

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



# Mémoire de fin d'études

**En vue de l'obtention du diplôme de Master 2**  
**En Ecologie et Environnement**  
**Spécialité : Biodiversité et Écologie Végétale**

## Thème

**Contribution à l'étude des symbioses mycorhiziennes du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : cas de la population de dayate Saadi Hassi-Delâa (wilaya de Laghouat, Algérie).**

**Soutenu le :21/09/2018.**

**Réalisé par : M<sup>elle</sup> Amari Kassia**  
**M<sup>elle</sup> Belkadi Thinhinane**

**Soutenu :devant le jury**

**Président : M. Limane A.**  
**Promotrice : M<sup>me</sup> Smail Saadoun N.**  
**Co-promotrice:M<sup>elle</sup> Mechiah F.**  
**Examinatrice : M<sup>elle</sup> Zareb A.**

**Promotion:2018/2019**

# *Remerciements*

*Je remercie le bon Dieu de m'avoir donné assez de force et de courage pour mener à terme ce modeste travail.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à :*

*Ma promotrice Mme SMAIL-SAADOUN N., Professeur à l'UMMTO pour m'avoir encadré.*

*Je remercie également Melle MECHIAHF. pour son soutien et le partage du savoir et des informations, mais aussi pour son aide, ses conseils et ses recommandations. Merci d'avoir pris le temps de corriger ce travail.*

*Je remercie Mr LIMANE A. et Melle ZAREB A. pour avoir accepté d'examiner le travail.*

*Je remercie aussi Mme SEKHI-REZKI L. ingénieur du laboratoire Ressources Naturelles pour son aide et sa gentillesse.*

*Et à toute personne qui m'a aidée de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont donné un sens à mon existence, en m'offrant une éducation digne de confiance, ceux qui ont attendu avec patience les fruits de leur bonne éducation à mes très chers parents : Ali et Taous.*

- ✚ A mes chères sœurs : Dyhia, Imane ;*
- ✚ A mes chers frères : Rachid, Massi Nissa;*
- ✚ A mes cousines : Nacera, Sabrina ;*
- ✚ A ma chère amie ma binôme KASSIA*
- ✚ A tous ce qui m'aiment et qui sont les plus chères pour moi.*

*BELKADI Thinhinane*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont donné un sens à mon existence, en m'offrant une éducation digne de confiance, ceux qui ont attendu avec patience les fruits de leur bonne éducation à mes très chers parents : ALI et LILLA.*

-  *A mes chers frères : Ghilas ; Anis ; Oussama ;*
-  *A mes cousins et cousines ;*
-  *A tous ma binôme : THINHINANE ;*
-  *A tous ce qui m'aiment et qui sont les plus chères pour moi.*

*AMARI KASSIA*

# Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur les mycorhizes .....	4
1. Introduction .....	5
2. Différentes symbioses mycorhiziennes .....	5
2.1. Ectomycorhizes .....	6
2.2 Ecto-endomycorhizes .....	7
2.2.Endomycorhize .....	7
3. Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA).....	7
3.1. Cycles de vie.....	8
3.2.Structure.....	10
3.3.Influence des facteurs écologiques sur les CMA.....	11
3.4. Taxonomie actuelle.....	11
3.5.Rôle des CMA dans les écosystèmes .....	12
3.6.Outils pour l'étude de la diversité des CMA .....	13
Chapitre 2 : Présentation de l'essence étudiée <i>Pistacia atlantica</i> Desf .....	15
1. Introduction .....	16
2. Caractéristiques botaniques de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.....	16
3. Propriétés et utilisation des différentes parties de notre plante .....	18
3.1. Utilisation comme fourrage.....	18
3.2. Utilisation du bois .....	18
3.3.Utilisation des feuilles .....	18
3.4.Utilisation des fruits et des graines.....	18
3.5. Utilisation de la résine .....	19
4. Les caractéristiques écologiques du pistachier de l'Atlas.....	19
4.1. Exigences climatiques .....	19
4.2. Exigences édaphiques .....	20
Chapitre 3 : Matériels et méthodes.....	26
1. Description de la zone d'étude.....	27

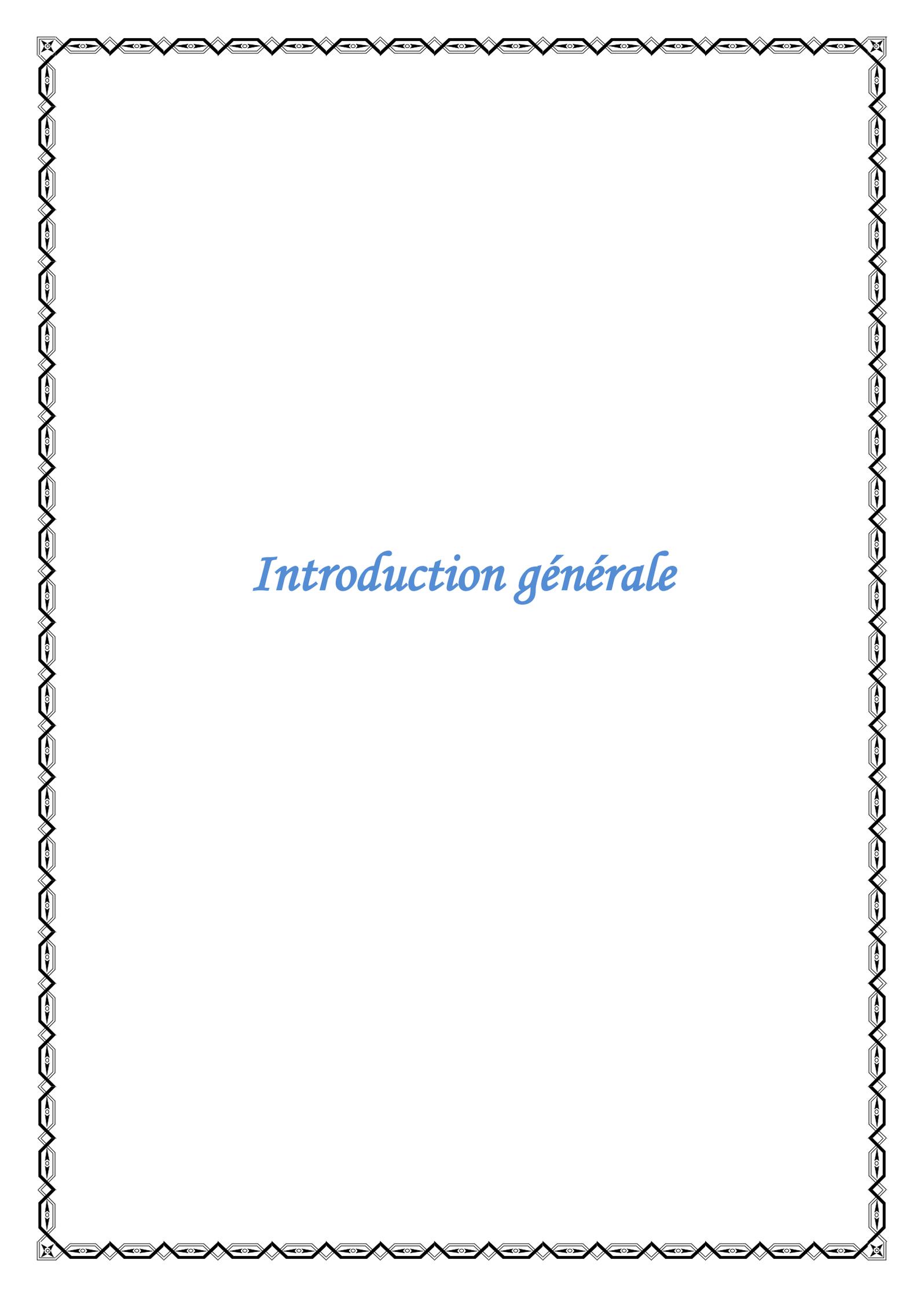
2. Climat de la zone d'étude .....	28
2.1. Diagramme ombrotérmique de Bagnouls et Gaussen.....	28
2.2. Zonation éoclimatique de Le Houérou(1995) .....	29
3. Echantillonnage sur le terrain .....	31
3.1. Echantillonnage des sols .....	32
4. Technique de prélèvements et identifications des spores .....	33
4.1. Extraction des spores par tamisage humide .....	33
4.2. Séparation des spores avec une solution du saccharose.....	33
5. Observation microscopique .....	33
6. Analyse statistiques.....	33
Résultats et discussions.....	34
1. Densité de la communauté sporale de CMA.....	35
2. Morphotypes présents sous le pistachier de l'Atlas.....	36
3. Abondance de la communauté sporale de CMA .....	39
Conclusion.....	43
Références bibliographiques .....	46

## Liste des figures

Figures	Titres	Pages
1	Principaux types de mycorhizes représentés sur une coupe transversale de la racine (LeTacon, 1985).	6
2	Cycle de vie des CMA (Akiyama, 2007).	8
3	Schéma de coupe de racine endomycorhizée (Rival, 2013).	10
4	Localisation de la Wilaya de Laghouat (Google.fr, 2014).	27
5	Image satellite montrant la localisation de la dayaétudiée.	28
6	Diagramme ombrotérmique de Bagnouls et Gausсен de la station de Hassi R'mel (1999-2005) (Zareb, 2014).	29
7	Zonation écoclimatique de la station d'étude selon la méthode de Le Houérou (1995) (Zareb, 2014).	30
8	Présentation du sujet 1	31
9	Présentation du sujet 2	31
10	Présentation du sujet 3	32
11	Présentation du sujet 4	32
12	Présentation du sujet 5	32
13	Présentation du sujet 6	32
14	Différents morphotypes de <i>Glomus</i> isolés à partir du sol rhizosphérique de <i>Pistacia atlantica</i> (x400).	37
15	Différents morphotypes d' <i>Acaulospora</i> isolés à partir du sol rhizosphérique de <i>Pistacia atlantica</i> (x400).	38
16	Différents morphotypes d' <i>Ambispora</i> isolés à partir du sol rhizosphérique de <i>Pistaciaatlantica</i> (x400).	38
17	Structure morphologiques de spores indéterminées (x400).	39
18	ACP représentent les genres de champignons endomycorhizogènes de <i>Pistacia atlantica</i> .	42

## Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
1	Taxonomie phylogéniques des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA), (Jean-Pierre, 2012)	12
2	Textures de différents sols sous pistachiers étudiées selon un gradient croissant d'aridité géographique (Hamitouche., 2016).	21
3	Intervalles des humidités hygroscopiques des sols sous Pistachier de l'Atlas des travaux précédents. (Hamitouche, 2016).	22
4	Représentation de la capacité de rétention des sols sous pistachier précédemment étudiées(Hamitouche., 2016).	22
5	Taux de calcaire total des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents (Hamitouche., 2016).	23
6	Intervalles de pH des sols sous pistachier de l'Atlas précédemment étudiés (Hamitouche., 2016).	24
7	Taux de matière organique obtenus dans différents sols sous pistachiers précédemment étudiés (Hamitouche., 2016).	25
8	Données et paramètres utilisés dans la classification écoclimatique de la station de Hassi R'mel (Zareb, 2014).	30
9	Caractéristiques générales des sujets échantillonnées.	31
10	Densité des spores/100g de sol sous pistachier de l'Atlas.	35
11	Abondance de différents genres de Glomeromycota isolés à partir des échantillons de sols du pistachier de l'Atlas.	40
12	résultats de l'ANOVA appliquée sur les genres des champignons endomycorhizogènes des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Hassi Delâa (Laghout).	40
13	matrice de corrélation de Peason entre les genres de Glomeromycota recensés au niveau des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Hassi Delâa.	41



# *Introduction générale*

Il est bien établi que le fonctionnement, la stabilité et la productivité des écosystèmes terrestres dépendent en grande partie de la richesse en espèces du cortège floristique. Cependant, l'installation et le développement de ces espèces au sein de l'écosystème dépendent des interactions, qui se produisent entre celles-ci et de leur concurrence spatio-temporelle vis-à-vis des ressources limitées du sol (Tilman et Downing, 1994).

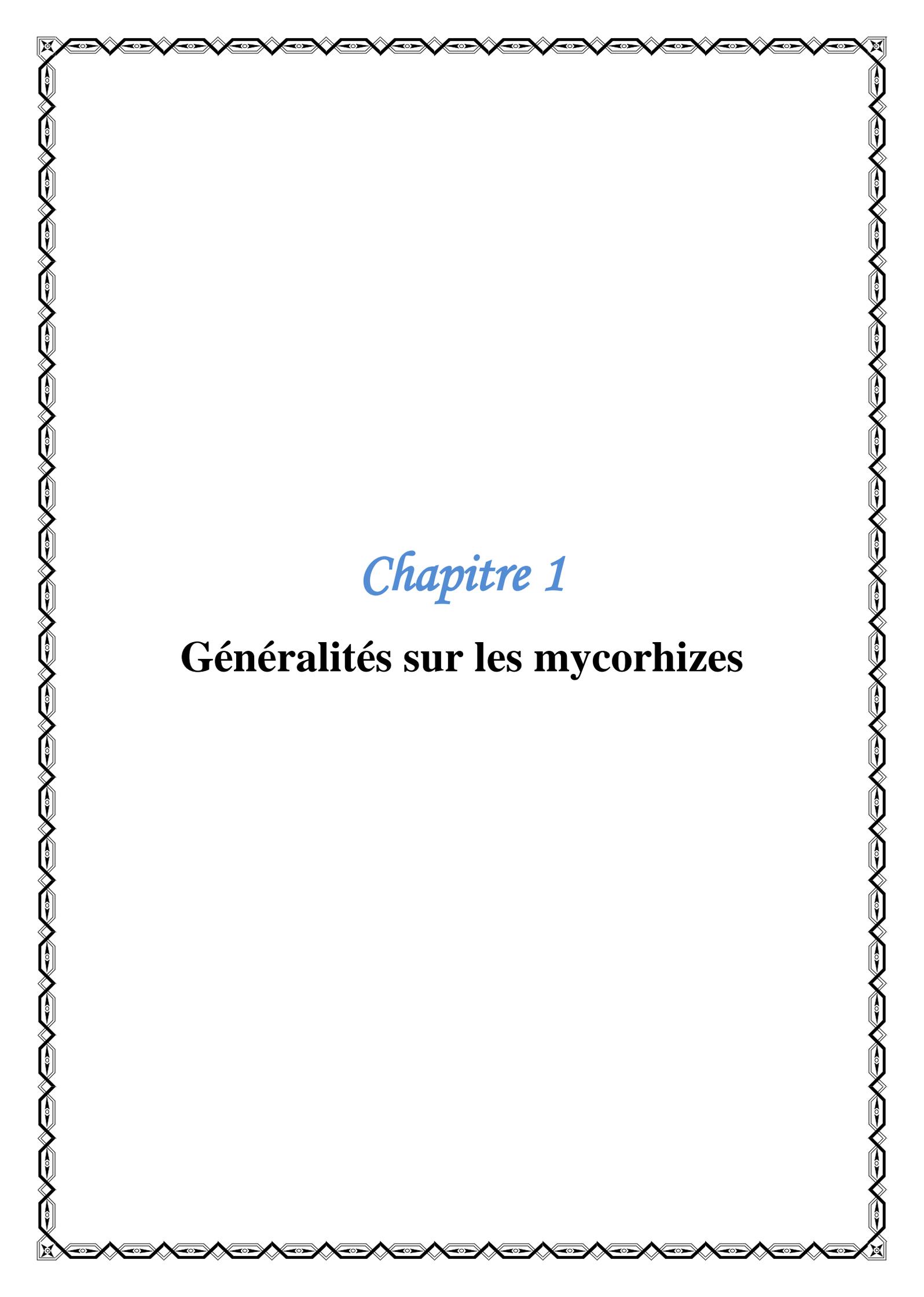
Par cela la plupart des arbres contractent des associations symbiotiques avec un certain nombre de champignons du sol. Ces associations à bénéfices réciproques, permettent à l'arbre de résister aux climat arides et semi-aride et au manque de nutriments provenant du sol, ainsi qu'aux attaques parasitaires (Gebelli et *al.*, 1986 in Struillu, 1991). Cette association engendre des organes mixtes mycélium-racines, appelés mycorhizes (Mousain et *al.*, 1996). Le mot « mycorhize » traduit l'association entre un champignon « myco » et les racines « rhize » de la majorité des plantes vasculaires qui leur permet de survivre et croître plus efficacement (Smith et Read, 1997). Au sein de ce groupe de champignons, il existe des champignons endomycorhizogènes à vésicules et arbuscules (CMA) (Boullard, 1990 ; Demars et Broener, 1995). Ils appartiennent au phylum des Glomeromycota (Schüßler et *al.*, 2001). Ces champignons sont généralement considérés comme symbiotes obligatoires (Schüßler et Walker, 2010). Leur identification est basée sur les critères morphologiques des spores (Morton et Benny, 1999 in Oehl et *al.*, 2011).

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés aux relations symbiotiques de l'une des plus fascinantes espèces qui occupent une superficie importantes dans le pays des dayas en Algérie (Laghouat), le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.), avec la communauté fongique présente dans sa rhizosphère.

*Pistacia atlantica* Desf. encore appelé bétoum appartient à l'ordre des Sapindales et à la famille des Anacardiaceae. C'est une espèce ligneuse et spontanée. On le trouve au cœur du Sahara et jusqu'aux marges du bioclimat humide. C'est une espèce circumméditerranéenne méridionale et irano-touranienne, elle est présente surtout en bioclimat semi-aride (Quézel et Médail, 2003).

Dans le cadre des activités de recherche du laboratoire des Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, notre étude consiste en une contribution à l'identification des champignons endomycorhizogènes, à partir des spores prélevés dans des sols sous pistachier de l'Atlas. Notre travail a concerné une daya de Hassi Delâa (wilaya de Laghouat).

Le premier chapitre porte sur les symbioses mycorhiziennes et les champignons endomycorhizogènes. En suite le deuxième chapitre consiste en une présentation de l'essence étudiée à savoir *Pistacia atlantica* Desf. suivie par le chapitre trois du matériel et méthode. Et le chapitre quatre est réservée aux résultats et discussion. En fin, le mémoire se termine par une conclusion générale.



# *Chapitre 1*

## **Généralités sur les mycorhizes**

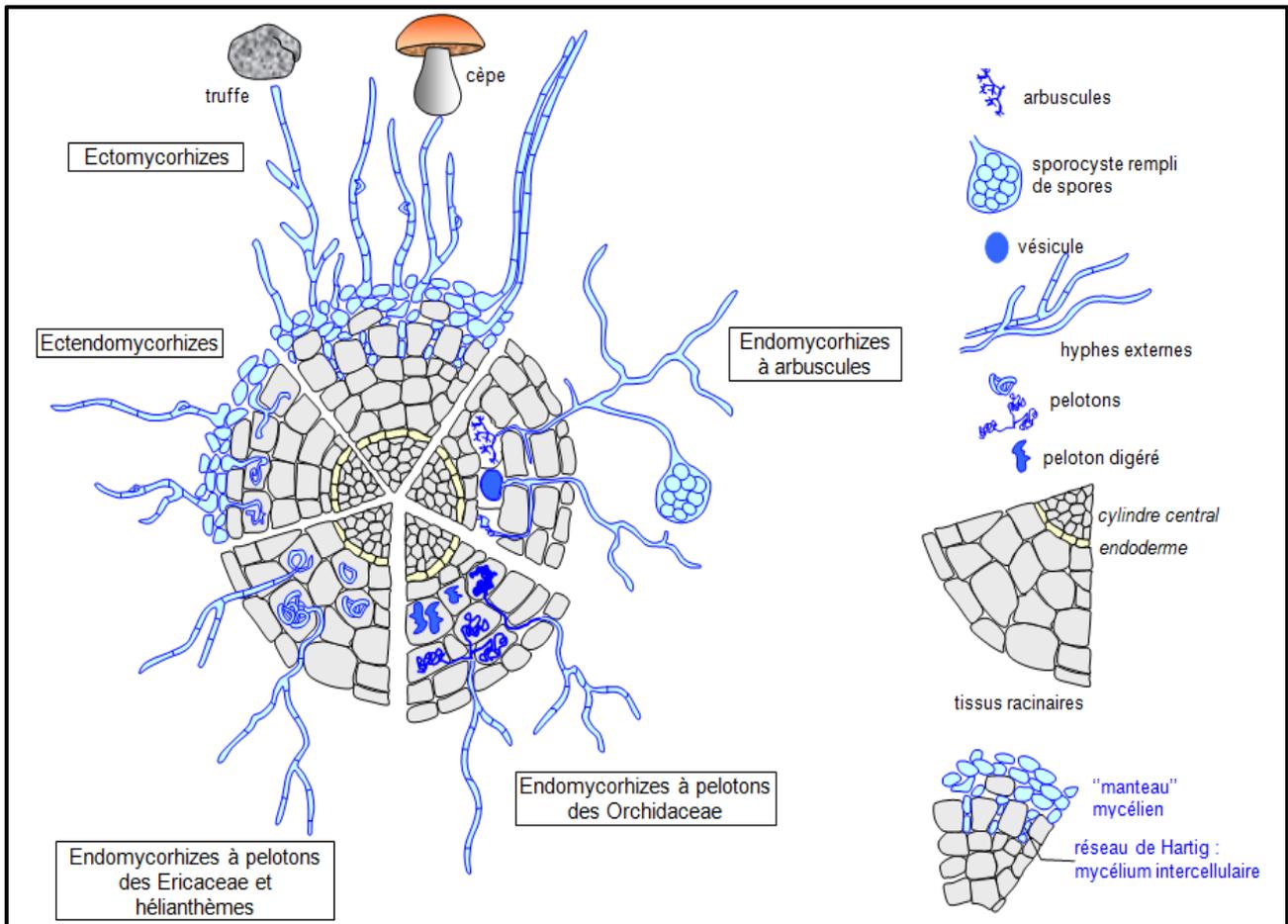
## 1. Introduction

Depuis leur conquête des écosystèmes terrestres, les plantes ont adopté des stratégies d'adaptation en relation avec des microorganismes. Désignée sous le nom des champignons symbiotiques et/ou mycorhiziens, ces derniers sont apparus sur terre il y a environ 400 millions d'années (Simon et *al.*, 1993). Les relations symbiotiques sont caractérisées par un état d'équilibre physiologique permettant aux symbiotes impliqués, d'en retirer des bénéfices mutuels. Parmi ces interactions, les plus fréquentes sont celles qui intéressent plus de 90% des plantes terrestres (Sandres et *al.*, 1996) et qui font intervenir un groupe de champignons de la classe des Glomeromycètes : ce sont les champignons mycorhizogènes à arbuscules (Strullu, 1990). En effet, le champignon se nourrit des glucides et des acides aminés synthétisés par la plante-hôte et procure à cette dernière les éléments nécessaires à sa nutrition hydrique et minérale, en lui permettant une meilleure extension et absorption racinaire. Les champignons mycorhiziens ont une forme dite mycélienne, constituée d'un réseau d'hyphes, qui ressemble en fait à un amas de filaments. Ces hyphes leur permettent de parcourir des distances beaucoup plus longues que les racines des plantes, ce qui leur donne accès à des nutriments inaccessibles par les plantes (Harley et Smith, 1983).

## 2. Différentes symbioses mycorhiziennes

Les mycorhizes sont classées en plusieurs catégories selon les caractéristiques structurelles, l'interface impliquée dans les échanges de nutriments entre les symbiotes et la position systématique des partenaires, mais dans les grandes lignes les éléments échangés sont les mêmes (Abbas, 2014).

Smith et Read (1997) distinguent plusieurs types : les endomycorhizes, les ectendomycorhizes, ainsi que les mycorhizes arbutoïdes, monotropoïdes, éricoïdes et orchidoïdes. Cependant, ceux-ci sont souvent regroupés en 3 groupes principaux : les endomycorhizes, les ectomycorhizes et les ectendomycorhizes (Figure 1).



**Figure 1** : principaux types de mycorhizes représentés sur une coupe transversale de la racine (LeTacon, 1985).

## 2. 1. Ectomycorhizes

Du grec *ektos* : à l'extérieur, chez lesquelles les champignons se développent essentiellement autour de la racine, en formant un manchon mycélien ; de ce manteau part un réseau d'hyphes qui se développe entre les cellules corticales de la racine (réseau de Hartig), sans jamais entrer à l'intérieur de ces dernières. Ce type d'association est représenté surtout chez les essences forestières des régions tempérées et de la forêt boréale, mais il a été décrit aussi chez quelques espèces tropicales de la famille des Dipterocarpaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae et Fagaceae. Les champignons ectomycorhiziens appartiennent surtout aux Basidiomycètes, mais aussi aux Ascomycètes (*Tuber*, *Elaphomyces*, etc) et rarement aux Zygomycètes (*Endogone*) (Redhead, 1980).

## 2. 2. Ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes sont caractérisées à la fois par la présence du manteau mycélien et le développement d'hyphes inter et intracellulaires. Les hyphes mycéliennes forment autour de la racine un manteau fongique, généralement plus réduit que celui des ectomycorhizes et elles franchissent les parois des cellules végétales. Les ectendomycorhizes ont d'abord été considérées comme des infections d'importance mineure chez les conifères, apparaissant en l'absence de champignons ectomycorhizogènes. En fait, ce type d'interaction est mutualiste et correspond souvent à une colonisation précoce des plantules. Elles sont formées par des Basidiomycètes (Smith et Read, 1997).

## 2.3. Endomycorhizes

Les endomycorhizes s'associent à plus de 90% des plantes terrestres. On les observe chez la plupart des plantes herbacées et surtout avec un grand nombre d'arbres et d'arbustes (Gerbault, 2009). Ces mycorhizes sont formés de l'association de racine d'une grande variété de plantes (Angiospermes, Gymnospermes et Ptéridophytes) et de champignons symbiotiques obligatoires appartenant aux Glomeromycota (Jacob, 2001). Ce sont des champignons microscopiques, dont les hyphes ont la capacité de pénétrer dans les cellules racinaires de la plante. Contrairement aux ectomycorhizes, le champignon ne forme jamais de « chapeau » et les hyphes ne forment pas de manchon autour des racines. Les hyphes forment plutôt une structure, appelée « arbuscule », à l'intérieur des cellules végétales (Dechamplain, 2002).

Les arbuscules se forment entre la paroi et la membrane cytoplasmique, mesurent entre 2 et 6  $\mu\text{m}$ . Ils sont le site d'échange de minéraux et de nutriments entre la plante hôte et le champignon (Dexheimer, 1997).

## 3. Champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA)

En 1974, Gerdmann et Trappe ont pu résumer la diversité de ces champignons en évoquant une première classification basée essentiellement sur la similarité des phénotypes de leurs spores. Ainsi, 5 genres ont été définis : *Endogone*, *Glomus*, *Sclerosystis*, *Acaulospora* et *Gigaspora*. Ensuite, les mêmes auteurs ont révisé cette systématique. 44 espèces au sein de 7 genres ont été caractérisées. Parmi elles, beaucoup de taxons ont été redéfinis.

## 3. 1.Cycle de vie

Les CMA sont des biotrophes obligatoires, car ils sont hétérotrophes pour le carbone et sont incapables de compléter leur cycle de vie de manière asymbiotique. L'établissement de la symbiose mycorhizienne à arbuscules débute par le contact entre une racine compatible avec les hyphes germinatives produites par les propagules du CMA (spores asexuées ou racines déjà mycorhizées). Le cycle de développement des CMA se divise en cinq stades (Bonfante, 1984). (Figure2).

Stade 1 : germination des spores et émergence d'un mycélium primaire, ou promycélium ;

Stade 2 : contact racinaire et développement d'un appressorium ;

Stade 3 : pénétration de CMA dans la racine et mise en place de la forme intraracinaire du champignon ; le mycélium pénètre à l'intérieur du système racinaire, se renfle en vésicules et forme des arbuscules ;

Stade 4 : la mycorhize ainsi formée produit un réseau extraracinaire le long duquel sont différenciées de nouvelles spores ;

Stade 5 : après leur maturation, ces spores seront à l'origine du promycélium de départ (Stade 1).

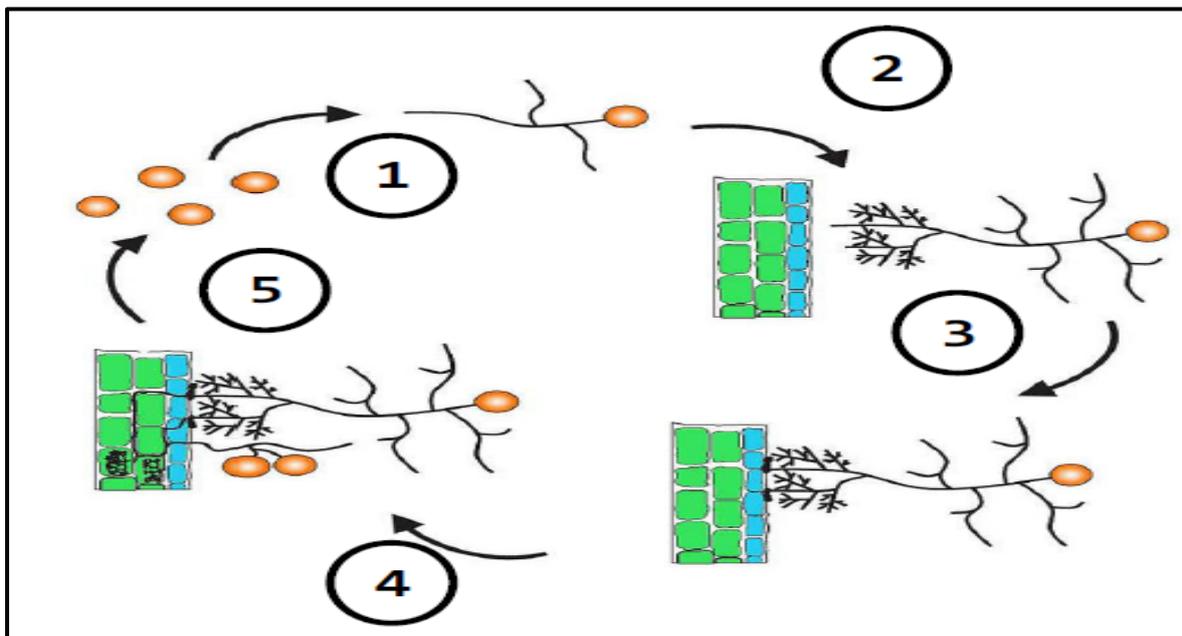


Figure 2 : cycle de vie des CMA (Akiyama, 2007).

Les CMA produisent un grand nombre de spores rondes à parois épaisses, d'un diamètre de 50 à 280 µm contenant environ 2000 noyaux par spore, stockant de grandes quantités d'éléments carbonés, principalement sous forme de lipides de réserve (Sancholle et *al.*, 2001).

La colonisation des racines par ces champignons suit une série de trois phases.

### **3.1.1. Phase asymbiotique : germination de la spore et ramification de l'hyphe germinative**

Les spores peuvent germer spontanément et produire un hyphes germinatif et quelques ramifications primaires sans stimulus exogène (Siquiera et *al.*, 1985). Lorsqu'aucun partenaire végétal est à proximité, les hyphes germinatifs se cloisonnent et le cytoplasme se rétracte dans la spore (Requena et *al.*, 2007). Les spores des CMA sont capables de germer ou d'entrer à nouveau en dormance de nombreuses fois, si des signaux racinaires ne sont pas perçus (Koske, 1981).

### **3.1.2 Phase pré-symbiotique : le dialogue entre la plante et le champignon mycorrhizogène**

Avant le premier contact physique, les deux partenaires de la symbiose émettent des signaux dans le sol, qui leur permettent d'être informés de leur présence respective. Un certain nombre de gènes impliqués dans l'établissement de la symbiose seront alors activés (Bonfante et *al.*, 1980).

### **3.1.2. Phase symbiotique : colonisation des racines de l'hôte**

Les champignons forment une structure renflée au contact de l'épiderme appelée hyphopode. Les cellules végétales réorganisent leur cytosquelette et forment un système membranaire de pré-pénétration, qui va permettre au champignon d'entrer et d'atteindre la zone corticale de la racine pour y développer des structures hyper-ramifiées appelées arbuscules, lieu d'échanges entre les partenaires (Genre et *al.*, 2005).

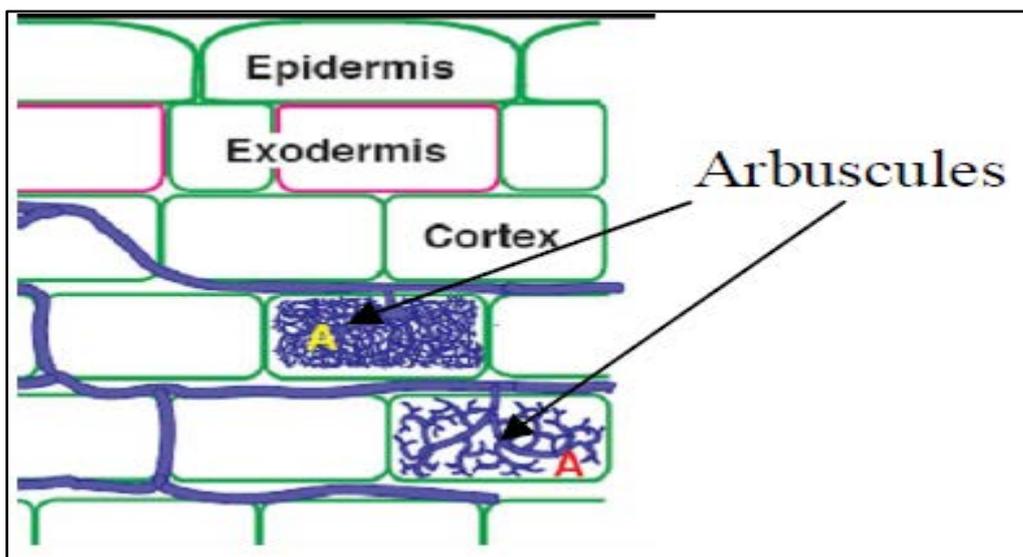
## 3. 2. Structures

Il est important de signaler que la colonisation racinaire par les champignons formant les CMA ne produit pas de modifications morphologiques de la racine, appréciables à l'œil nu et par simple observation macroscopique et que le champignon colonise seulement l'épiderme et le parenchyme cortical des racines, sans pour autant atteindre le cylindre central, ni les zones meristématiques (Bonfante, 1984).

En général, dans une mycorhize, il existe :

- une partie extraracinaire qui inclut le mycélium externe du champignon développé dans le sol, les spores et dans quelques cas les cellules auxiliaires;
- une phase intraracinaire qui inclut les hyphes intracellulaires et fréquemment intercellulaires ;
- des arbuscules qui se forment par division dichotomique répétée des hyphes et occasionnellement des vésicules (Figure 3).

La formation d'une mycorhize arbusculaire s'installe grâce à la succession des interactions entre le champignon et la plante-hôte, qui conduisent à une intégration morphologique et fonctionnelle des deux symbiotes (Gianinazzi-Pearson et al., 1996). L'établissement d'un "dialogue" moléculaire continu entre les deux symbiotes, dirigé par l'échange de signaux conduit à une reconnaissance mutuelle et au développement de programmes génétiques de compatibilité (Vierheilig et Piché, 2002).



**Figure 3:** schéma de la structure d'une endomycorhize à arbuscules formée par une espèce du genre *Glomus* (Brundrett et al., 1996).

### 3. 3. Influence des facteurs écologiques sur les CMA

La germination des spores, la formation et le développement des mycorhizes sont influencées par un ensemble de facteurs notamment le pH, l'aération, l'humidité, la température, la lumière, la texture du sol, les éléments minéraux et la matière organique. Il a été remarqué par exemple, que les spores du genre *Acaulospora* et *Gigaspora* germaient mieux à pH acide, alors que celles du genre *Glomus* préféraient des pH autour de la neutralité (Daniels et Trappe, 1980).

Selon Trappe et al(1984) l'application d'engrais ou de pesticides peut avoir aussi des effets néfastes sur les populations de CMA. Les métaux lourds peuvent réduire et éliminer, dans certains cas, la colonisation par les CMA et la germination des spores de ces champignons.

La salinité du sol peut avoir également une influence sur le développement et l'activité de la microflore endomycorhizienne par des mécanismes directs ou indirects, En effet, le sel retarde la germination des spores de CMA et réduit le taux d'élongation du mycélium (Juniper et Abbott, 1993).

### 3. 4. Taxonomie actuelle

Les concepts utilisés dans la systématique des champignons endomycorhizogènes à arbuscules sont basés essentiellement sur la morphologie de la spore (Rosendahl et al., 1990 ; Morton et Benny, 1994), mais cette identification reste très difficile, puisqu'elle permet d'obtenir peu de données sur la diversité de ces champignons (Giovanetti et Gianinazzi-Pearson, 1994). Le problème est encore exacerbé par la difficulté de leur obtention dans les cultures axéniques (Dodd et al., 1996).

Actuellement et grâce à l'outil de la biologie moléculaire, toute la classification des CMA a été revue. Ces champignons sont maintenant classés dans le phylum des Glomeromycota (Schüssler et al., 2001) avec quatre ordres, dix familles et approximativement 200 espèces décrites (Raab et Redecker, 2006) (Tableau 1).

**Tableau 1:** taxonomie phylogénique des champignons mycorhizogènes arbusculaires (Jean-Pierre, 2012)

ORDRES	FAMILLES	GENRES
<b>Archaeosporales</b>	<b>Archaeosporaceae</b>	<i>Archaeospora, Intraspora</i>
	<b>Geosiphonaceae</b>	<i>Geosiphon</i>
	<b>Ambisporaceae</b>	<i>Ambispora</i> (= <i>Appendicispora</i> )
<b>Diversisporales</b>	<b>Acaulosporaceae</b>	<i>Acaulospora, Kuklospora</i>
	<b>Diversisporaceae</b>	<i>Diversispora, Tricispora, Otophora, Redeckera</i>
	<b>Sacculosporaceae</b>	<i>Sacculospora</i>
	<b>Pacisporaceae</b>	<i>Pacispora</i>
<b>Gigasporales</b>	<b>Gigasporaceae</b>	<i>Gigaspora</i>
	<b>Dentiscutataceae</b>	<i>Dentiscuta, Quatunica, Fuscitata</i>
	<b>Racocetraceae</b>	<i>Racocetra, Cetraspora</i>
	<b>Scutellosporaceae</b>	<i>Scutellospora, Orbispora</i>
<b>Glomerales</b>	<b>Glomeraceae</b>	<i>Glomus, Septoglomus, Funelliformis, Simigliomus</i>
	<b>Entrophosporaceae</b> (= <b>Claroideoglomeraceae</b> )	<i>Claroideoglomus, Viscospora, Entrophospora, Albahypha</i>
<b>Paraglomerales</b>	<b>Paraglomeraceae</b>	<i>Paraglomus</i>

### 3. 5. Rôles des CMA dans les écosystèmes

Le rôle majeur des CMA est l'amélioration de la nutrition hydrique et minérale (phosphore et azote essentiellement) de la plante. Il en résulte une amélioration de la croissance des plantes mycorhizées (Karandashov et Bucher, 2005). En effet, l'élongation des hyphes extraracinaire augmente la surface de contact entre les minéraux du sol et la racine et il est estimé que la longueur des hyphes peut atteindre 81 à 111 m par cm<sup>3</sup> de sol (Miller et al., 1995). De plus, ils peuvent explorer des zones inaccessibles pour les plantes non mycorhizées pour y prélever l'eau et les nutriments et les transférer à la plante (Marulanda et al., 2003).

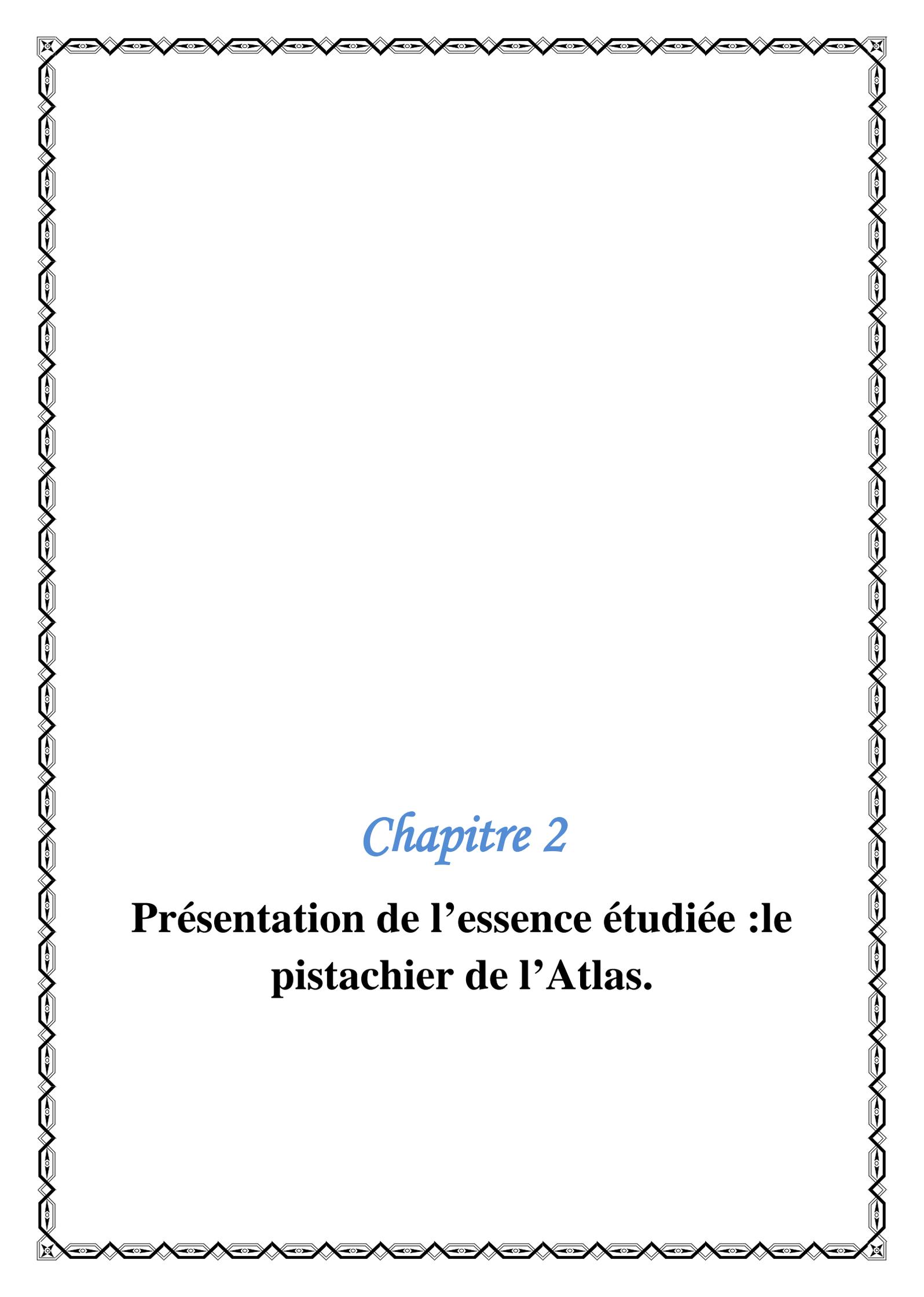
Le mycélium du CMA est capable de prélever l'azote sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), et d'acides aminés. Il peut également accélérer la dégradation de la matière organique, afin d'en augmenter la biodisponibilité des sels minéraux pour les plantes. Les denses réseaux mycéliens des CMA possèdent la propriété d'agir sur les constituants du sol et donc sur leur stabilité. Cette stabilité du sol ainsi produite permet de lutter contre l'érosion, la perte de nutriments et de matière organique par lixiviation, qui entraînent une baisse de productivité en agriculture (Abbas., 2014).

La diminution des dommages causés par certains agents phytopathogènes (champignons oomycètes, bactéries ou nématodes) a été démontrée dans de nombreux travaux chez les racines des plantes mycorhizées, par rapport aux non mycorhizées (Singh et al., 2000). Le potentiel des mycorhizes arbusculaires comme agents de lutte biologique a été répertorié chez des dizaines d'espèces cultivées en association avec plusieurs Glomeromycètes, pour des infections d'origine principalement fongique et bactérienne. La majorité des études décrites dans la littérature concernent des infections racinaires impliquant des genres : *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Phytophthora* ou *Verticillium*. Néanmoins, il existe peu de travaux sur le rôle des mycorhizes arbusculaires dans la protection des plantes contre les maladies foliaires (Gernns et al., 2001).

### 3. 6. Outils pour l'étude de la diversité des CMA

La majorité des recherches sur la diversité des CMA a été basée sur les différences morphologiques de spores isolées du sol (couleur, ornementation, paroi, etc). L'estimation de l'abondance peut être faite par l'observation directe du nombre de spores présent dans le sol. Par contre, leur identification est le plus souvent difficile à cause des faibles variations morphotypiques ; les spécialistes utilisent plusieurs critères qui permettent de distinguer au moins les genres (Brundrett et al., 1994).

Actuellement, grâce à l'outil moléculaire et principalement à la technique PCR (Réaction de Polymérisation en Chaîne), il est possible de surmonter la difficulté d'identifier et caractériser les communautés de spores de CMA existant au niveau sol ou même en symbiose avec une plante-hôte (Abbas, 2014).



## *Chapitre 2*

**Présentation de l'essence étudiée : le  
pistachier de l'Atlas.**

## 1. Introduction

Le pistachier de l'Atlas, encore appelée "Bétoum" en arabe, "Iggh" en berbère, a été décrit pour la première fois par le botaniste français René Louiche Desfontaines en 1789. Cette espèce est commune aux régions méditerranéennes et irano-touraniennes ; par contre Monjauze (1980) et Ozenda (1983) la décrivent comme endémique de l'Afrique du Nord.

L'arbre ressemble au frêne, il peut supporter des vents violents et des sols très pauvres et de longues périodes de sécheresse (Monjauze, 1980). Ce bel arbre est caractérisé par une très longue vie (Zohary, 1987).

## 2. Caractéristiques botaniques de *Pistacia atlantica* Desf.

Le pistachier de l'Atlas est un arbre assez grand, très massif et très spectaculaire, appartenant à l'ordre des Sapindales et à la famille des Anacardiaceae (Thorne et Reveal, 2007). Il joue un rôle à la fois protecteur et productif et la plupart des régions agricoles montagneuses semi-arides de notre pays sont favorables à son extension (Belhadj, 2002). Il se différencie presque toujours aisément (Monjauze, 1968). *Pistacia atlantica* est une espèce ligneuse, forestière et xérophile (Quézel et Santa., 1963).

L'étude du profil racinaire du *Pistacia atlantica* Desf. révèle l'existence d'un système racinaire à extension horizontale et verticale : un système généralisé. L'abondance et le développement de racines fines en surface s'explique par l'absorption de l'eau de surface (eaux de pluies) par ces dernières. L'enfoncement des racines secondaires verticalement dans le sol s'explique par l'exploitation de l'eau de la nappe phréatique par ces racines, ce qui nous donne un système racinaire mixte et qui permet un meilleur ancrage au sol et une absorption maximale de l'eau présente en surface et en profondeur (Chaba et al., 1991 ; Ait Slimane 2004; Limane et al., 2014 ; Boubrima ,2014 ; et Hamitouche, 2016).

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. Ces microorganismes sont observés et confirmés par plusieurs travaux menés au laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou à savoir : Abed (2006), Ait Zegagh-Benamara (2006), Mellah (2007), Amarache et Chelli (2008), Smail et al (2008), Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009), Raab (2010), Redjidal (2010), Yazag (2013), Ferhani (2015), Mechiach (2015), Hales (2016) et Haddouche (2017),

Ces travaux montrent que le pistachier de l'Atlas établit des associations symbiotiques de type : mycorhizien et endophytique.

L'arbre possède un tronc court bien individualisé et à frondaison hémisphérique qui peut dépasser les 2 m de diamètre. Sa couronne est en boule au jeune âge, puis se développe en demi-sphère (Quezel et Santa, 1963). C'est un arbre à couronne volumineuse arrondie.

L'écorce de l'arbre est lisse à l'âge jeune et crevassé à un âge très avancé. Elle est d'abord rouge, puis grisâtre assez claire avant de devenir dure, crevassée et noirâtre. A partir de cette écorce, on extrait de la résine et du tanin (Monjauze, 1980). Les populations locales s'en servent pour un usage médicinal (Belhadj, 2001).

Chez *Pistacia atlantica*, les feuilles sont composées imparipennées, renfermant 3 à 4 paires de feuilles (Monjauze, 1980). Elles mesurent entre 8 et 20 cm de long (Boulose, 2000). Elles sont caduques et chutent en automne ; elles ont une couleur vert pâle, glabres et sessiles (Yaaqobi *et al.*, 2009). Elles sont ciliées sur les marges et recouvertes de poils unicellulaires et glanduleux sur le reste du limbe (Belhadj, 2007). Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009) ont signalé des mycoendophytes dans les feuilles de cette espèce. Cela est confirmé par les travaux de Zareb (2014) sur les feuilles de la population de Timzerth et Benfodil (2015) sur la population d'El Gouffa. D'après ces auteurs, les mycoendophytes hébergés par les feuilles du pistachier de l'Atlas sont présents dans tous les tissus, à savoir quelques cellules épidermiques, les stomates, le parenchyme et les tissus conducteurs, avec un taux de colonisation et une diversité importante.

Les fleurs sont apétales, groupées en grappes terminales pour les fleurs mâles et axillaires pour les fleurs femelles, de couleur brunâtres arrangées en panicule, avec un court pédicelle (Monjauze, 1980 et Zohary, 1987). La floraison débute au mois de février, le plus souvent 2 à 4 semaines avant la poussée des bourgeons végétatifs (Grundwag, 1976). L'inflorescence mâle a tendance à fleurir avant les femelles, La pollinisation est anémophile (Rezaeyan *et al.*, 2009).

Les fruits sont appelés *Elkhodiri* par les populations locales en Algérie, cette appellation est due à la prédominance de la couleur vert foncé à maturité (Belhadj, 1999). Ces fruits sont des drupes de la taille d'un pois, légèrement ovales quelque fois plutôt allongées ; plus rarement sensiblement trapues ou un peu aplaties, à épiderme qui se ride en séchant sur un endocarpe induré, mais très mince abritant deux cotylédons exalbuminés, riches en huile et

comestibles (Monjauze, 1980). Les fruits ont une couleur rougeâtres au début, puis brunâtres à la fin de la maturité en automne (Danin, 1983).

### **3. Propriétés et utilisation des différentes parties du pistachier de l'Atlas**

#### **3.1. Utilisation comme fourrage**

Son importance dans l'alimentation humaine est plus ou moins négligeable dans certains pays, mais il n'est pas de même pour celle des animaux domestiques. Toutes les espèces de pistachier constituent un apport en fourrage considérable pour l'alimentation de bétail surtout en automne, notamment les feuilles et les fruits de *P. atlantica* qui fourniraient un apport de fourrage appréciable (Khaldi et Khodja, 1996 ; Ghorbel *et al.*, 2001).

#### **3.2. Utilisation du bois**

L'arbre fournit un bois d'artisanat, de construction (Charpentes), de chauffage, de mobilier et de sièges. Ce bois est blanc avec un cœur brun, il est dense, dur et homogène. Il est utilisé dans la région de Messaâd (Algérie), pour fabriquer des pipes et des ustensiles de cuisine traditionnelle (Belhadj, 2002). Ce bois peut remplacer l'ébène (Ansar, 1996).

Au Maroc, le bois est très apprécié. Il est utilisé pour fabriquer des mats de tentes, des charrues et divers outils. Les cendres sont utilisées pour fabriquer du savon de Taza (Bellakhdar, 1997).

#### **3.3. Utilisation des feuilles**

Les feuilles du pistachier sont utilisées dans la région de Boussaâda (Algérie) pour raffermir et pour traiter la peau de chèvre servant à garder l'eau au frais (Elguerba) (Belhadj, 2007).

#### **3.4. Utilisation des fruits et des graines**

En Algérie, les fruits sont vendus au marché à prix variable. L'huile extraite des fruits souvent mélangée aux dattes, aux figues écrasées est consommée à toute heure de la journée, avec du lait. Ce mélange est aussi consommé par les plus jeunes et plus vieux contre le froid, le rhume, la toux et le stress (Belhadj, 2002). Le fruit séché préparé en tisane aurait également une action contre le diabète. On utilise uniquement les fruits verts.

Les graines sont utilisées pour fabriquer les savons (Jafri et El-Gadi, 1978). L'amande du fruit est comestible et s'emploie en poudre ou en décoction avec les feuilles contre les maladies de l'estomac (Bellakhdar, 1997). L'huile est dense et très énergétique. Elle a un goût proche de celui du beurre. Elle est très appréciée dans la région des Hauts Plateaux. Les graines sont séchées, moulues et mélangées avec de l'eau sucrée pour en fabriquer de petites galettes. Les graines sont aussi consommées séchées comme des « amendons » puis qu'elles sont aromatisées (Belhadj, 2001).

### 3.5. Utilisation de la résine

L'écorce produit de la résine-mastic qui exsude en abondance par temps chaud. La gomme est utilisée comme antiseptique pour guérir les blessures. Elle est également utilisée pour fabriquer de la peinture laquée et de l'huile pour les artistes, à l'instar de l'huile de Térébenthine (Jafri et Gadi, 1978).

En Algérie, les populations locales en font un usage médicinal traditionnellement (Zohary, 1987). On l'utilise pour aromatiser et colorer la sauce du couscous et les autres mets en sauce.

La résine séchée est connue sous le nom de « Loban », en Libye et en Iran. Elle est souvent mâchée comme du Chewing gum (Jafri et El Gadi, 1978).

## 4. Caractéristiques écologiques du pistachier de l'Atlas

### 4.1. Exigences climatiques

- **Température**

Le bétoum résiste aussi bien aux températures basses (-12°C à Djelfa), qu'aux températures élevées (49°C à Ghardaïa) (Salhi, 1997). Pour Ait Radi (1979), les fleurs sont sensibles, mais échappent généralement à l'action néfaste des températures en raison de leurs éclosions tardives.

- **Lumière**

Le bétoum est une essence héliophile à l'état adulte. Pour les semis, ils se trouvent dans les touffes de *Ziziphus lotus* (L) Desf. Ils bénéficient sans difficulté de la lumière pour leur croissance (Ait Radi, 1979).

- **Pluviométrie**

Le pistachier de l'Atlas est un arbre de grande plasticité vis-à-vis de la sécheresse, pour une bonne fructification de cette essence, la tranche pluviométrique doit être entre 200 et 500 mm /an (Monjauze, 1968). Cependant, Alyafi (1979) note que l'espèce se développe dans une tranche pluviométrique allant de 250 à 600 mm. Il bénéficie de 1300 mm/an au niveau de sa limite septentrionale à l'Ouest d'Alger (Blida) et reçoit 600 mm/an sur le bord méridionale de l'Atlas tellien entre Benchico et Berrouagia, enfin jusqu'à 250 mm/an dans la plaine de Boughar-Boughezoul. Dans la région de Béchar, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 57.7 mm par an et pour la zone extrême, à savoir Tamanrasset, sa tranche pluviométrique décroît jusqu'aux 47.6 mm/ an (Ait Slimane, 2004).

- **Vent**

En général, cette espèce se régénère et pousse toujours à l'intérieur des touffes de *Ziziphus lotus*(L.) Desf. qui constituerait une bonne protection aux jeunes pousses contre les vents et le pâturage. Son système racinaire vigoureux lui assure une bonne fixation au sol (Monjauze, 1968).

#### **4.2.Exigences édaphiques**

Du point de vue édaphique, le bétoum s'accommode à une large gamme de sols, sauf les sables. Cette espèce préfère généralement les terrains argileux ou limoneux. On le trouve aussi sur les roches calcaires, où les racines pénètrent les fissurations (Khaldi et Khoudja, 1996).

Selon Quézel et Médail (2003), le pistachier de l'Atlas peut occuper les fentes de rochers et de falaises (dans ce cas, sous forme d'individus prostrés et plaqués aux rochers), les terrains plats sur sols profonds ou très rocailleux et les lits d'oueds, ou les grandes dépressions temporairement humides.

- **Texture des sols sous pistachier de l'Atlas**

Les textures des sols qu'occupe le pistachier de l'Atlas des dayas en Algérie sont très hétérogènes. En effet, une large gamme de textures a été signalée jusqu'à présent par les travaux effectués dans le cadre des activités de recherche du laboratoire Ressources Naturelles à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, sur des populations naturelles distribuées



**Présentation de l'essence étudiée : le pistachier de l'Atlas**

**Tableau 3 :** humidités hygroscopiques (HH) des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents(Hamitouche, 2016).

Gradient d'aridité croissant →								
Zone étudiée	Oued Besbès (Médéa) (Tahrour, 2005)	El Mergueb (M'Sila) (Limane, 2009)	Boucédraïa (Djelfa) (Haboul,2011)	Aïat Timzerth (Laghouat) (Boubrima,2014)	AïatTimzert h (Laghouat) (chebieb,2008)	Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima,2014)	Tilrhemt(Laghouat) (Kebci, 2008)	Béni Ounif (Béchar) (Ait Slimane,2004)
H.H (%)	0.10-9.53	0.55-3.31	2.03-3.39	0.65-2.06	0.67-2.83	2.25-4.93	1.21-4.93	0.70-2.67

D'après ce tableau, l'humidité hygroscopique des sols de dayate Hassi Delâa varie entre 2.25% et 4.93% (Boubrima,2014).

- **Capacité de rétention des sols sous pistachier de l'Atlas**

Le tableau4 illustre les résultats des mesures des capacités de rétention des sols de différentes régions d'Algérie étudiées au-paravent.

**Tableau4 :**capacité de rétention des sols sous pistachier précédemment étudiées (Hamitouche, 2016).

Gradient d'aridité croissant (Nord-Sud) →								
Zone étudiée	Oued Besbès (Médéa) (Tahrour, 2005)	El Mergueb (M'Sila) (Limane, 2009)	Boucédraïa (Djelfa) (Haboul,2011)	Aïat Timzerth (Laghouat) (Boubrima,2014)	AïatTimzert h (Laghouat) (Chebieb,2008)	Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima,2014)	Tilrhemt(Laghouat) (Kebci, 2008)	Béni Ounif (Béchar) (Ait Slimane,2004)
CR (%)	32-69	23.8-28.42	25.13-41.84	28.66-39.07	22.3-33.19	37.84-44	17.27-27.75	13-28.4

## Présentation de l'essence étudiée : le pistachier de l'Atlas

D'après le tableau 4 nous constatons que les capacités de rétention de notre station Hassi Delâa et entre 37.84 % et 44 %. Pouget (1980) affirme que ces sols sont dotés d'une faible perméabilité offerte par leur texture moyenne à fine, qui permet l'infiltration lente des eaux de ruissellement reçu à travers le profil, et favorise ainsi une stagnation plus ou moins prolongée de l'eau et son évaporation en surface.

- **Calcaire total des sols sous pistachier de l'Atlas**

Selon Pouget (1980) les sols des dayate ce caractérisent par leur faible teneur en calcaires (< 10-20%).

**Tableau 5** : taux de calcaire total des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents (Hamitouche, 2016).

Gradient d'aridité croissant <span style="float: right;">➔</span>							
Zone étudiée	El Mergueb (M'Sila) (Limane, 2009)	Boucédraïa (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Aiat Timzert (Laghouat) (Boubrima, 2014)	AiatTimzert h (Laghouat) (Deguiche, 2008)	AiatTimzert h (Laghouat) (Amroun, 2013).	Tilrhemt(L aghouat) (Bounceur, 2009)
CaCO <sub>3</sub> total %	5.52-81.25	2.53-13.56	10.41-22.80	9.58-13.75	5.62-51.87	19.37-23.27	7.81-25.31

Nous constatons que les sols de dayate Hassi Delâa sont modérément à fortement calcaires, (entre 10.41% et 22.80%) (Boubrima,2014).

- **pH des sols des sols sous pistachier de l'Atlas**

Brown et *al.* (1994) signalent que le pistachier de l'Atlas occupe une variété de sols qui se caractérise par un pH élevé.D'après les travaux réalisés au laboratoire Ressources Naturelles del'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, l'intervalle de pH des sols de la daya de Hassi Delâa varie entre 7.26 et 8.46 donc nous pouvons dire que les pH des sols

sous pistachiers sont légèrement basiques. Ce qui concorde avec les résultats de Brown et *al.* (1994) (Tableau 6).

**Tableau 6:** pH des sols sous pistachier de l'Atlas précédemment étudiés (Hamitouche, 2016).

Population	Intervalle de pH
Theniet El Had (Tissemsilt) (Tisgouine, 2010)	6,17-7,52
Oued Besbes (Médéa) (Tahrour, 2005)	7,26-7,86
Boucédraia (Djelfa) (Bournine, 2007)	7,96-8,00
Boucédraia (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	7,39-8,40
El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	7,50-8,70
Aiat, Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	7,57-7,88
Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	8,07-8,51
Aiat, Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	7,27-8,66
Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	7,53-8,02
Tilghemt (centre) (Laghouat) (Bounceur, 2009)	8,26-8,44
El Gouffa (Laghouat) (Hamitouche, 2016)	8,02-8,41
Beni Ounif (Béchar) (Bournine, 2007)	8,09-8,46

- **Matière organiques des sols sous pistachier de l'Atlas**

D'après Pouget (1980), l'aridité influe sur le couvert végétal. La diminution du couvert végétal se traduit par une diminution du taux de matière organique dans le sol (Tableau 7).

**Tableau 7:** taux de matière organique obtenus dans différents sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés (Hamitouche, 2016).

Population			Intervalle de MO (%)
Boucédraia	(Djelfa)	(Bournine, 2007)	0,98-1,65
El Mergueb	(M'sila)	(Limane, 2009)	1,11-5,45
Aiat, Timzerth 2014)	(Laghouat)	(Boubrima,	0,21-1,26
Timzerth	(Laghouat)	(Deguiche, 2008)	0,10-2,42
Tilghemt(centre)	(Laghouat)	(Bounceur, 2009)	0,50-1,69
Saadi, Hassi Delaa	(Laghouat)	(Boubrima, 2014)	1,33-3,41
El Gouffa	(Laghouat)	(Hamitouche, 2016)	0,22-1,41
Béni Ounif	(Béchar)	(Bournine, 2007)	1,74-2,76



# *Chapitre 3*

## **Matériel et méthodes**

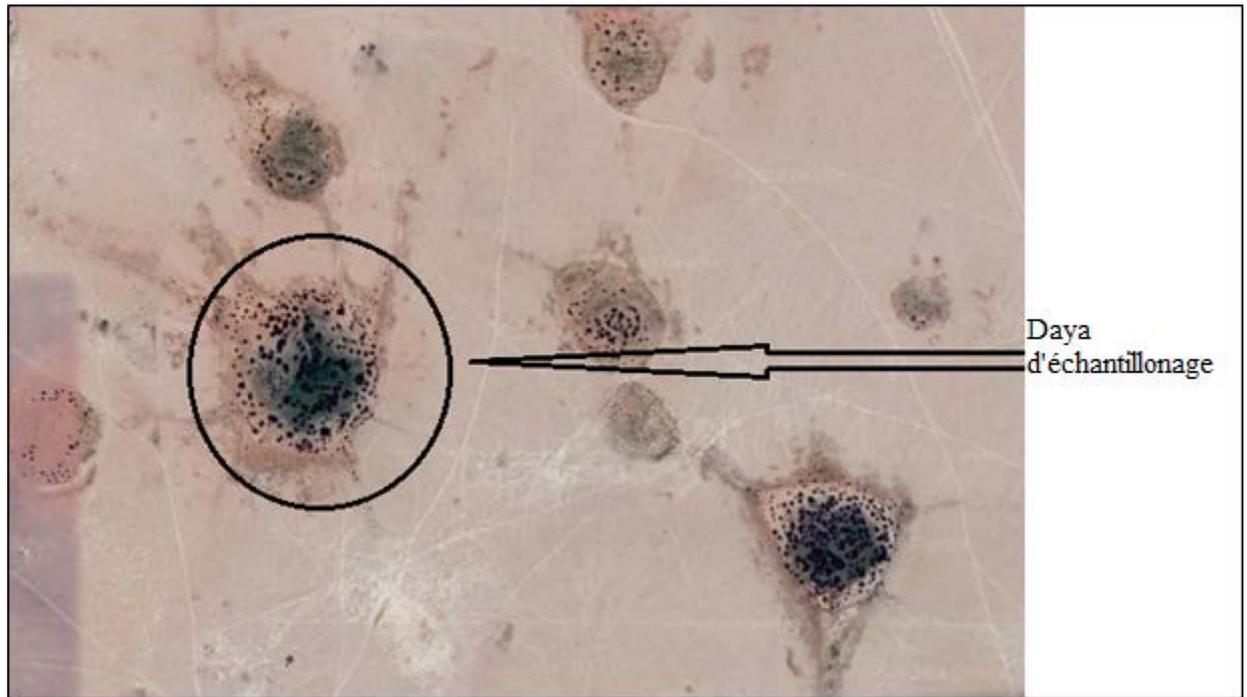
## 1. Description de la zone d'étude

Laghouat est située à 400 Km au sud d'Alger sur l'axe routier Alger-Ghardaïa. Elle se trouve à 750m d'altitude au sud de l'Atlas Saharien. La wilaya s'étale sur une superficie de 25 057 Km<sup>2</sup> (Amghar et Kadi-Hanifi, 2002). Elle est limitée au nord par les wilayas de Tiaret et Djelfa, à l'est par les wilayas de Touggourt et El Oued, à l'ouest par la wilaya d'El Bayadh et au sud par la wilaya de Ghardaïa(Figure 4).



**Figure 4 :** localisation de la wilaya de Laghouat (Google.fr, 2014) échelle 1/200 000°.

Les dayas de Laghouat sont à fond très plat, jamais complètement imperméables, de formes régulières et peuplées de *Pistacia atlantica* Desf., *Ziziphus lotus*, ainsi que d'autres espèces végétales adaptées à la texture et au régime de submersion temporaire. Cette végétation offre aux dayas un effet oasis, faisant d'elles un refuge d'une biodiversité importante (Pouget, 1980). Notre station d'étude est une dayat de la région de Hassi Delâa (Figure 5).



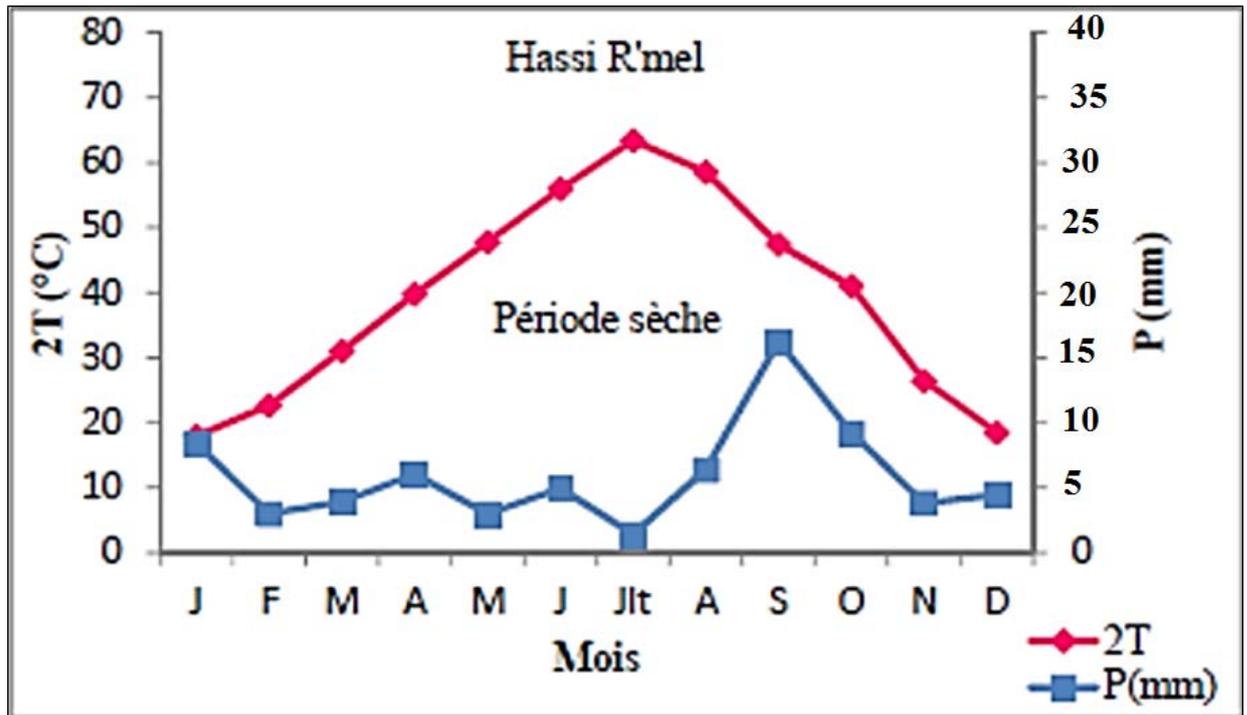
**Figure 5 :** image satellite montrant la localisation de la daya d'échantillonnage.

## 2. Climat de la zone d'étude

Notre zone d'échantillonnage est dépourvue de station météorologique. Nous avons donc utilisée les données thermiques et pluviométriques de la station de Hassi R'mel, qui a été mis 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.

### 2.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen permet de déterminer la durée de la saison sèche. En établissant une relation entre les précipitations moyennes mensuelles et la température moyenne des mois, Bagnouls et Gaussen (1953) considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations (en mm) est inférieur au double de la température (en °C), c'est-à-dire ; lorsque le rapport :  $P \leq 2T$



**Figure6** :diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussens de la station de Hassi R'mel (1999-2005) (Boubrima, 2014).

D'après le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussens, la période sèche est très longue ; elle est de 12 mois. Elle débute en janvier et se termine en décembre (Figure 6).

## 2.2. Zonation écoclimatique de Le Houérou (1995)

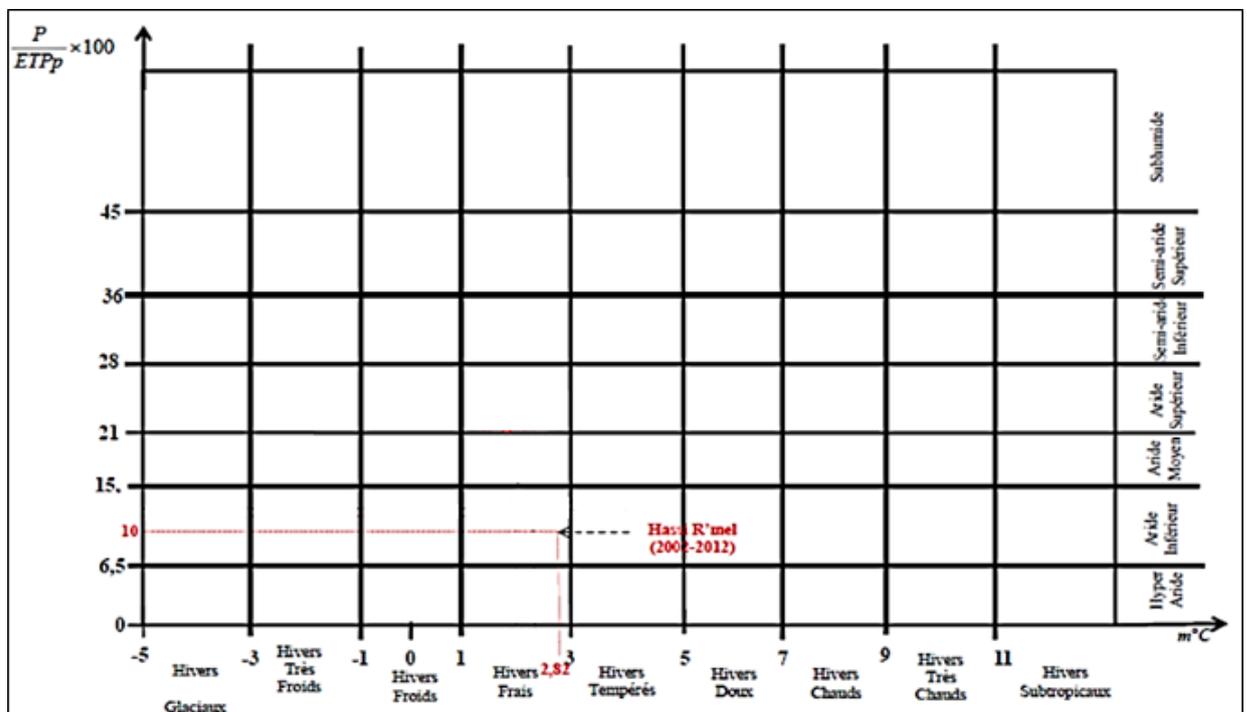
La zonation écoclimatique de Le Houérou (1995) concerne spécialement les régions de l'Afrique du Nord. Elle consiste à tracer un diagramme qui porte sur les ordonnées le quotient pluvio-évapotranspiratoire ( $P/ETP_p$ ) et sur les abscisses les moyennes des températures minimales du mois le plus froid. Le croisement de ces deux variables donne l'étagement bioclimatique de la région étudiée.

Les données nécessaires pour la zonation écoclimatique selon la méthode de Le Houérou (1995) sont données dans le tableau 8.

**Tableau 8** : données et paramètres utilisés dans la classification éoclimatique de la station de Hassi R'mel (Boubrima,2014).

Station	Altitude	P (mm)	M (°C)	m (°C)	M+m /2 (°C)	ETPp [(M+m /2)*68.64 (mm)	P/ETPp	(P/ETPp)*100	Classification
Hassi R'mel	764	141.38	38.22	2.28	20.52	1408.5	0.10	10	Aride inférieur à hiver frais

L'analyse du climat à travers ses différentes composantes sur une période allant de 1999 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 étage bioclimatique aride accentué ou présaharien ou subdésertique à hiver frais (Figure 7), qui se caractérises par la présence et la dominance d'espèces steppiques strictes, l'infiltration de certaines espèces sahariennes et la quasi-inexistence d'espèces d'affinité forestier en dehors des zones favorisées par le ruissellement (Le Houérou, 1995).



**Figure 7** : zonation éoclimatique de la station d'étude Hassi R'mel selon la méthode de Le Houérou (1995) (Boubrima, 2014).

### 3. Echantillonnage sur le terrain

Les sols sous pistachier de l'Atlas, objet de notre étude ont été récoltés au mois d'avril, 2016. L'échantillonnage des sols s'est porté sur six sujets de classe d'âges différents qui ont été choisis d'une manière aléatoire. Les caractéristiques générales des sujets sont résumées dans le tableau 9.

**Tableau 9** : caractéristiques générales des sujets échantillonnés.

Sujets	Classes d'âges (relatif)	Circonférences du tronc (cm)	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Sujet 1 (Figure 8)	Femelle jeune	16,5	809.55	33°29'669'' N	3°28'109''E
Sujet 2 (Figure 9)	Femelle jeune	44 /44,5	832.71	33°29'709'' N	3°28'95''E
Sujet 3 (Figure 10)	Mâle jeune	32 /34	813.82	33°29'724''N	3°28'148''E
Sujet 4 (Figure 11)	Immature	11	812.60	33°29'641''N	3°28'147''E
Sujet 5 (Figure 12)	Mâle âgé	420	812.29	33°29'666''N	3°28'176''E
Sujet 6 (Figure 13)	Femelle âgé	280	805.28	33°29'715''N	3°28'174''E



**Figure 8**: présentation du sujet 1.



**Figure 9**: présentation du sujet 2.



**Figure 10 : présentation du sujet 3.**



**Figure 11 : présentation du sujet 4.**



**Figure 12 : présentation du sujet 5.**



**Figure 13 : présentation du sujet 6.**

### **3.1. Echantillonnage des sols**

Les sols sous pistachier de l'Atlas des six sujets sont prélevés à partir d'un profil racinaire, à 20cm de profondeur. Ils ont été conservés dans des sacs en plastique portant les informations suivantes : le nom de la daya ; numéros des sujets et leurs coordonnées. Ils sont conservés à température ambiante.

Au laboratoire, les sols ont été séchés à l'air libre pendant 48h, puis tamisés avec un tamis de 2mm pour le diamètre des mailles pour obtenir une terre fine. Pour chaque échantillon de sol, nous avons prélevé 100 g, séché à l'étuve pendant 5h de temps, à une température de 120°C. Ces échantillons ont été préparés pour l'extraction des spores selon la méthode de tamisage humide (Gerdemann et Nicolson, 1963).

### 4. Technique de prélèvement et identification des spores

#### 4.1. Extraction des spores par tamisage humide

D'après la méthode de tamisage humide (Gerdemann et Nicolson, 1963), un échantillon de 100 g de sol a été mis en suspension dans de l'eau du robinet, agité vigoureusement afin de séparer les propagules fongiques et les particules du sol. La suspension a été versée sur une série de tamis superposés à mailles décroissantes (280 $\mu$ m, 125 $\mu$ m et 56  $\mu$ m).

#### 4.2. Séparation des spores avec une solution de saccharose

Les suspensions sporales ont subi une première centrifugation pendant 10 minutes à 2000 tours par minute (TPM). On filtre le surnageant de chaque tube. Les spores ont été extraites manuellement à l'aide d'une lame à bistouri pointue, sous une loupe binoculaire. Elles sont déposées sur un porte objet, avec une goutte de gélatine glycinée. La même suspension sporale de chaque tube a été centrifugée pour une deuxième fois avec une solution de saccharose pendant 10 minutes, à une vitesse de 2000 TPM, pour concentrer les spores et réduire la présence des particules de sol et de fragments de racines

Après centrifugation, les débris ont sédimenté au fond des tubes et le surnageant est filtré. Ensuite, les spores ont été isolées sous loupe binoculaire à l'aide d'une lame à bistouri pointue.

### 5. Observations microscopiques

L'identification des spores a été réalisée à l'aide d'un microscope optique et les spécimens ont été photographiés à l'aide d'un appareil photo numérique. La description des espèces et la détermination des couleurs ont été réalisées à l'aide d'une clé d'identification INVAM de la collection internationale de culture de champignons mycorrhiziens à vésicules et arbuscules (CMA) et celles de plusieurs auteurs publiées dans leurs articles (Blaszkowski., 2012).

### 6. Analyse statistiques

Nous avons calculé les abondances des communautés sporale de CMA des sols prélevée sous pistachier de l'Atlas qui représentent le pourcentage (%) d'individus d'une espèce, rapporté au nombre total des individus de toutes les espèces. Puis en a calculer les densités de ces communautés sporale qui représentent le nombre d'individus rapporté sur l'unité de volume (100 g de sol). Des analyses de la variance (ANOVA) sont faites grâce au logiciel Stat Box 6.40, pour mettre en évidence la présence de différences significatives entre les différents sujets échantillonnés. Une analyse en composantes principales (A.C.P) est réalisée, pour mettre en évidence la distribution des différents genres de Glomeromycota, grâce au logiciel Stat Box 6.40.



*Chapitre 4*  
*Résultats et discussion*

### 1. Densité de la communauté sporale de CMA

#### 1.1. Résultats

Le tableau 10 résume la densité des spores/100g de sol rhizosphérique de chaque sujet échantillonné.

**Tableau 10** : densité des spores/100g de sol sous pistachier de l'Atlas.

Sujets	Densité de spores/100g de sol
Sujet 1	1212
Sujet 2	288
Sujet 3	473
Sujet 4	687
Sujet 5	83
Sujet 6	169

D'après ce tableau, le nombre de spores dans les sols échantillonnés varie entre 83 et 1212 spores/100 g de sol.

La valeur la plus élevée se trouve au niveau du sujet 1 avec 1212 spores, suivi par les sujets 4 avec 687 spores, 3 avec près de 473 spores et le sujet 2 présente 288 de spores. Ces derniers semblent être les plus riches en spores, contrairement aux sujets 6 avec 169 et le sujet 5 présente la plus faible densité avec 83 spores.

#### 1.2. Discussion

Cette densité est très élevée par rapport aux résultats de Mechiah (2015) qui varie entre 166 et 60 spores et Ait Kaci et Ben Ouali (2017) qui ont travaillé sur la population de dayate El-Gouffa qui varie entre 586 et 47 spores. D'après Smith (1980), les densités maximales des spores sont notées au printemps et elles diminuent en été. La saisonnalité des champignons endomycorhizogènes résulte de l'influence des conditions climatiques : température et taux d'humidité du sol et du stade végétatif des plantes (Ibrahim et al., 1995). Ceci expliquerait les taux importants de densité sporale et de colonisation mycorhiziennes trouvés surtout au niveau des sujets 1 et 4, car ils sont jeunes par rapport aux sujets 5 et 6 âgés, donc elle est liée aussi à l'âge des sujets, car plus le sujet est âgé, plus la densité diminue.

Cette densité pourrait être liée aussi à la nature du sol qui est limono-sableux et limono-argileux (Boubrima, 2014) au niveau de notre zone d'étude par rapport à celles de Dayate El-Gouffa, qui se caractérise par un sol limoneux à limoneux fin (Hamitouche, 2016).

Selon certains auteurs, la densité des spores de CMA augmente dans les climats secs (Uhlmann et al., 2006). Elle est liée à leur adaptation aux écosystèmes chauds, secs et arides (Mangan et al., 2004). Au niveau de la station Hassi Delâa les sols ont été labourés par rapport à celle de El Gouffa, cela joue un très grand rôle dans la dispersion des champignons et spores dans les sols, ce qui favorise leur prolifération donc leur densité (Thomas., 2015).

## 2. Morphotypes présents dans les sols sous pistachier de l'Atlas

### 2.1. Résultats

L'observation microscopique des spores a révélé la présence de plusieurs morphotypes de CMA. La différenciation morphologique est basée selon les critères suivants : la couleur, la forme et la taille des spores et la forme de l'hyphe suspenseur. L'utilisation de la clé de détermination INVAM (Blaszkowski., 2012) nous a permis d'identifier 3 genres avec un nombre important de spores indéterminés.

- *Glomus*

C'est le type de spores qui présente une grande diversité avec 46 morphotypes différents. Le tri des spores nous a permis de rencontrer une large gamme de taille, allant de 56 µm jusqu'à plus de 280 µm. La couleur des spores peut varier du jaune à l'orange foncé. Ces spores sont solitaires ou dans des sporocarpes dans le sol. Elles peuvent avoir une forme circulaire. L'hyphe d'attachement est soit droite, soit courbée. Il présente la caractéristique spécifique du genre *Glomus*, d'être en continuité avec la paroi de la spore (Figure 14).

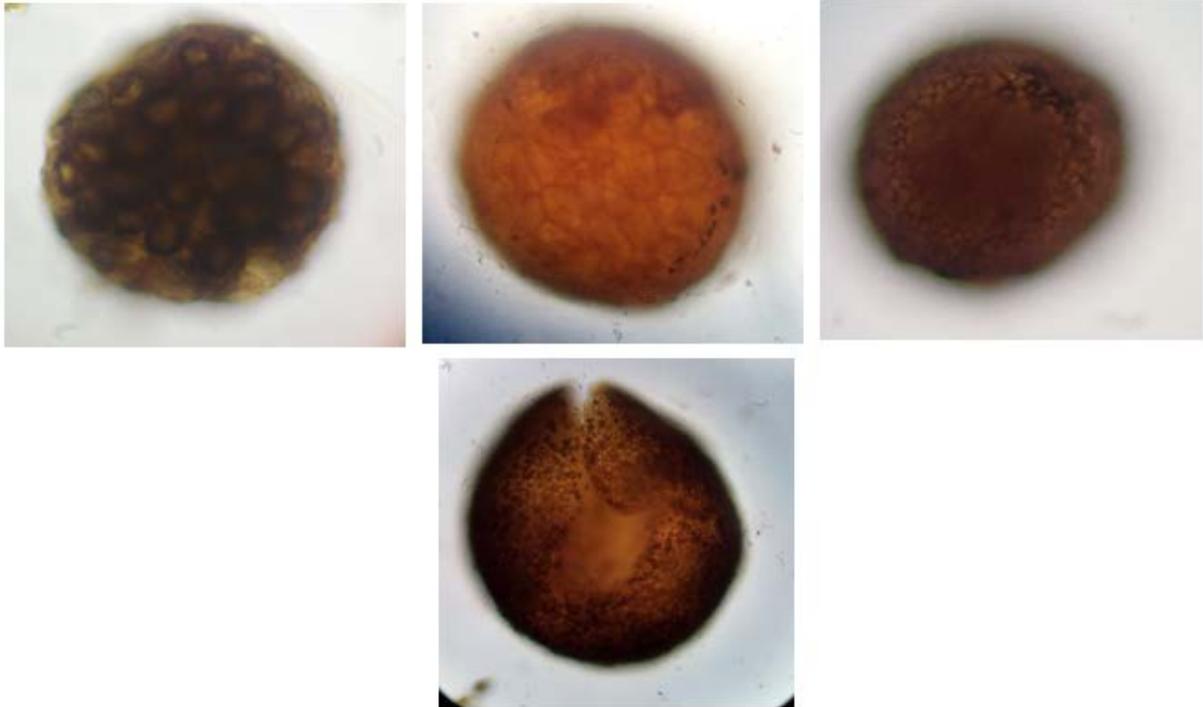


**Figure 14** :différents morphotypes de *Glomus* isolés à partir du sol rhizosphérique de *Pistacia atlantica*Desf. (x400).

HS = hyphe suspenseur

- *Acaulospora*

Ce genre de spores est formé individuellement au bord d'un hyphe micorhyziéne extraracinaire : le saccule sporifère se forme à l'extrémité de l'hyphe sporogène dans le sol et présente une grande taille jusqu'à 280  $\mu\text{m}$ , avec une forme globuleuse ou sub-globuleuse. Les spores sont de couleur qui varie entre le jaune et le marron foncé. Elles présentent une grande consistance interne, qui ne laisse apparaître qu'une paroi fine et cassable (Schenck et Pérez, 1987). Elles ne présentent pas d'hyphe suspenseur. Elles sont sessiles dès leur formation, d'où le nom du genre *Acaulospora* (*Acaulo*: sans queue, et *spora*: spore) (Figure 15).



**Figure 15:** différents morphotypes d'*Acaulospora* isolés à partir du sol rhizosphérique de *Pistacia atlantica* Desf. (x400).

- *Ambispora*

Très rare, ce genre est présent avec 4 morphotypes. Les spores sont solitaires, sphériques, à paroi épaisse (Figure 16).



**Figure 16:** différents morphotypes d'*Ambispora* isolés à partir du sol rhizosphérique de *Pistacia atlantica* Desf. (x400).

- **Indéterminés**

Ils comptent 6 morphotypes de forme, de couleurs et de tailles différentes (Figure 17).



**Figure 17** : structure morphologiques de spores indéterminées isolées à partir du sol rhizosphérique de *Pistacia atlantica* (x400).

### 2.2. Discussion

Les champignons endomycorhizogènes présentent une diversité réduite au niveau des sols de notre station d'étude : Hassi Delâa pour tous les sujets étudiés d'après les spores retrouvées par rapport aux travaux des Mechiah (2015), qui a recensé 24 morphotypes du genre *Glomus*, 11 morphotypes du genre *Acaulospora*, 11 morphotypes du genre *Gigaspora*, 7 morphotypes du genre *Scutellospora*, 5 morphotypes du genre *Ambispora* et 5 morphotypes indéterminés. Pour les travaux de Ait Kaci et Ben Ouali (2017), elles ont aussi recensé 15 morphotypes du genre *Glomus*, 9 morphotypes du genre *Acaulospora*, 1 morphotype du genre *Gigaspora*, 3 morphotypes du genre *Ambispora* et 2 morphotypes indéterminés.

Comme les sols de notre station d'étude sont labourés, cela affecte la diversité des champignons endomycorhizogènes. Selon Thomas (2015), le labour déstructure le sol et ainsi brise les réseaux d'hyphes fongiques. De plus, il vise à diminuer les populations d'adventices et entraîne une baisse de la diversité floristique et donc des souches fongiques associés.

## 3. Abondance de la communauté sporale de CMA

### 3.1 Résultats

Le tableau 11 résume l'abondance de différents genres de Glomeromycota isolés à partir des échantillons de sols du pistachier de l'Atlas.

**Tableau 11 :** abondance de différents genres de Glomeromycota isolés à partir des échantillons de sols du pistachier de l'Atlas.

Genre	Famille	Ordre	Abondance (%)
<i>Acaulospora</i>	Acaulosporaceae	Diversisporales	58.81
<i>Glomus</i>	Glomeraceae	Glomerales	34.03
<i>Ambispora</i>	Ambisporaceae	Archaeosporales	4.60
Indéterminés	/	/	2.30

Nous remarquons que le genre *Acaulospora* est le plus abondant parmi tous les genres recensés dans les sols rhizophériques de *Pistacia atlantica* Desf. Son abondance est de 58.81%, suivi par le genre *Glomus* avec 34.03%. Par contre, les genres *Ambispora* et les genres indéterminés recensés sont faiblement présents.

### 3.2. Discussion

L'abondance du genre *Acaulospora* est due à leur adaptation au sols des zones arides et au pH des sols élevés (Jefwa et al., 2006 ; Starker et al., 2010).

Nos résultats montrent que l'abondance des genres recensés est plus importante par rapport aux travaux faits par Ait Kaci et Ben Ouali (2017) car elles ont noté une abondance de 71.28% pour le genre *Acaulospora*, 25.8% des *Glomus* et 1.3% pour les *Ambispora* et les indéterminés avec 1.92%.

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) illustré par le tableau 12 nous révèlent que les différences sont significatives entre les sujets concernant les genres de la communauté fongique des Glomeromycota, recensés au niveau des sols de chaque sujet au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ .

**Tableau 12:** résultats de l'ANOVA appliquée sur les genres des champignons endomycorhizogènes des sols sous pistachier de l'Atlas de Hassi Delâa.

Variabes	Probabilités	Conclusion
<i>Acaulospora</i>	P=0,00	Significative
<i>Glomus</i>	P=0,00	Significative
<i>Ambispora</i>	P=0,02	Significative
Indéterminés	P=0,02	Significative

Des interactions importantes sont décrites entre les différents genres de Glomeromycota recensés au niveau des sols sous pistachier de l'Atlas de Hassi Delâa. A cet effet, une matrice de corrélation est faite pour identifier et décrire la nature de ces interactions.

**Tableau 13:** matrice de corrélation de Pearson entre les genres de Glomeromycota recensés au niveau des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Hassi Delâa.

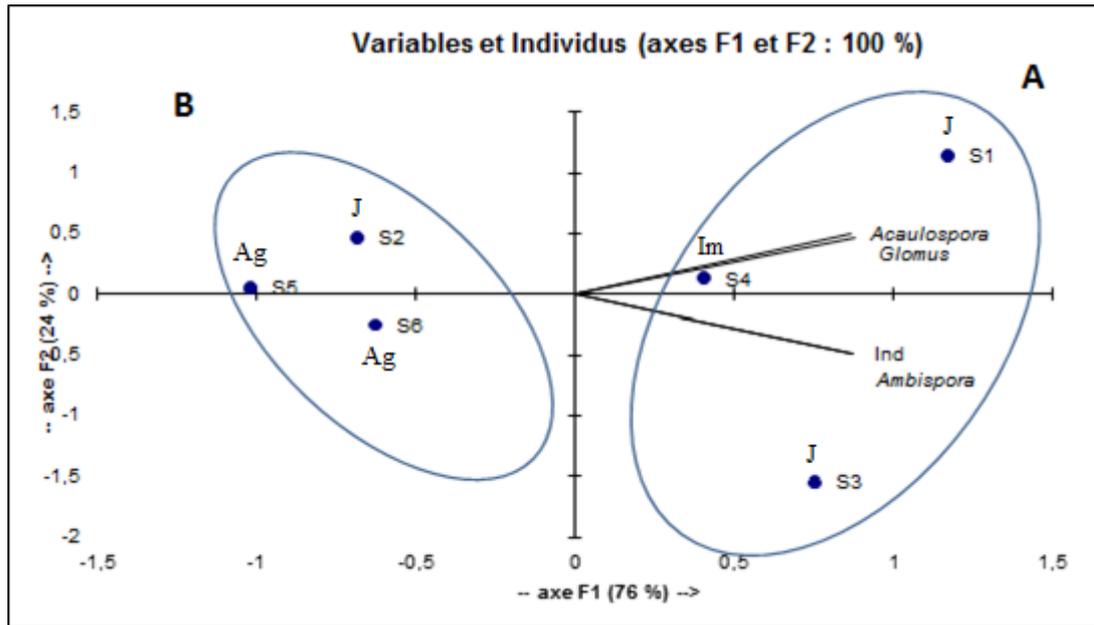
	<i>Acaulospora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Ambispora</i>	Ind
<i>Acaulospora</i>	1			
<i>Glomus</i>	<b>1,00</b>	1		
<i>Ambispora</i>	0,51	0,54	1	
<i>Ind</i>	0,51	0,54	<b>1,00</b>	1

Nous remarquons à partir du tableau 13 une corrélation forte et positive est relevée entre les deux genres *Glomus* et *Acaulospora* (1,00) et les genres *Ambispora* et les Indéterminés (1.00), cela explique que les genres Glomeromycota vivent en collaboration. D'autres sont positives mais sont relativement faibles, telles que celles entre *Glomus* et *Ambispora*(0,54) et entre *Acaulospora* et *Ambispora* (0,51).

L'analyse en composantes principales (ACP) est réalisée (Figure 18). Le plan 1 et 2 de l'ACP explique 100% du phénomène, avec 76% pour l'axe F1 et 24% pour l'axe F2.

Selon l'axe 1, on distingue deux groupes A et B.

- Le groupe A englobe les sujets 1, 3 et 4 qui se caractérisent par la présence d'*Acaulospora*, *Ambispora*, *Glomus* et indéterminés avec des abondances et densités importantes.
- Le groupe B renferme les sujets 2, 5 et 6 qui se caractérisent par la présence de tous les genres avec une abondance moins importante que celle du groupe A.

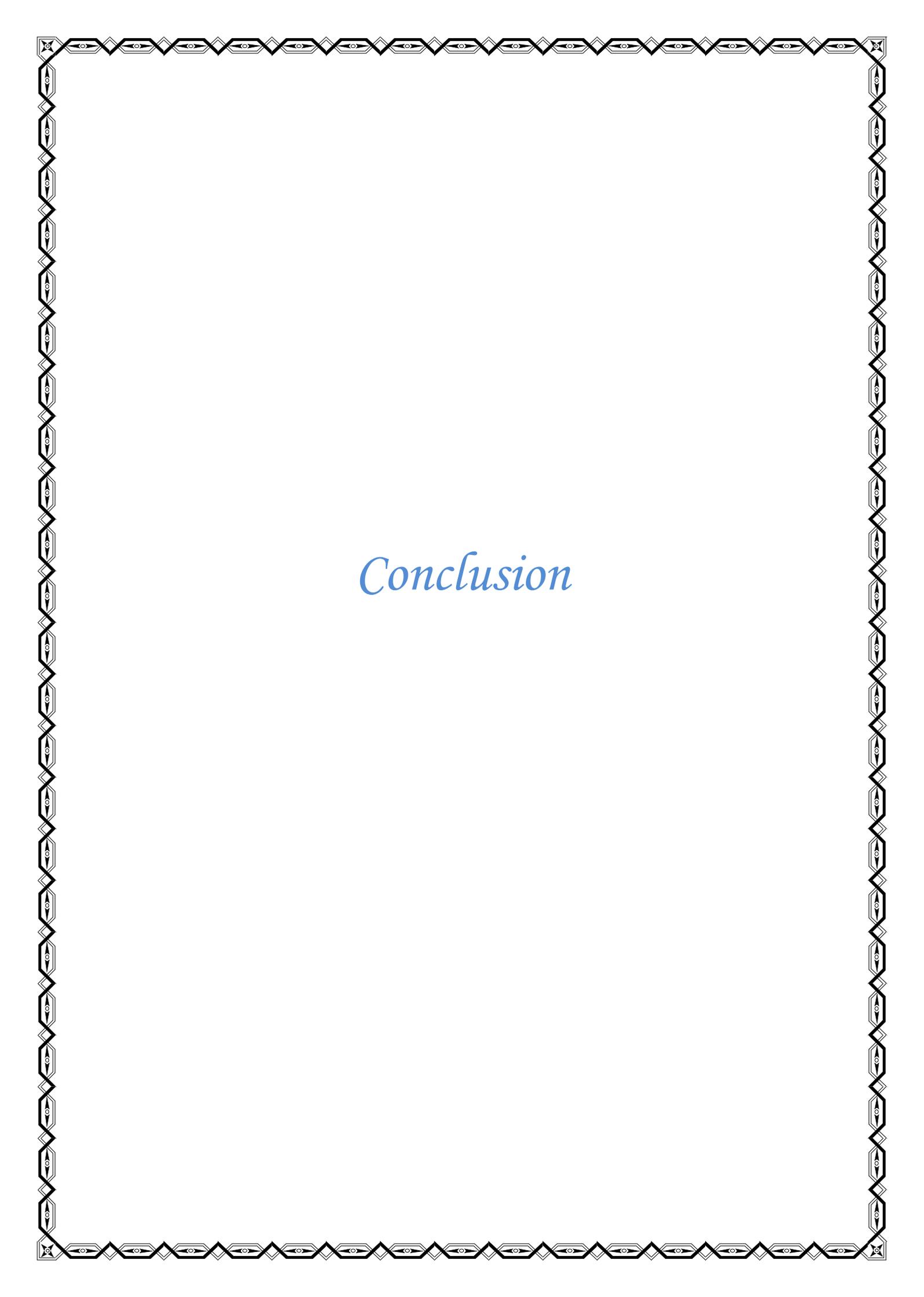


**Figure 18** : représentation des genres de champignons endomycorhizogènes de *Pistacia atlantica* sur ACP.

**S** : sujet, **Ag** : âgé, **Im** : immature, **J** : jeune.

Les morphotypes indéterminés et le genre *Ambispora* se rassemblent dans un groupe, cela indique que ces morphotypes et ce genre présentent des caractéristiques communes qui se rapprochent, et pour les genres *Acaulospora* et *Glomus* peut être à leur cohabitation, car dans nos résultats et celles des Mechiah (2015) et Ait Kaci Ben Ouali (2017) il y a toujours une corrélation positive entre ces derniers genres.

En fin, à partir de cette ACP on peut conclure que les sols rhizosphériques des sujets âgés de cette population présentent une diversité moyenne ; ces individus ne dépendent pas totalement de ces champignons pour l'alimentation hydrominérale et pour leur croissance. Par contre, les sols rhizosphériques des sujets jeunes présentent une densité considérable, la mycorhization de ces sujets est indispensable dans les premiers stades de leur développement ; la nutrition hydrique et minérale est assurée par les réseaux d'hyphes mycéliennes des champignons endomycorhizogènes qui explorent les sols.



# *Conclusion*

Le travail a été réalisé dans le but de mettre en évidence la diversité fongique symbiotique de la rhizosphère impliquée dans la survie du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*). Notre échantillonnage a été effectué d'une manière aléatoire sous six arbres de différentes classes d'âge (immatures, jeunes et âgés), au mois d'avril 2016 à Hassi Delâa, wilaya de Laghouat (Algérie).

L'identification morphologique de différentes spores qui ont été isolées par la technique du tamisage humide, adopté par Gerdemann et Nicolson (1963), est basée sur la forme et la couleur observées sous microscope optique.

Nos résultats mettent en évidence la présence de plusieurs morphotypes répartis en trois familles : Acaulosporaceae, Glomeraceae, Ambisporaceae et certains morphotypes indéterminés.

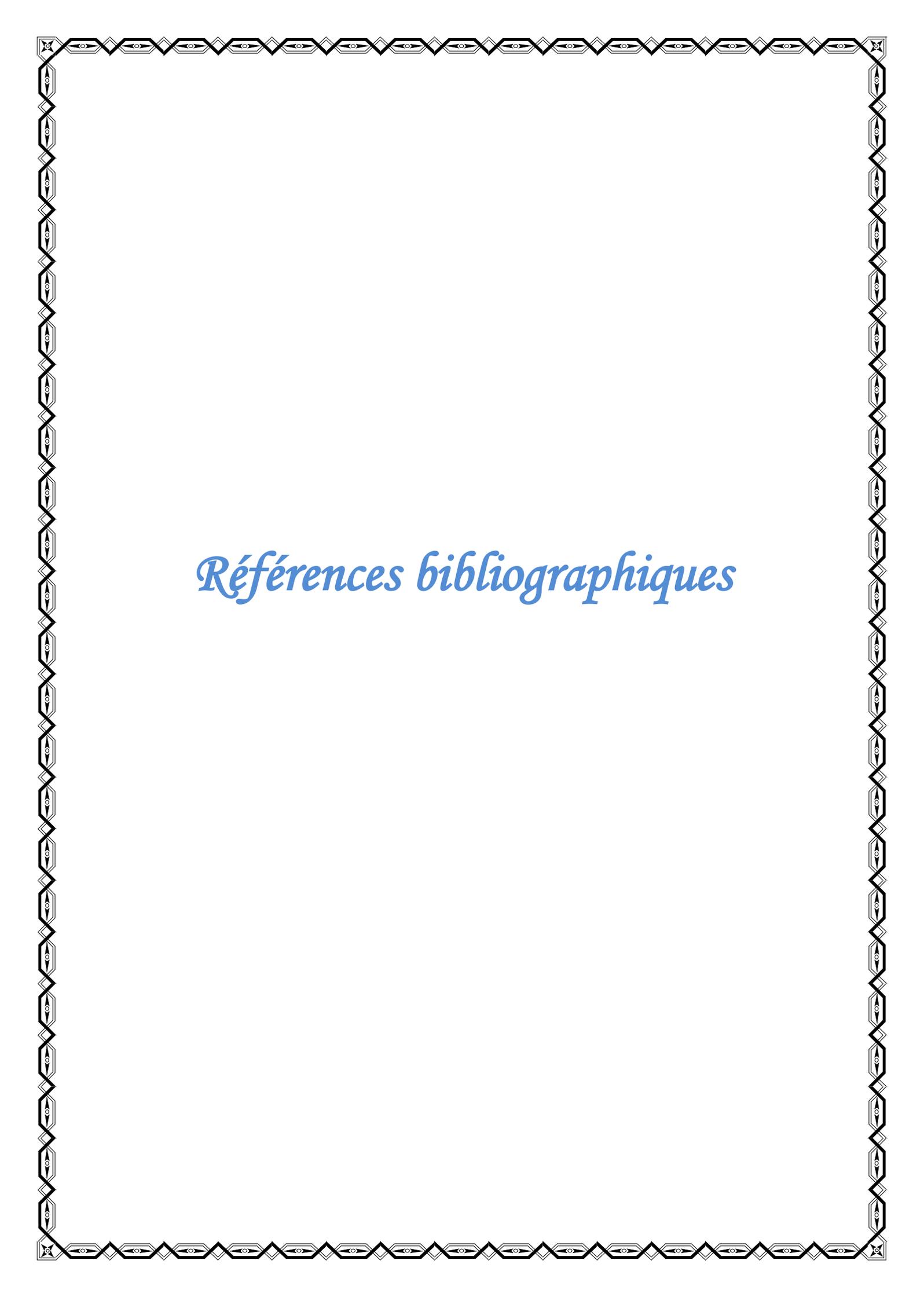
La densité des spores isolées dans les sols rhizosphériques sous pistachier de l'Atlas est importante pour les sujets jeunes 1, 2, 3 et 4. Elle est moyenne pour les sujets âgés 5 et 6. Le genre *Glomus* est plus diversifié avec 46 morphotypes, suivi par *Acaulospora* à 11 morphotypes, et 4 morphotypes d'*Ambispora*.

Le genre *Acaulospora* est le plus abondant : 58.81% parmi tous les genres recensés dans les sols rhizosphériques de *Pistacia atlantica* Desf., suivi par le genre *Glomus* avec 34.04%, puis par le genre *Ambispora* avec 4.60% et les indéterminés sont présents avec 2.30%. En effet, une matrice de corrélation a montré les différentes interactions qui existent entre les différents genres de champignons recensés. Certains genres montrent des interactions synergiques comme *Glomus* et *Acaulospora* d'une part et *Ambispora* et indéterminés d'autre part. Jusqu'à maintenant, aucune interaction antagoniste n'est citée chez les Gloméromycota.

Enfin, les connaissances scientifiques acquises dans cette étude sur le rôle des champignons endomycorhizogènes au niveau des sols sous pistachier de l'Atlas permettent son adaptation aux variations climatiques et édaphiques. Ces champignons peuvent être considérés comme composante essentielle dans le processus de préservation des communautés du pistachier de l'Atlas algérien.

Cependant et afin d'atteindre entièrement cet objectif, il serait nécessaire d'entreprendre d'autres études plus approfondies :

- en explorant les sols à différentes période de l'année, afin de connaitre les successions des différentes genres de spores endomycorhizienneet caractéristiques de cette essence ;
- l'identification des champignons mycorhiziens indéterminés.



# *Références bibliographiques*

### A

- **Abbas Y., 2014** : Microorganismes de la rhizosphère des tétracliraias : un outil pour optimiser la régénération assistée du *Tetraclinis articulata*. Thèse de Doctorat. Décembre 2014, Université Mohamad, Faculté des sciences, Maroc, Pp 177.
- **Ait Radi A., 1979** : Multiplication par voies végétative et par semis de *Pistacia atlantica* Desf. et *Alantusaltissima*. Thèse d'ingénieur. I.N.A. El Harrache, 40p.
- **Ait Slimane., 2004** : Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas. (*Pistacia atlantica* Desf. Ssp. Atlantica) à la sécheresse : cas de la population de Beni Ounif. (Bechar). Mémoire ingénieur en Agronomie., Département des Sciences Agronomiques. UMMTO, 95p.
- **Akiyama, K. 2007**. Chemical identification and functional analysis of apocarotenoids involved in the development of arbuscularmycorrhizal symbiosis. BIOSCIENCE. Biotechnology and Biochemistry, 71 (6): 1405-1414.
- **Alyafi J., 1979** : Approche systématique et écologique du *Pistacia* L dans la région méditerranéenne. Thèse 3ème cycle. Faculté des Sciences et Techniques de St-Jérôme Marseille, 42p.
- **Amghar. F., et Kadi-Hanifi. H., 2002** : Effet de la mise en défense de la biodiversité et le sol dans les formations à *Stipa tenacissima* de l'Algérie. 11<sup>ème</sup> réunion du sous réseau méditerranéens FAO-CIHAM « Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieu méditerranéens » du 29 octobre au 1 novembre 2002, Djerba (Tunisie).
- **Amroun R., 2013** : Caractérisation de propriétés physique et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas : cas de la daya Timizerth (wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agronomie. Département des Sciences Agronomiques. UMMTO, 83p.
- **Ansar M., 1996** : En plein cœur du Sahara, les arbres secrets des Touaregs. Syfia. 84 [En ligne, consulté en février 2018].

### B

- **Bagnouls et Gausson., 1953**: Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. His. Nat. Toulouse, 88 : 143-239.
- **Belhadj S., 1999**: Pistachio situation in Algeria. FAO. CIHEAM. Nucleus News Letter, 8. 30.
- **Belhadj S., 2001**: Les Pistacheries Algériennes: Etat actuel et dégradation. Ing : AK B.E (Ed). XI GREMPA. Seminar on pistachios and Almonds. Zaragoza. Cahiers options méditerranéennes : CIHEAM. 56:107-109.

- **Belhadj S., 2002:** Geographical distribution of *Pistacia Atlantica* Desf. In Algeria. Acta Hort. (ISHS), 59:499-503.
- **Belhadj S., Derridj A., Auda Y., Gres C et Guaquelin T., 2008 :** Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. Botany. Vol (86) : 520-532.
- **Bellakhdar J., 1997 :** La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoir populaire. IBIS press. 764p.
- **Bentaleb I., 2011 :** Caractérisation physique et chimique des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la daya Boucédraia (wilaya de Djelfa). Mémoire Ing. Agronomie. Département des Sciences Agronomiques. UMMTO, 62p.
- **Blaszkowski J., 2012 :** Glomeromycota. W. Szafor Instytut of Botany Polish Academy of Science, Krakow, p.304. ISBN: 978-83-89648-82-2.
- **Boubrima A., 2014 :** Type d'enracinement du pistachier de l'Atlas en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent : cas de dayate Saadi (Hassi Delâa) et dedayate Aiat (Timzerth) de la Wilaya de Laghouat. Mémoire de Magister Ecologie végétale, Université Amar Telidji. Laghouat. 244 p.
- **Boulous L., 2000:** Flora of Egypt. Geranicaceae. Boraginaceae. Al hadara publishing. 2: 75-77.
- **Bounceur D., 2009 :** Contribution à l'étude de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) : cas de la dayate de Tilrhemt (wilaya de Laghouat). Mémoire d'Ingénieur en Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 85 p.
- **Bournine K., 2007 :** Contribution à l'étude des sols rhizosphériques et non rhizosphériques sous pistachier de l'Atlas dans la région de Ain Oussara (wilaya de Djelfa) et Béni Ounif 58 (wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 96 p.
- **Bonfante-Fasolo P., 1984:** Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. En: Powell CL, Bagyaraj DJ (eds) VA mycorrhiza, CRC Press, Boca Raton, pp. 5-33.
- **Brundrett M., Bougher N., Dell B., Grove T., Malajczuk N., 1996:** Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph 32.

- **Brown P.H., Zhang Q et Fergusson L., 1994** : Influence of rootstock on nutrient acquisition by Pistachio. Journal of plant nutrition, 17:1137-1148.

### C

- **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 la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat, Algérie). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, UMMOT, 118p

### D

- **Danin A., 1983**: *Anacardiaceae*: desert vegetation of Israel and sinai. Cana, Jerusalem. P: 102-104.
- **Daniels B. and Trappe J., 1980** : Factors affecting spore germination of the VAMfungus *Glomusepigaesus*. Mycologia, 72: 457-471.
- **Dechamplain N. et Gosselin L., 2002** : Les champignons mycorhiziennes. Université de Daval. P8.
- **Deguiche M., 2008** :Caractérisation des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*Desf.) : cas de dayate de Tilrhemt (wilaya de Laghouat). Mémoire d'Ingénieur en Agronomie,Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 88p.
- **Dexheimer., 1997** : Etude structurale et fonctionnelle entre le champignon et la plantehôte. XLIX, p. 43-56.
- **Diop T.A., Plenchette C., etStrullu D.G., 1994** :*In vitro* culture of sheared Mycorrhizalroots, Symbiosis. 17:217-227.
- **Dodd J.C., Rosendhal S., Giovannetti M., Broome A., Lanfranco L., et Walker C.,1996** : Inter- and intraspecific variation within the morphologically similar arbuscularmycorrhizal fungi *Glomusmosseae*and *Glomuscoronatum*. New Phytol., 133 : 113-122.

### G

- **Gerbault S., 2009** : Les mycorhizes outils d'une horticulture et d'une agriculture durable. Jardin de France : 597.p20.
- **Gerdmann J.W., et Nicolson T.H., 1963**: Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc., 44 : 235-244.

- **Gernns H, Alten H, Poehling H-M., 2001:** Arbuscularmycorrhiza increased the activity of a biotrophic leaf pathogen – is a compensation possible? *Mycorrhiza***11**: 237–243.
- **Ghorbel A., Ben salem-Fnayou., Chatibi A etTwey M., 2001:** Genetic ressources of *Pistacia* in Tunisia: Towards a comprehensive documentation and *Pistacia* diversity in central and west asia, North Africa and Eropé. Report of the IP.GRI Workshop.14-17. Decembr 1998. Edited bys. Padulosi and. A.Hadj-Hassan Irbid, Jordan. pp. 62-71.
- **Gianinazzi-Pearson V., Dumas-Gaudot E., Gollotte A., Tahiri-Alaoui A., et Gianinazzi S., 1996 :** Cellular and molecular defence-related root responses to invasion by arbuscularmycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 133 : 45-57.
- **Giovaneti M., etGianinazzi-Pearson V1994.** Biodiversity in arbuscularmycorrhizal fungi. *Mycol. Res.*, 98 : 705-715.
- **Grundwag M., 1976:** Embryology and fruit –developpement in four species of *Pistacia L. (Anacardiaceae)*. *Botanical journal of the linnean society*, 73:355-370.

### H

- **Harley J.L., etSmith S.E., 1983.** *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, Londres, 483 p.
- **Haboul CH., 2011:** 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 la daya de Boucédraia (wilaya de Djelfa). Mémoire d’ingénieure Agronome, Département des Sciences Agronomiques, UMMOT, 121p.
- **Hadj Benamane D., et Ould Amrouche S., 2009.** Contribution à la recherche des endophytes mycorhiziennes du pistachier de l’Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. *Subsp. atlantica*), population de Theneit El had (wilaya de Tissemsilt). Mémoire d’Ingénieur enAgronomie, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri deTizi-Ouzou. 51 p.
- **Hamitouche F., 2016 :** Influence des propriétés physico-chimiques du sol sur l’architecture racinaire de *Pistacia atlantica* Desf. de Dayate El Gouffa, Commune Ain Madhi, W. Laghouat. Mémoire de Magister. Département des Sciences Biologiques. Option Ecologie Végétale Appliquée et Gestion de l’environnement. UMMTO. 140p.

### J

- **Jacob., 2001** : Etude des interactions entre métaux lourds et champignons ectomycorhiziens: mise en évidence de gènes impliqués dans la réponse au cadmium de *Paxillus involutus*. Thèse de Doctorat de l'université de Nancy.p252.
- **Jafri S.M.H., et El Gadi A., 1978**: Flora of Libia.*Anacardiaceae*. 52:1-12.
- **Jean-Pierre G., 2012** : les Glomeromycota : mycorhizes VAM et Geosiphonpyriformis (Kützing) Wettstein. Bull. Soc. Mycol. Nord Fr. 92:01-17
- **Juniper S. and Abbott. L., 1993**. VAM and soil salinity. Mycorrhiza, 4: 45-57.

### K

- **Karandashov V., Bucher M.,2005**: Symbiotic phosphate transport in arbuscularmycorrhizas. Trends in plant science**10**: 22–29.
- **Kebei S., 2008** : Approche de l'architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) cas de daya de Tilrhemt (wilaya de l'Laghouat). Mémoire Ing. Agro. UMMTO, 116p.
- **Khalidi A., et Khoudja M.K., 1996**: Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in North Africa: Taxonomy geographical distribution utilization and conservation. In: Taxonomy. Distribution, conservation and user of: Pistacia genetic resources. Proceedings of the IPGRI Workshop 29-30 Jun 1995. Edited by S. padulosi, T.caruso and E.Barone. Palermo, Italy.Pp.57-62.

### L

- **Le Tacon F., 1985**. Les Mycorhizes : une coopération entre plantes et champignons.La recherche n°166, pp. 624–632.
- **Le Houérou H. N., 1995** : Bioclimat et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologie, développement durables et désertification. Options méditerranéennes, SERIE B, 396p.
- **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 national d'El-Mergeub (Wilaya de M'Sila), Algérie. Mémoire de Magister en biologie et écologie des populations et des communautés, option : Ecologie des populations et des peuplements. UMMTO. 157p.
- **Limane A., Smail Saadoun N., BelkebirBoukais A., et KissoumHamdini 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, Turkish Journal of Botany, 38 : 536-549.

### M

- **Marulanda A., Azcón R., et Ruiz-lozano JM., 2003:** Contribution of six arbuscularmycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. *Physiologia Plantarum* 119: 526–533.
- **Mechiah F., 2015 :** Approche des symbioses racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Thèse de Doctorat 2015. UMMTO. Pp 125.
- **Miller R-M., Reinhardt D-R., et Jastrow J-D., 1995:** External hyphal production of vesicular-arbuscularmycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia* 103: 17–23.
- **Monjauze A., 1968 :** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. En Algérie. *Bull. Soc. Hist. Not. Afr. Du Nord*, 56 : 1-128.
- **Monjauze A., 1980 :** Connaissance du Bétoum (*Pistacia atlantica* Desf) Biologie et forêt, (4) :356-363.

### O

- **Ozenda P., 1983.** Flore du Sahara deuxième édition C.N.R.S. 566 p.

### P

- **Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroise. ORSTOM. Paris, 569 p.

### Q

- **Quezel P., et Santa S., 1963:** "Nouvelle Flore d'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales", Tome I, Centre Nationale de la Recherche Scientifique, 611 p.
- **Quezel P., et Medail F., 2003 :** Ecologie et biogéographie biologie des forêts d bassin méditerranéenne. Elsevier. Paris.573.

### R

- **Raab P., et Redecker D., 2006:** Phylogeny of the Glomeromycota (arbuscularmycorrhizal fungi): recent developments and new gene markers. *Mycologia*, 98: 885–895.
- **Redhead J.F., 1980:** Mycorrhiza in natural tropical mycorrhiza research mikola, clarondon press, Oxford. pp. 127-142.

- **Rosendahl S., Dodd J-C., et Walker C., 1994.** Taxonomy and pylogeny of the glomales. In: Impact of arbuscularmycorrhizaq on sustainable agriculture and natural ecosystems. Edited by S. Gianinazzi and Schuepp H.

### S

- **Salhi F., 1997 :** Journées d'étude sur les zones arides et sahariennes. Publication INRE.
- **Sancholle M., 2001:** *Glomusproliferum* sp. Nov: a description based on morphological, biochemical, molecular and monoxenic cultivation data. Mycologia, 92: 1178-1187.
- **Sanders I.R., Clapp J.P., etWiemken A., 1996:** The Genetic diversity of AM fungi in natural ecosystems a key to anderstanding the ecology and functioning of the mycorrhizal symbiosis. New phytol.,13: pp.123-134.
- **Schüssler A., Schwarzott D., et Walker C., 2001.** A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycol Res, 105 : 1413-1421.
- **Simon L., Bousquet J., Lévesque R-C., etLalonde M.,1993:**Origine and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. Nature. 363: 67-69.
- **Singh G.,etMukerji K., 2002:** Ericoid Myccorhizae-Current status. Techniques in myccorhizal studies. 365-383.
- **Smith S.E., et Read D.J., 1997:** Mycorrhizal Symbiosis, Second Edition. Academic, London.
- **Strullu D.G., 1990 :** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Collection TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 250 p.

### T

- **Tahrour A., 2005 :** Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) à la sècheresse. Cas de la population d'Oued Besbès (wilaya de Médéa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, UMMTO, 101P.
- **Tisgouine Z., 2010:** Approche de caracteristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas de la forêt de Thniet El Hed (wilaya de Tissemsilt). Mémoire Ing. Agronome, Departement des Sciences Agronomiques, UMMTO, 68p.

- **Thorne, R. et Reveal, J. 2007.** An updated classification of the class Magnolipsida (« Angiospermae »), Bot. Rev., 73(2): 67-182.
- **Trappe J.M., Molina R. and Castellano M., 1984.** Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides. Annu. Rev. Phytopathol., 22 : 331–359.

### V

- **Vierheilig H., et Piché Y., 2002:** Signalling in arbuscular mycorrhiza: facts and hypotheses. En: Buslig B, Manthey J (eds.) Flavonoids in cell functions. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: 23-29.

### Y

- **Yaaqobi A., El Hafid L., Haloui B., 2009 :** Etude biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc. Laboratoire de biologie des plantes et des microorganismes, Département de Biologie .Faculté des Sciences, Université Mohamed I, Oujda (Maroc). BiomatecEcho. Vol 3.N 6.pp.39-39.

### Z

- **Zareb. A., 2014 :** Contribution à l'étude des mycoendophytes foliaires du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate Aiat (Timzerth, Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister Science Agronomique, Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou. 146p.
- **Zohary M., 1952:** A monographic study of the genus *Pistacia*. Palestine. J. Bot. 5, 187-228.
- **Zohary M., 1987.** Flora Palaestina .Platanaceae to Umbelliferae. 2: 296-300.