenne passe de 1000 à 500 mètres de l'ouest à l'est. Il couvre à peu près 30000 km². Il longe l'Atlas Saharien central par son grand côté, s'appuie au sud sur la dorsale touranienne de la Chebka du Mzab, à l'ouest sur des plateaux descendant vers le grand Erg Occidental et à l'est s'atténue en pente douce en direction des grands oueds.

Les dayas de Laghouat sont à fond très plat, jamais complètement imperméables, de formes régulières et peuplées de pistachier de l'Atlas. Elles couvrent environ 2% de la surface des terrains de parcours ; leur densité est d'une unité par km², leur diamètre de 100 à 300 mètres ; leur profondeur de 2 à 4 mètres (Monjauze, 1982).

Le choix de cette daya s'explique par les nombreux travaux déjà réalisés sur ces pistachiers de l'Atlas. Nous pouvons citer ceux concernant l'architecture racinaire (Chebieb, 2008 ; Boubrima, 2014) et les symbioses racinaires (Raab, 2010), les sols sous jacent aux différents sujets échantillonnés (Deguiche, 2008 ; Amroun, 2013 ; Adi, 2014 ; Boubrima, 2014) (Figure 10).

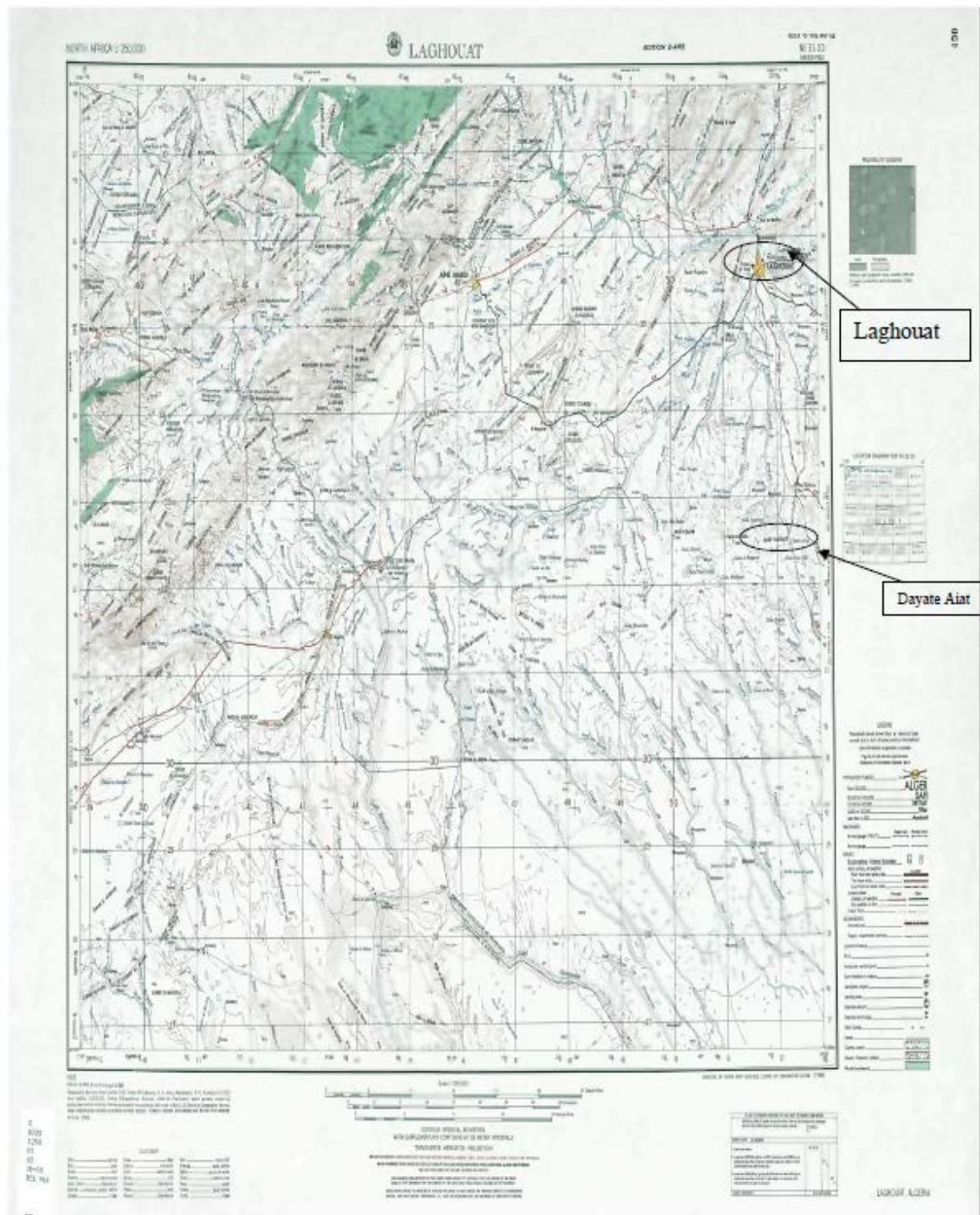


Figure 10: situation de la zone d'étude

échelle : 1/200 000°

2. Bioclimat de la zone d'étude

De part sa situation géographique, la wilaya de Laghouat appartient au domaine saharien, et au sous-domaine saharien nord occidental selon l'esquisse phytocorologique des domaines et secteurs biogéographiques de l'Algérie (Barry et al., 1958 in Kebci, 2008).

Le bioclimat à été déterminé par Deguiche (2008) et Chebieb (2008). La zone d'échantillonnage étudiée est dépourvue de station météorologique. Nous avons donc utilisé les données thermiques et pluviométriques de la station de Hassi R'mel qui a été mise en place en 1994. Elle est située à 764 m d'altitude, à une latitude de 32° 56' N et une longitude de 03° 18' E, et ceci pour une période de 07 années (1999-2005), recueillis par l'Office National de la Météorologie (O.N.M) d'Alger.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région Hassi R'mel (1995-2005) montre une période de sécheresse qui s'étale sur 11 mois. Elle débute en février et se termine en décembre (Deguiche, 2008 et Chebeib, 2008) (Figure 11).

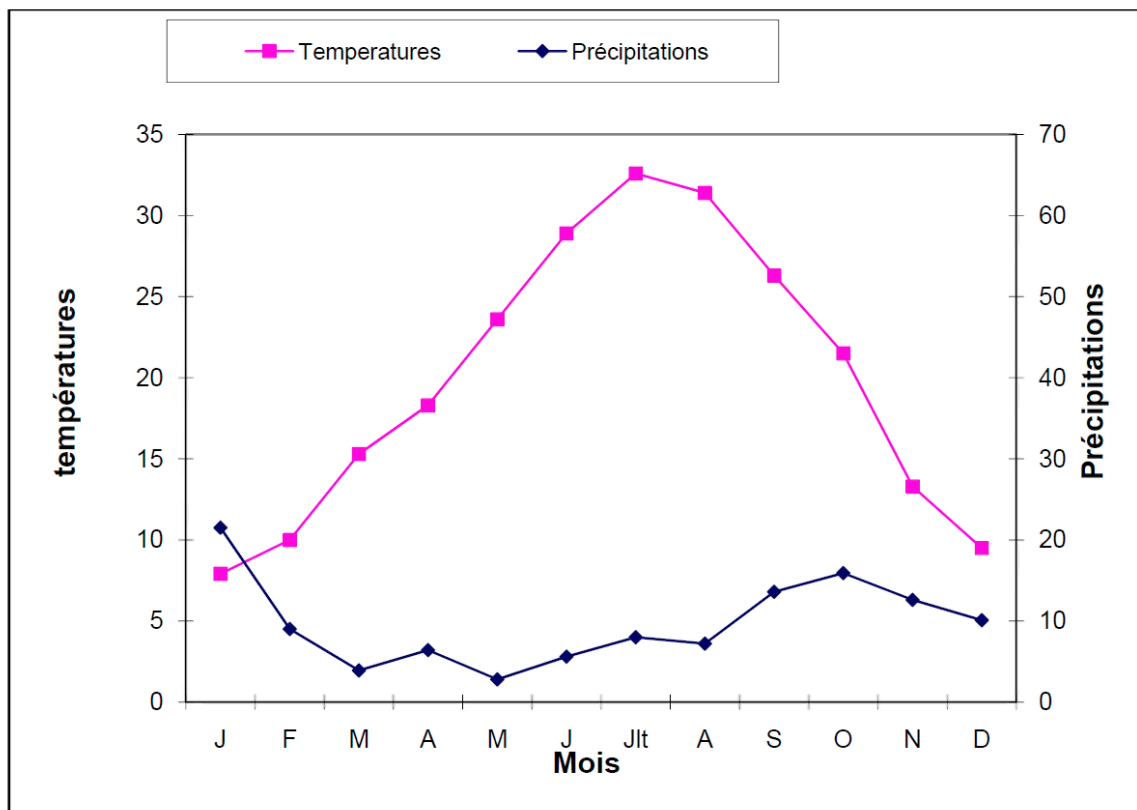


Figure 11 : le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la station de Hassi R'mel (1995-2005) (Deguiche, 2008 ; Chebieb, 2008).

Le Houérou (1995) s'est basé sur un rapport appelé quotient pluvio-évapotranspiratoire (P/ETP_p), ETP étant l'évapotranspiration calculée à partir de la formule de Penman. Outre le mérite de sa simplicité, elle présente une précision suffisante à l'échelle zonale. Sachant que le seuil $P=2 * t$ de démarcation entre la saison sèche et la saison pluvieuse, mis en évidence par Bagnouls et Gausson (1953) correspondant sensiblement à 0,35 ETP , estimé par la

méthode de Penman, on peut ainsi par subterfuge évaluer de façon approchée l'ETP à l'échelle annuelle, $ETP = 68,64 \times (M+m/2)$. Le Houérou (1995) a ainsi dressé une zonation éoclimatiques des régions arides de l'Afrique du Nord en portant sur les ordonnées le quotient pluvio-évapotranspiratoire, et sur les abscisses les moyennes des températures minimales du mois le plus froid (Figure 12).

Le tableau 2 retrace les différents calculs effectués pour classer notre station dans la zonation éoclimatiques de Le Houérou (1995).

Tableau 2 : données et paramètres utilisés dans la classification éoclimatique de la station de Hassi R'mel (Deguiche, 2008 et Chebieb, 2008).

Station	P (mm)	M (°c)	m (°c)	M+m/2 (°c)	t ⁰ (°c)	M-m (°c)	ETP _P	P/ETP	Classification
Hassi R'mel	116,6	39,9	1,9	20,9	19,9	12,8	1366	0,08	Aride inférieur frais (Ai-f)

L'analyse du climat à travers ses différentes composantes sur une période allant de 1995 à 2005 a révélé que sur le climagramme de Le Houérou, notre station se place dans l'étage bioclimatique aride inférieur ou selon le même auteur appelé aussi aride accentué ou présaharien ou subdésertique à hiver frais (Figure 12), qui se caractérise par la présence et la dominance d'espèces steppiques strictes, l'infiltration de certaines espèces sahariennes et la quasi-inexistence d'espèces d'affinité forestière en dehors des zones favorisées par le ruissellement (Le Houérou, 1995).

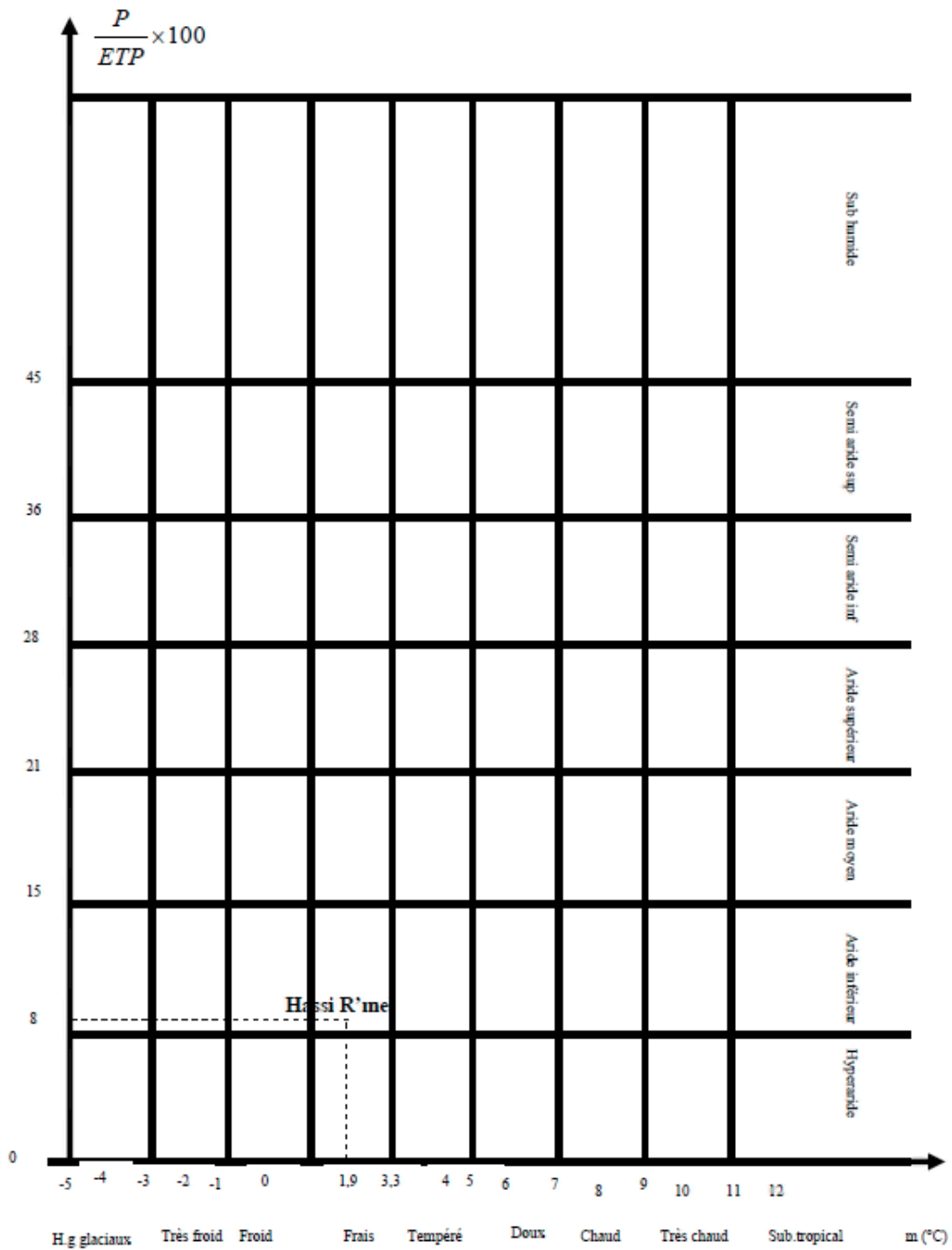


Figure 12: zonation écoclimatique de Hassi R'mel selon la méthode de Le Houérou (1995).

Source : (Deguiche, 2008 ; Chebieb, 2008).

3. Echantillonnage et tri des racines

Les racines ont été échantillonnées par Mme Boubrima A. en octobre 2015 à Timzerth sur 04 sujets de *Pistacia atlantica* Desf. (Figures 13 et 14). Les racines échantillonnées sont triées selon un diamètre inférieur à 0,5 mm grâce au pied à coulisse.

Les radicules sélectionnées sont préparés pour un éclaircissement et une coloration au bleu Trypan pour discerner la présence de structures fongiques dans les tissus racinaires du pistachier de l'Atlas.

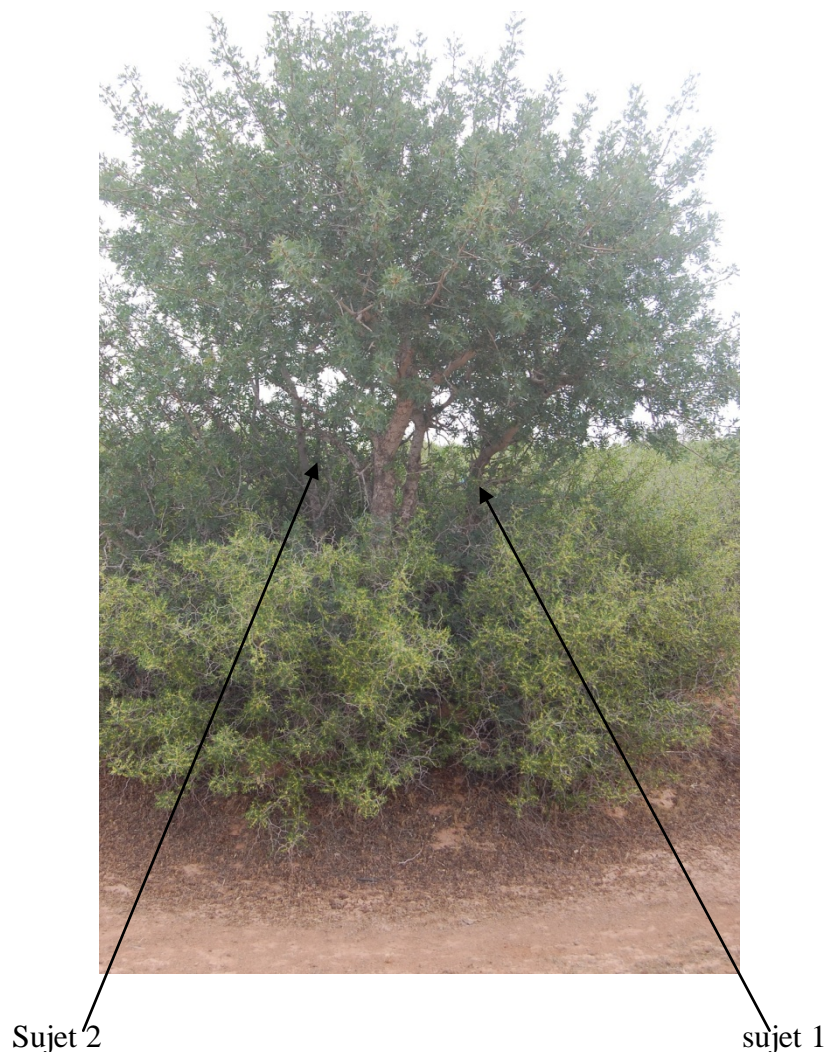


Figure 13 : Sujets 1 et 2.

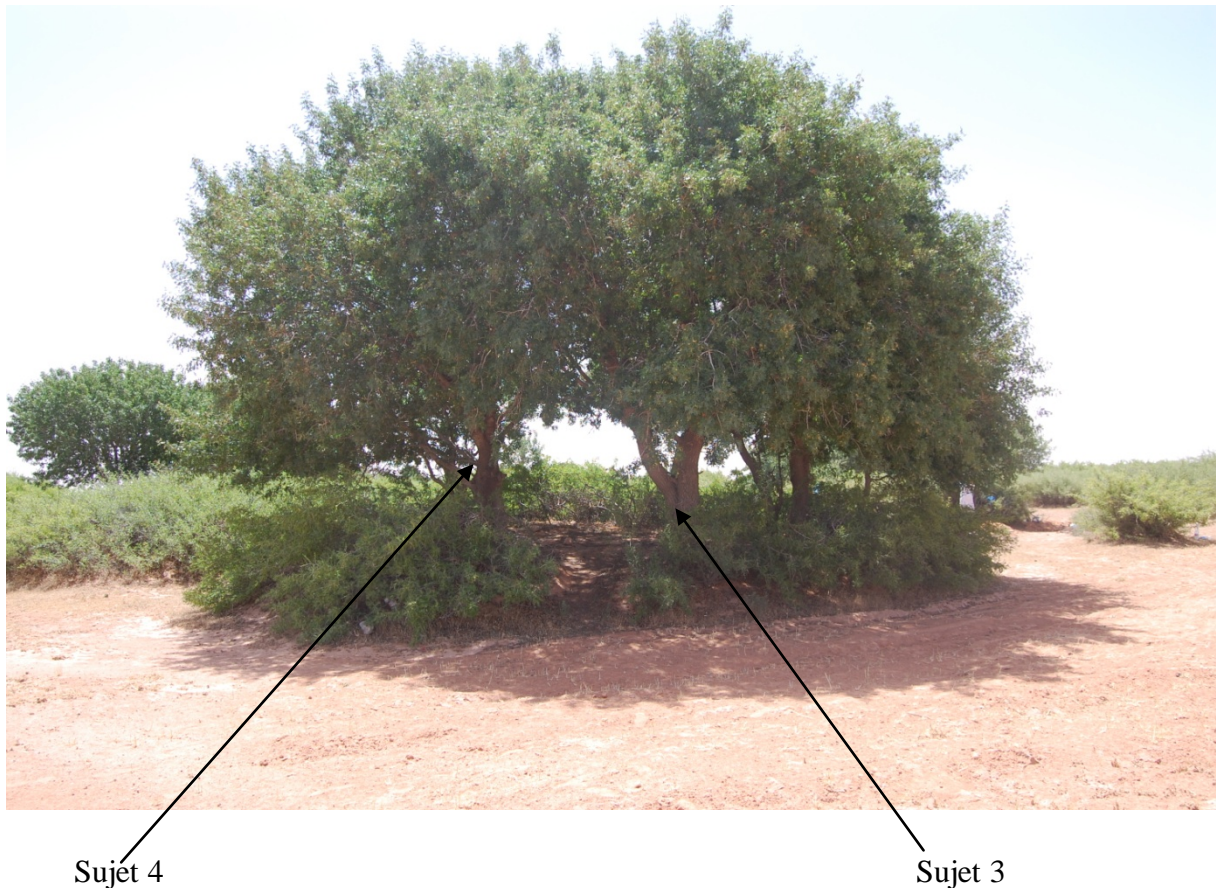


Figure 14 : Sujets 3 et 4.

4. Eclaircissement et coloration des racelles

4.1. Technique

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

- un rinçage des racelles à l'eau courante dans une passoire, afin de les débarrasser des débris végétaux et du sol ;
- mettre les racines dans les béciers 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'à 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 et écrasement, 33 segments de racelles parmi les plus minces d'environ 1 cm de long prélevés au hasard pour chaque sujet sont placés entre lames et lamelles, dans quelques gouttes de gélatine glycinée.

4.2. Observation microscopique

L'observation microscopique des segments racinaires consiste à définir les différentes structures fongiques, à savoir les arbuscules, vésicules, spores, hyphes intra et extra racinaires et les mycoendophytes

Résultats et discussion

Nous avons observé au niveau de la majorité des écrasements de racines du pistachier de l'Atlas de nos sujets de la population de la daya de Timzerth des endomycorhizes et une symbiose mycoendophytique.

1. Symbiose mycorhizienne

Le tableau 3 ci-dessous nous résume les proportions dans lesquelles nous avons observé des endomycorhizes dans nos écrasements de radicelles de pistachier de l'Atlas.

Tableau 3 : résultats des observations microscopiques de la symbiose mycorhizienne du pistachier de l'Atlas de la daya de Timzerth.

	Hy	Ar	Ve	Sp	Pa
Sujet 1	++	+++	+	+++	+
Sujet 2	++	+++	+	+	0
Sujet 3	+	++	+	+	0
Sujet 4	+	++	+	0	0

Ar : arbuscules / **Ve** : vésicules / **Sp** : spores / **Hy** : hyphes / **Pa** : poils absorbants

0 : absence / + : peu abondant / ++ : abondant / +++ : très abondant

► **Sujet 1** : nous constatons un pourcentage très abondant en arbuscules et en spores, un pourcentage abondant en hyphes, un pourcentage peu abondant en vésicules et une présence de poils absorbants.

► **Sujet 2** : pour ce sujet, le pourcentage en arbuscules est également très abondant ; le pourcentage en hyphes est abondant alors que les vésicules et les spores y sont peu abondantes ; nous n'avons pas observé de poils absorbants au niveau des radicelles de ce sujet.

► **Sujet 3** : nous constatons un pourcentage abondant en arbuscules et un pourcentage peu abondant pour les vésicules, spores et hyphes ; nous n'avons pas observé de poils absorbants au niveau des radicelles ce sujet.

► Sujet 4 : nous remarquons au niveau de ce sujet, une absence en spores et également en poils absorbants ; un pourcentage abondant en arbuscules et peu abondant en hyphes et en vésicules.

D'après nos résultats obtenus, nous remarquons que les arbuscules prédominent pour l'ensemble des échantillons observés du pistachier de l'Atlas de la daya de Timzerth.

La majorité du contenu des radicelles est colorée en bleu par le bleu Trypan.; les spores quant à elles apparaissent noires et bleues.

Les observations microscopiques des radicelles de tous nos sujets révèlent la présence, sur une grande partie des segments, de différentes structures, colorées en bleu, au niveau des espaces inter et intracellulaires du cortex racinaire du pistachier de l'Atlas. Ainsi, les différentes structures que nous avons observés au microscope au niveau de nos radicelles de pistachier de l'Atlas sont les hyphes intra et extra-racinaires, les arbuscules, les vésicules et les spores intra et extra-racinaires.

1.1. Hyphes

Nous avons observé des hyphes intraracinaires de formes (Figures 15, 16 et 17) :

- allongées ;
- sous la forme d'un « Y » ;
- enroulées.

La couleur des hyphes varie selon les sujets observés de bleu à bleu foncé pour les trois types d'hyphes observées.

Le genre *Acaulospora* caractérise le premier type d'hyphes mycéliennes observées selon Dodd et ses collaborateurs (2000). Nous savons que le deuxième type correspondrait au genre *Glomus* (Brundrett, 1996 ; Dodd et al., 2000 ; Blaszkowski, 2003). Le troisième type d'hyphes pourrait caractériser les espèces appartenant à la famille des Gigasporaceae (*Gigaspora* et *Scutellospora*). Ce résultat confirmerait les résultats de Mechiah (2015). Ces différentes types hyphes ont été notées au niveau des radicelles du pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa (Laghout).

Au cours de nos observations, nous avons également observé des hyphes extraracinaires au niveau de nos écrasements de radicelles (Figure 18). Ces hyphes sont longues et présentent différents diamètres. L'hyphe extraradiculaire produit par le champignon mycorhizien à arbuscule est un des organes de propagation et peut coloniser une plante autre que la plante dont elle est issue.

Le réseau extramatriciel peut augmenter le volume du sol exploré pour la nutrition minérale du pistachier de l'Atlas. Les hyphes extraracinaires ont un diamètre de 2 à 5 fois plus petit que celui des racines et peuvent donc coloniser un volume de sol non exploré par la racine, par exemple en sol compact, les hyphes vont aller chercher des éléments nutritifs en dehors de la zone d'épuisement et les transporter jusqu'à l'intérieur de la racine (Li et *al.*, 1997 et Plenchette, 2005).

Des travaux démontrent clairement que le mycélium fongique intervient en synergie avec les microorganismes du sol dans la décomposition de la matière organique, donnant ainsi accès à des éléments minéraux emprisonnés dans les résidus végétaux ou animaux (Fortin et *al.*, 2008).

Figure 15 : hyphe intraracinaire allongée (x 400).

Figure 16 : hyphes intraracinaires sous la forme d'un « Y » (x 400).

Figure 17 : hyphe intraracinaire enroulée (x 400).

Figure 18: observation d'une hyphe extraradiculaire colorée en bleu (x 400).

1.2. Arbuscules

Nous avons observé dans nos radicelles de pistachier de l'Atlas plus d'arbuscules de type « *Arum* » que de type « *Paris* ». Les hyphes du type « *Arum* » se colorent intensément avec le bleu Trypan.

Les arbuscules que nous avons observés ont l'apparence d'arbre, se trouvant seulement à l'intérieur des cellules entre la paroi et la membrane cytoplasmique (Figure 19 et 20).

Les arbuscules sont le site d'échange de minéraux et de nutriments entre la plante hôte et le champignon (Boullard, 1968).

Lors de la formation des arbuscules, la spore émet des filaments qui traversent plusieurs cellules avant d'atteindre la troisième assise de cellules corticales, c'est à ce niveau que le champignon se différencie des structures symbiotiques fonctionnelles et que son type morphologique se révèle. Dans le type *Arum* que nous avons observé, le filament mycélien est très densément ramifié et s'étend rapidement dans la direction longitudinale de la racine en progressant entre les assises cellulaires. Il émet des branches latérales qui pénètrent dans les

cellules en traversant la paroi cellulosique. C'est le résultat de cette hyper-ramification, qui ressemble à un petit arbre (arbuscule), qui donne son nom à cette forme de symbiose mycorhizienne (Garbaye, 2013).

Quant aux hyphes de type *Paris* observé, le plus fréquent dans la nature, le filament mycélien ne chemine pas entre les cellules : il passe de l'une à l'autre en traversant les parois et s'enroule sur lui-même en faisant plusieurs spires à l'intérieur de chaque cellule, ces enroulements peuvent donner des arbuscules ((Smith et Read, 1997). Ce résultat confirmant ainsi les résultats de Garbaye (2013) et Mechiah (2015).

Les différents types d'hyphes observées appartiennent aux Gloméromycètes et au genre *Gigaspora* et *Scutellospora* ; les mêmes observations ont été faites par Mechiah (2015), malgré la différence dans la période d'échantillonnage (avril pour Mechiah, 2015 et octobre pour nous).

Figure 19 : observation d'arbuscules de type *Paris* (x 400).

Figure 20 : observation d'arbuscules de type *Arum* (x 400).

1.3. Vésicules

Les vésicules observées sont toutes colorées en bleu, de forme arrondies et irrégulières peu épaisses pour celles qui sont observées au niveau intraradriculaire; de forme sphériques et plus épaisses pour celles observées au niveau intracellulaire (Figure 21).

Nous savons que, les vésicules se forment seulement chez les genres appartenant aux Acaulosporaceae, Glomeraceae et Pacisporaceae (Zubek et *al.*, 2008). La formation des vésicules par les complexes fongiques indigènes s'effectue une semaine après la formation des arbuscules (Brundrett et *al.*, 1999).

Figure 21 : observations de vésicules (x 400).

1.4. Spores

Nous avons observé des spores intraracinaires dans quelques radicelles des sujets échantillonnés. La majorité des spores observées ont une grande taille. Elles sont globulaires ou sphériques, colorées en bleu foncé tendant vers le noir.

La spore sert d'organe de stockage et de propagation des champignons mycorhiziens à arbuscules. Certaines de nos spores sont reliées aux hyphes du mycélium sporogène ou suspenseur (Schenk et Perez, 1990 ; Souza *et al.*, 2005).

Certains champignons produisent des spores regroupées en amas (d'environ 0,5 mm de diamètre) et entourées par des structures mycéliennes ou des membranes, appelées sporocarpes (Krishna, 2005). Comparativement aux spores des autres champignons, qui ont un diamètre généralement compris entre 5 et 20 μm , celles des champignons mycorhiziens à arbuscules sont beaucoup plus larges, et peuvent atteindre des dimensions imposantes allant jusqu'à 500 μm . Ces spores ont la caractéristique de contenir des centaines et même des milliers de noyaux et des quantités élevées de réserves de lipides et d'hydrate de carbone (Smith & Read, 2008). Elles possèdent également des parois ou enveloppes extrêmement épaisses de 2 à 35 μm qui les protègent contre les stress environnementaux, leur conférant ainsi une longévité importante (Fortin *et al.*, 2008). Les spores représentent la meilleure source d'inoculum et les seules structures qui permettent l'identification morphologique des

espèces de CMA. Par conséquent, elles sont d'une importance capitale dans l'isolement de ces espèces, la détermination de leur distribution dans le sol et leur utilisation à des fins d'identification.

Figure 22 : observation de spores (x 400).

1.5. Poils absorbants

Nous avons observé également quelques poils absorbants ou poils radiculaires au niveau de nos racelles (Figure 23). L'absence de poils absorbants chez les sujets 2, 3 et 4 peut être due à l'âge de ces sujets, alors que chez les jeunes racines (sujet 1) les poils absorbants représentent le lieu principal d'absorption d'eau et de sels minéraux grâce à leur surface de contact. Leur paroi cellulaire étant très fine et perméable, l'eau et les substances contenues dans le sol peuvent pénétrer dans la vacuole, donc ils augmentent la surface d'échange

racinaire par exemple, dans le sable, les poils absorbants sont longs et disposés perpendiculairement à la racine, prospectant ainsi un volume de sol plus important que dans les limons ou argiles (Callot et *al.*, 1982).

Figure 23 : observation de poils absorbants (x 400).

2. Symbiose mycoendophytique

Le tableau 4 ci-dessous nous montre les proportions dans les quelles les mycoendophytes ont été observé dans nos écrasements de radicelles de pistachier de l'Atlas.

Tableau 4 : résultats de nos observations microscopiques concernant les mycoendophytes racinaires du pistachier de l'Atlas de la daya de Timzerth.

	Hyphes septées	Microsclérotés
Sujet 1	+++	+
Sujet 2	+++	++
Sujet 3	+	+
Sujet 4	+	+

0 : absence / + : peu abondant / ++ : abondant / +++ : très abondant

► Sujet 1 : nous remarquons un pourcentage très élevé en hyphes septées et un pourcentage peu élevé en microsclérotés.

- ▶ Sujet 2 : nous observons également un pourcentage très élevé en hyphes septées et un pourcentage abondant en microscélérotés.
- ▶ Sujet 3 : nous avons un pourcentage peu abondant en hyphes septées et en microscélérotés.
- ▶ Sujet 4 : nous avons à peu près les mêmes résultats que pour le sujet 3 c'est-à-dire un pourcentage peu abondant en hyphes septées et en microscélérotés.

Nous avons constaté de nos observations de radicelles du pistachier de l'Atlas colorées par le bleu Trypan, qu'elles étaient colonisées aussi par des endophytes pigmentés en bleu et en marron.

Ainsi les mycoendophytes observés colorés en bleu foncé par le bleu Trypan sont essentiellement des hyphes à l'intérieur du cylindre central (Figure 24); alors que ceux colorés en marron sont intra (Figure 25) et extraradiculaires, dont certaines sont très longues. Les microscélérotés observées sont intracellulaires (Figure 26). Les hyphes sont enchevêtrées et cloisonnées.

Les endophytes peuvent former des associations à partir d'une colonisation inter et intracellulaire des tissus de la plante hôte (Orlandelli et *al.*, 2012) ; c'est ainsi que nous avons observé des endophytes dans le cylindre central et en dehors.

Nous avons remarqué lors de nos observations microscopiques dans les radicelles une coloration en bleu du cylindre central. Cette coloration reflète la présence des champignons mycoendophytes au niveau des tissus conducteurs et leur transmission de la partie racinaire à la partie aérienne. Ces résultats confirment ceux obtenus par Redjdal (2010) et Mechiah (2015) qui ont suggéré la présence d'endophytes dans les tissus conducteurs (xylème) du pistachier de l'Atlas, mais aussi d'espèces fongiques tels que : *Epicoccum nigrum* et *Alternaria alternata*. Ferhani (2015) et Mechiah (2015), ont aussi remarqué la présence d'autres genres de mycoendophytes dans les racines de cette espèce, tels que *Penicillium* et *Aspergillus*.

Les champignons endophytes foncés septés (DSE) ont été observés sur la quasi-totalité des radicelles des sujets échantillonnés, et cela en très grande quantité. Nos résultats sont similaires à ceux de Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009), Raab (2010), Redjdal (2010) et Mechiah (2015) qui ont travaillé au sein du laboratoire Ressources Naturelles de

l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, sur les racines des individus de la même espèce dans différentes régions d'Algérie.

Figure 24 : observation d'hyphes mycoendophytiques colorées en bleu à l'intérieur du cylindre central (x 400).

Figure 25: observation d'hyphes mycoendophytiques intraradiculaires colorées en marron (x 400).

Figure 26 : observation de microsclérotés en marron (x 400).

3. Discussion générale

Nous enregistrons au niveau de nos observations microscopiques de radicelles du pistachier de l'Atlas de Timzerth récoltées au mois d'octobre une double association : endomycorhizienne et mycoendophytique.

Les tableaux 3 et 4 nous donne la proportion et le degré symbiotique en mycorhizes arbusculaires et mycoendophytiques de nos différents sujets. Nous avons donc remarqué une forte mycorhization endomycorhizienne, surtout des arbuscules au niveau de la majorité de nos sujets ; et une forte symbiose mycoendophytique au niveau des sujets 1 et 2.

Nous remarquons au niveau du tableau 4 la présence de microsclérotés organe de réserve des endophytes dans la majorité de nos radicelles de pistachiers de l'Atlas échantillonnées pour assurer sûrement la survie des endophytes. Idem pour les grosses spores au niveau du tableau qui sont également en grande quantité dans nos sujets qui assureraient celle des CMA.

Le bon état de santé général de nos sujets de pistachier de l'Atlas de cette daya explique et confirme l'effet bénéfique incontestable de cette double association sur la croissance et l'adaptation des végétaux de cette région aux conditions climatiques et édaphiques critiques.

La présence des DSE avec les CMA est commune dans les racines des plantes dans la nature (Muthukumar et *al.*, 2006, Santos-Gonzalez et *al.*, 2007, Mandyam et Jumpponen, 2008, Khidir et *al.*, 2010).

Ces résultats montrent à quel point le pistachier de l'Atlas est dépendant des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) et endophytiques, qui lui procurent une

nutrition minérale (surtout le phosphore qui est peu mobile) et hydrique pour son développement dans les zones arides.

Le pistachier de l'Atlas s'est montré très mycotrophe, notamment les sujets 1 et 2 qui montrent plus d'arbuscules que les sujets 3 et 4. Ceci peut être dû à la présence à côté d'autres racines provenant d'autres plantes encore plus mycotrophe qui influent sur la flore microbienne (champignon, bactéries,..) : le jujubier. D'après Baize et Jabiol (1995), les racines les plus fines de diamètre [0.5-1]mm sont considérées comme les plus jeunes et rapidement renouvelées ; elles sont non subérisées, responsables de l'absorption de l'eau et éléments nutritifs. Comme elles permettent de juger la qualité de contact sol / racines, ces racines sont généralement mycorhizées et en symbioses endophytiques. Dans le cas des pistachiers de l'Atlas de la population de Timzerth, nous constatons la persistance des mycorhizes et des endophytes dans les racines qui présentent des formations secondaires. Ceci peut aussi s'expliquer par l'âge, en effet les sujets 1 et 2 sont plus jeunes que les sujets 3 et 4 donc sont plus mycotrophes.

L'impact de ces deux symbioses des racines est d'autant plus important, que l'étude climatique et l'analyse des propriétés physico-chimiques des sols confirment que le pistachier de l'Atlas subit plusieurs contraintes d'origine abiotique liées à la fois au manque d'eau dans cette région aride au pH du sol aux teneurs en calcaire total élevées et en matières organiques basses.

La présence des mycorhizes et des endophytes s'avère donc nécessaire au niveau de cette *daya*. En effet, l'effet bénéfique de la mycorhization s'explique par une amélioration de la nutrition phosphatée de la plante hôte (Raab, 2010). Selon Plenchette (2005), l'excrétion d'acide oxalique par les hyphes fongiques pourrait être le moteur principal de la solubilisation des phosphates calciques. Cela se traduit par la libération de l'Orthophosphate assimilable par les racines.

Les mycorhizes permettent ainsi à plusieurs essences de survivre dans des milieux riches en calcaire (Lapeyrie, 1990). Dans les régions arides, les mycorhizes diminuent la distance de diffusion des ions phosphatés et augmentent le volume de sol exploré (Babana, 2003).

Nous savons que les symbioses mycorhiziennes et endophytiques jouent un rôle majeur dans la nutrition minérale des plantes dans la plupart des écosystèmes et particulièrement dans les zones arides. Distribué de façon hétérogène, et souvent présent en faible quantité dans les

sols, le phosphore est un des éléments nutritifs les plus importants pour la croissance des plantes car il intervient dans de nombreux processus métaboliques : biosynthèse des acides nucléiques et des membranes, photosynthèse, respiration et régulation des enzymes. C'est aussi l'élément dont la concentration dans la plante est la plus fortement augmentée par la symbiose endomycorhizienne (Bolan, 1991 ; Smith et Read, 1997). Cependant, généralement, l'intensité de la colonisation racinaire par les champignons symbiotiques est réduite quand le niveau de phosphore augmente dans le sol et devient ainsi directement disponible pour la plante (Dickson et *al.*, 1999).

Les effets bénéfiques des symbioses racinaires sont assurés par la phase intraracinaire du champignon et par la présence d'hyphes extra-racinaires de faible diamètre, se ramifiant dans le sol et jouant un rôle essentiel dans l'acquisition du phosphore. Elles évoluent à grande distance et atteignent des zones non accessibles aux racines (Jakobsen, 1995 ; Bago et *al.*, 1998) augmentant ainsi les surfaces d'échange entre la plante et son environnement. Les hyphes ont aussi la possibilité d'acquérir d'autres minéraux comme l'azote, le soufre, le calcium, le magnésium, le potassium, le zinc et le cuivre mais les informations dont on dispose sont plus limitées à ce sujet.

Les champignons mycorhizogènes à arbuscules (CMA) forment une association mutualiste avec la plupart des plantes terrestres. Sur une racine, nous avons remarqué que l'infection n'apparaît pas de la même manière sur toute la longueur. Les CMA et les DSE favorisent la croissance et la résistance à de nombreux stress biotiques et abiotiques des plantes. Leurs utilisations en agriculture permettent de limiter l'apport d'intrants chimiques. Pour gérer leur population, il faut connaître leur abondance dans le sol et donc évaluer le potentiel mycorhizogène du sol. Nos résultats sont basés sur la détermination de la présence ou de l'absence de mycorhization et de symbiose endophytique, et leur pouvoir de colonisation dans nos écrasements de radicelles du pistachier de l'Atlas.

En milieu naturel, la plupart des espèces ont des endomycorhizes dans la majorité des habitats et il est impossible de trouver des individus non colonisés. Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules permettent l'obtention d'éléments insuffisants ou peu mobiles dans le sol comme le phosphore, le zinc et le cuivre (Strullu, 1991; Harrison, 1999). L'efficacité des systèmes racinaires mycorhizés est due principalement à une extension de la surface d'absorption et du volume du sol prospecté grâce aux hyphes fongiques. Plenchette (1982) a démontré que la zone d'épuisement des sels minéraux par les poils absorbants est limitée à quelques

millimètres autour des racines, alors que la zone d'exploration par la mycorhize peut s'étendre jusqu'à 10 cm.

Les hyphes extra-radiculaires minces des champignons pénètrent dans le sol sur une large région et peuvent l'exploiter plus efficacement que les racines des plantes (Bothe *et al.*, 1994). Ces champignons MA augmentent aussi la résistance des plantes au stress hydrique par un signal déclenché qui peut assurer une fermeture plus rapide des stomates, qui prévient une flétrissure irréversible (Davies *et al.*, 1992 ; Subramanian et Charest, 1997). Les champignons MA améliorent la croissance des plantes ce qui se traduit d'une manière générale par une augmentation de la biomasse végétale produite. Cette stimulation de la croissance peut aussi se traduire par une floraison et une fructification plus précoces et plus abondantes (Wang *et al.*, 1993).

Certaines souches de champignons MA peuvent même intervenir dans la réduction des effets toxique causés par les métaux lourds tels que le Cd, le Mn, le Ni, le Pb, le Cu, le Zn, etc. et permettent la réduction de l'absorption de ces métaux par les plantes (Leyval *et al.*, 1997 ; Joner et Leyval, 2001 ; Weissenhorm *et al.*, 1995 ; Killham et Firstone, 1986).

Conclusion générale

Le pistachier de l'Atlas a montré une tolérance vis-à-vis des facteurs écologiques sévères (indifférent au type de sol, large gamme altitudinale, système racinaire vigoureux, résistante aux maladies, longévité importante) et reste parfaitement adapté à la survie en conditions difficiles.

Notre travail a pour objectif une approche des symbioses racinaires du pistachier de l'Atlas de la daya de Timzerth, wilaya de Laghouat (Algérie).

Notre échantillonnage a été effectué par Mme Boubrima au niveau de quatre arbres différents. Nous avons coloré au niveau du laboratoire des segments de racelles de ces arbres au bleu Trypan grâce à la technique de coloration de Phillips et Hayman (1970), dans le but de mettre en évidence la présence de différentes structures fongiques de champignons endomycorhiziens et mycoendophytiques présentes au niveau des tissus racinaires de cette espèce.

Nos observations au microscope des écrasements des racelles de la majorité des sujets du pistachier de l'Atlas colorés au bleu Trypan ont révélé la présence, sur la plupart des parties des segments différentes structures mycorhiziennes qui sont les hyphes intra et extraracinaires, les arbuscules, les vésicules, les spores intra et extraracinaires et différentes structures mycoendophytiques, qui sont les hyphes foncées et septées (DSE) et les microsclérotés.

Nous pouvons déduire que notre travail sur les racelles de pistachier de l'Atlas de Timzerth a montré la présence d'activité biologique de nature fongique, car sachant l'aridité qui caractérise cette zone, la présence des champignons endomycorhiziens et mycoendophytiques témoignerait d'une activité microbiologique à ne pas négliger. Les sols sous pistachier de l'Atlas sont une source de champignons endomycorhizogènes qui peuvent être isolés et utilisés dans la restauration des écosystèmes arides.

Le pistachier de l'Atlas constitue une excellente barrière contre l'avancée du désert. Sa réhabilitation et sa conservation sont donc nécessaires pour contribuer au développement durable des zones arides.

En perspective de ce travail, il serait souhaitable de réaliser une étude pédoclimatique des différentes populations du pistachier de l'Atlas présentes en Algérie pour mieux comprendre sa variabilité et son adaptabilité aux zones arides.

Références bibliographiques

Abed K., 2006. Approche anatomique des radicelles de *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* : cas de la population de Ain Oussara (wilaya de Djelfa). Mémoire de DES de biologie, Département de Biologie, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. U.M.M.T.O, 67 p.

Adi S., 2014. Caractérisation de propriétés chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas : cas de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, UMMTO.

Ait Slimane L, 2004. Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*pistacia atlantica* Desf.) à la sécheresse : cas de la population de Beni Ounif (wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur en Agronomie, département des sciences Agronomiques, faculté des sciences Biologiques et Agronomiques de l'U.M.M.T.O, 170 p.

Amroun R., 2013. Caractérisation de propriétés physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas dans la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur, Département des Sciences Agronomiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

Ait Zegagh-Benamara N., 2006. Approche anatomique du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Béni Ounif (wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. U.M.M.T.O, 102 p.

Allen M.F., Swenson W., Querejeta J.I., Egerton-Warburton L.M., Reseder K.K., 2003. Ecology of mycorrhiza : a conceptual framework for complex interactions among plants and fungi. Ann. Rev. Phytopathol, 41 : 271-303.

Amarache C., Chelli O., 2008. Contribution à la recherche de symbioses mycorrhiziennes Mémoire d'ingénieur en Ecologie. Département des sciences Biologiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. U.M.M.T.O, 78 p.

Arnold. A.E., Maynard. Z.. et Gilbert. G.S.. 2001. Fungal endophytes in dicotyledonous neotropical trees : patterns of abundance and diversity. Mycol. Res, 105 (12) : 1502-1507.

Arnold A. E., Herre E. A., 2003. Canopy cover and leaf age affect colonization by tropical fungal endophytes: ecological pattern and process in *Theobroma cacao* (Malvaceae). Mycologia, 95 (3): 388-398.

Azevedo J. L., Maccheroni JR. W., Pereira J. O., DE Araujo W. L., 2000. Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. *Electronic Journal of Biotechnology*, 3 (1): 40-65.

Bago B., Azcon-Aguilar C., Goulet A., Piche Y., 1998. Branched absorbing structures (BAS) : a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. — *New Phytologist*, 139. 375-388.

Bagnouls F., Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xérothennique. *Buil Hist.. Nat.. Toulouse*, 88 : 143-239.

Belhadj. S., 2007. Etude éco-botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) en Algérie, préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et à sa valorisation. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, option : écologie végétale, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 77 p.

Belhadj S., Derridj A., Aigouy T., Gers C. Gauquelin T., Mevy A.P., 2007. Comparative Morphology of Leaf Epidermis in Eiglir Populations of Atlas Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf. Anacardiaceae). *Microscopy Research And Technique*. 70 : 837-846.

Benaradj A., Boucherit H., Bouazza M., Hasnaoui O., 2015. Ethnobotanique du pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica*) auprès la population de Béchar (Algérie occidentale). *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 2(1), 139-146.

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

Bolan N.S., 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi on the uptake of phosphorus by plant. *Plant Soil*, 134 : 189-207.

Boudy P. 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. Ed. La Maison Rustique, 505 p.

Boubrima A., 2014. Diversité architecturale du système racinaire du pistachier de l'Atlas en fonction du sol sous-jacent dans deux dayas de la région de Laghouat (Algérie) : dayate Saadi, Hassi Delâa et dayate Aïat, Timzerth. Mémoire de Magister en Ecologie Végétale, option : Dynamique des Ecosystèmes et Environnement. Université Amar Telidji Laghouat. 270 p.

- Boullard B., 1968.** Les mycorrhizes. Masson et Cie, Editeurs, Paris, 135 p.
- Brown P.H., Zhang Q., Fergusson L., 1994.** Influence of rootstock on nutrient. Acquisition by Pistachio. Journal of plant nutrition, 17 : 1137-1148.
- Brundrett M.C., 2004.** Diversity and classification of mycorrhizal associations. Biol. Rev., 79 : 473-495.
- Brundrett M., Bougher N., Dell B., Grove T., Malajczuk N., 1996.** Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture.
- Brundrett M.C., Abott L.K., Jasper D.A., 1999.** Glomalean fungi from tropical Australia. I. comparison of the effectiveness of isolation procedures. Mycorrhiza, 8 : 305-314.
- Camefort H., 1996** – Morphologie des végétaux vasculaires : cytologie, anatomie, adaptation. 2^{ème} Edition Doin, Paris, 432 p.
- Carroll G.C., 1986.** The biology of endophytism in plants with particular reference to woody perennials. Microbiology of the phyllosphere. Cambridge University Press.
- Chaba B., Chraa O. et Khichene M., 1991.** Germination, morphogénèse racinaire et rythmes de croissance du pistachier de l'Atlas. In physiologie des arbres et arbustes en zone arides et semi- arides, groupe d'étude de l'arbre : 465-472.
- Chebieb N., 2008.** Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Tirlhemt (Wilaya de Laghouat). Mémoire Ingénieur agronome. Département des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 118 p.
- Dalpe Y., 1997.** Biodiversité des champignons mycorrhiziens. Centre de recherches de l'Est sur les céréales et les oléagineux (CRECO), Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 13 p.
- Dalpe Y., Cranenbrouck 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.
- Deckert R. J., 2000.** Structural and ecological aspects of the relationship of phyllosphere fungi with their host, *Pinus strobus* L. Thèse PhD, University of Guelph (Canada), 172 p.

Deguiche M., 2008- Caractérisation des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : cas de la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agro, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 88 p.

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

Ducreux G., 2002 - Introduction à la Botanique. Edition Belin, Paris, 255 p.

Dickson, S. 2004. The Arum-Paris continuum of mycorrhizal symbioses. New Phytologist, 163: 187-200.

Dickson S., Smith S.E., Smith F.A., 1999. Characterization of two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Allium porum* : colonization, plant growth and phosphate uptake. New Phytologist, 144 :163-172.

Dickson S., Smith F.A., Smith S.E., 2007. Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses : more than 100 years after Gallaud, Where next ?, Mycorrhiza, 17 : 375-393.

Dodd J.C., Boddington C. L., Rodriguez A., Gonzalez-Chavez C., Mansur L., 2000. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from different genera : form, function and detection. Plant Soil, 222 : 131-151.

Ferhani O., 2015. Contribution à l'étude des symbioses racinaires du pistachier de l'Atlas : cas de la région de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d'Ingénieur d'Etat en sciences Agronomiques, spécialité : Science du sol, U.M.M.T.O.

Fortin J.A., Plenchette C., Piché Y., 2008. Les mycorhizes: La nouvelle révolution verte. Multi Mondes. Québec, Canada.

Founoune H., 2001. La symbiose ectomycorhizienne des acacias australiens en Afrique de l'Ouest : impact sur le développement de la plante hôte et sur le biofonctionnement du sol. Thèse de Doctorat. Université Moulay Ismael, Maroc, 186 p.

Frank A.B., 1877. Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustenflechten. Beiträge zur Biologie der Pflanzen, 2 : 123-200.

Garbaje J., 2013. La symbiose mycorhizienne. Une association entre les plantes et les champignons. Edition Quae. ISSN. 1777-4624.

Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2003. Le sol vivant. 2nd Edition, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne, 568 p.

Harrison M.J., 1999. Interfaces and nutrient transport in plant / fungal symbioses. *Journal of Experimental Botany, Special Issues* 50: 1013-1022.

Hadj Benamane D., Ould Amrouche S., 2009. Contribution à la recherche de la microflore endophyte et mycorhizienne du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*. Desf. ssp. *atlantica*) population de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt). Mémoire d'ingénieur en Sciences Agronomiques, spécialité Foresterie, UMMTO.

Horton, T.R., Cazares, E., Bruns, T.D., 1998. Ectomycorrhizal, vesicular ± arbuscular, and dark septate fungal colonization of bishop pine (*Pinus muricata*) seedlings in the first five months of growth after wildfire. *Mycorrhiza*, 8: 11-18.

Jakobsen J., 1995. Transport of Phosphorus and Carbon in VA mycorrhizas. In : *Mycorrhiza : Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology* / A. Varma, B. Hock Eds. — Berlin : Springer-Verlag, 305-332.

Janos D. P., 1987. Mycorrhiza applications in tropical forestry: are temperate zone approaches appropriate ? in : *Trees and Mycorrhiza. Proceedings of the Asian Seminar*, Kuala Lumpur, 13-17April1987, Ed.F.S.P.Ng: 133-188.

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

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

Kebei S., 2008. Approche de l'architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) cas de la daya de Telrhemt. Mémoire, d'ing. Agro. UMMTO.

Khidir, 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 semiarid grassland. *Journal of Arid Environments*, 74 : 35-42.

Krishna Kr., 2005. Mycorrhizas : A molecular analysis. Science publisher, Inc.

Lagha L., 1993. Contribution à l'étude de la biologie de la reproduction chez l'espèce *Pistacia atlantica*.th. Ing. INA, Alger, 96 p.

Le Houérou H.N., 1995. Bioclimat et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options Méditerranéennes, SERIE B, 396 p.

Le Tacon F., 1985. Les mycorrhizes une coopération entre plantes et champignons. La recherche, 166 : 624 – 632.

Le Tacon F., Garbaye J., Carr G., 1987. The use of mycorrhizas in tropical forests in : Trees and mycorrhiza. Proceedings of the Asian Seminar, 13-17 April 1987, Kuala Lumpur, Ed. F. S. NGP. : 15-32.

Li S., Ouyang Y.L., Dong W., Pestka J.J., 1997. Superinduction of IL-2 gene expression by vomitoxin (deoxynivalenol) involves increased mRNA stability, *Toxicol Appl Pharmacol.*, 147 (2), 331-42.

Li A.R., and Guan K.Y., 2007. Mycorrhizal and dark septate endophyte fungi of *Pediculatis* species from northwest of Yunnan Province, China. *Mycorrhiza*, 17 : 103-109.

Limane A., 2009. Architecture racinaire du pistachier de l'Atlas en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol sous jacent : cas de la population de la réserve nationale d'El-Mergueb (wilaya de M'sila), Algérie. Mémoire de Magister en Biologie et Ecologie des populations et des communautés, option : Ecologie des populations et des peuplements. U.M.M.T.O, 157 p.

Limane, A., Smail-Saadoun, N., Belkebir-Boukais, A., Kissoum-Hamdini, K., 2014. Root architecture adaptation of *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* according to an increasing climatic and edaphic gradient: case of a north-south transect in Algeria. *Turk. J. Bot.*, 38: 536-549.

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

Lucero 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.

Lüttge U., Klüge M., Bauer G., 1992 – Botanique : traité fondamental. Paris Ed. Lavoisier, 574 p.

Malinowski D.P., Belesky D.P., 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses : mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science*, 40 : 923-940.

Mandyam K., Jumpponen A., 2005. Seeking The elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology*, 53 : 173-189.

Mandyam K., Jumpponen A., 2008. Seasonal and temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi in a tallgrass prairie ecosystem are minimally affected by nitrogen enrichment. *Mycorrhiza*, 18 : 145-155.

Mechiah F., 2015. Approche des symbioses racinaires du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *atlantica*) de dayate El Gouffa (Laghouat, Algerie). Thèse de Magister, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, U.M.M.T.O.

Mellah H., 2007. Approche anatomique des radicelles du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *atlantica*) : cas de la population de Oued Besbès (wilaya de Médéa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, U.M.M.T.O, 86 p.

Meyer S., Reeb C., Bosdeveix R., 2004. Botanique, Biologie et physiologie végétale. Ed Maloine, 461 p.

Monjauze A., 1968. Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie. *Bull. Soc. His. Nat. Afr. du Nord*, 56, 128 p.

Monjauze A., 1980-Connaissance du bétoum (*Pistacia atlantica* Desf.). Biologie et forêt, 4 : 356-363.

Monjauze A., 1982. Le pays des dayas et *Pistacia atlantica* Desf. dans le Sahara Algérien. Rev. For. Fran., 4 : 277 p.

Muthukumar T., Senthilkumar M., Rajangam M., Udaiyan K., 2006. Arbuscular mycorrhizal morphology and dark septate fungal associations in medicinal and aromatic plants of Western Ghats, Southern India. Mycorrhiza, 17 : 11-24.

NELSON C. E., 1987. The water relations of vesicular arbuscular mycorrhizal systems in Safir G. R., ed : Ecophysiology of VA Mycorrhizal *Plants*. Boca Raton. CRC Press: 71-92.

O'Dell T.E., Massicotte, H.B., et Trappe. J.M., 1993. Root colonization of *Lupinus latifolius* Agardh. and *Pinus contorta* Dougl. by *Phialocephala fortinii*. New Phytol., 124 : 93-100.

Orlandelli, R.C., Alberto, R.N., Rubin Filho. C.J. Pamphile, J.A., 2012. Diversity of endophytic fungal community associated with *Piper hispidum* (*Piperaceae*) leaves. Genetics Molecular. Research, 11 (2) : 1575-1585.

Ozenda P., 2000 - Les végétaux : Organisation, diversité biologique .Ed.D.U.N.O.D. 516p.

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

Petrini O., 1991. Fungal endophytes of tree leaves. In : Microbial Ecology of Leaves (eds. L.A. Andrews and S.S. Hirano). Springer- Verlag, New York : 179-197.

Peyronel B., Fassi B., Fontana A., Trappe J.M., 1969 – Terminology of mycorrhizae. Rev. Mycologia, 61 : 410-411.

Phillips J. M., Hayman D.S., 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc., 55 : 158-161.

Pirtrillä A. M., 2001. Endophytes in the buds of scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Thèse Doctorat en Sciences, Department of Biology and Biochemistry, University of Oulu (Finlande).

Plenchette C., 1982. Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VA). Un potentiel à exploiter en agriculture. *Phytoprotection*, 63: 86-108

Plenchette C., 2005. Mycorhizes et nutrition phosphatée des plantes. Journées Techniques Fruits et Légumes et Viticulture Biologiques, Beaune : 103-109.

Quézel P., Médail F., 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen .Ed. Elsevier, 572p.

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, U.M.M.T.O.

Raven O., Evert R., Eichhorn S., 2000. Biologie végétale. Ed : De Boeck, Paris.

Redjdal 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, U.M.M.T.O.

Rhodes L.H., Gerdermann J.W., 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal et non-mycorrhizal onions. *New phytologist*, 75 : 555-561.

Rodriguez R. J., Redman R. S., Henson J. M., 2004a. The role of fungal symbiosis in the adaptation of plants to high stress environments. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 9: 261-272.

Rudgers J. A., Mattingly W. B., Koslow J. M. 2005. Mutualistic fungus promotes plant invasion into diverse communities. *Oecologia* 144: 463-471.

Santos-Gonzalez J., Finlay R., Teher A., 2007. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal communities in roots in a seminatural grassland. *Applied and Environmental Microbiology*, 73 : 5613-5623.

Schulz B., Boyle C., 2005. *The endophytic continuum.* Technical University of Braunschweig, Spilmannstr, Germany, 64 p.

Seigue A., 1985. *La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes.* Ed. Maisonneuve et Larousse, 502 p.

Sieber T. N., 2002. Fungal root endophytes. In Waisel Y., Eshel A. et Kafkafi U. (eds.) *Plant Roots: the hidden half.* Marcel Dekkert Inc : 887-917.

Sieber T. N., Sieber-Canavesi F., Petrini O., Ekramoddoullah A. K. M. et Dorworth C. E., 1991. Characterization of Canadian and European *Melanconium* from Amus species by morphological, cultural, and biochemical studies. *Canadian Journal of Botany* 69: 2170-2176.

Silvani V.A., Fracchia S., Fernández L., Pégola M., Godeas A., 2008. A simple method to obtain endophytic microorganisms from field- collected roots. *Soil Biol. Biochem.*, 40 : 1259-1263.

Smith S.E., Read D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis,* Ed. Academic Press, San Diego, CA, USA,.605 p.

Smith SE, Read DJ. 2008. *Mycorrhizal symbiosis.* Third edition, Academic press.

Smith S. & Read J., 2008. *Mycorrhizal symbiosis.* Ed. Hardcover, 800 p.

Smith FA, Grace EJ, Smith SE. 2009. More than a carbon economy: nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses. *The New phytologist* 182: 347–58.

Strobel G. A., Miller R. V., Martinez-Miller C., Condrón M. M., Teplow D. B. Hess W. M., 1999. Cryptocandin, a potent antimycotic from the endophytic fungus *Cryptosporiopsis* f. *quercina*. *Microbiology* 145: 1919-1956.

Strullu D.G., 1991 – *Les mycorhizes des arbres et plantes cultivés.* Ed. Lavoisier, Paris, 250 p.

Suryanarayanan, T.S., Wittlinger, S.K., Faeth, S.H., 2005. Endophytic fungi associated with cacti in Arizona. *Mycol. Res.*, 109 : 635-639.

Tan R. X., Zou W. X., 2001. Endophytes: a rich source of functional metabolites. Nat. Prod. Rep., 18 : 448-459.

Torrey J., 1992. Can plant productivity be increased by inoculation of tree roots with soil microorganisms ? Can. J. For. Res., 22 : 1815-1823.

Vitorino¹ L. C., Silva F.G., Soares M.A., Souchie E.L., Lima W.C., 2012. The isolation and characterization of endophytic microorganisms from *Hyptis marrubioides* Epling roots. African journal of Biotechnology, 11(64) : 12766-12772.

Wilson R., 1997. Endophytic fungi from four tree species in New Brunswick and a comparison of two methods of identification of *Leptostroma* isolates of *Pinus resinosa*: morphology and molecular probing. Thèse Philosophia Doctor (PhD.). University of New Brunswick (Canada), 131 p.

Wilson B.J., Addy H.D., Tsuneda A., Hambleton S., Currah R.S., 2004. *Phialocephala sphaeroides* sp. nov., a new species among the dark septate endophytes from boreal wetland in Canada. Can. J. Bot., 82 : 607-617.

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 niébé (*vigna unguiculata* (L.) Walp. Dans différentes zones climatiques du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural, Université Burkina Faso.

Yazag S., 2013. Contribution à l'étude de symbioses mycorrhiziennes chez le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : cas de la population de dayate Saad. Hassi Delaâ (wilaya de Laghouat). Mémoire de Master en Science Biologiques. Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques .U.M.M.T.O.

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.