

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES



En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Foresterie

Option : Écologie forestière

Thème

**Approche comparative de la réponse de la communauté symbiotique des
plantules de deux espèces forestières (*Quercus suber* L., *Quercus canariensis* w.)
soumis à une contrainte hydrique.**

Présenté par : M^{elle} Assia LOUNICI

Présenté et soutenu le 20/12/2020

Devant le jury composé de :

Présidente : Dr Harchaoui-Bournine Ch. MCB-U.M.M.T.O

Promotrice : Dr Kadi-Bennane S. MCB-U.M.M.T.O

Examinatrice : Dr Mezaour N MAA- U.M.M.T.O

Promotion 2019-2020

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES



En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Foresterie

Option : Écologie forestière

Thème

**Approche comparative de la réponse de la communauté symbiotique
des plantules de deux espèces forestières (*Quercus suber* L., *Quercus
canariensis* w.) soumis à une contrainte hydrique.**

Présenté par : M^{elle} Assia LOUNICI

Présenté et soutenu le 20/12/2020

Devant le jury composé de :

Présidente : Dr Harchaoui-Bournine Ch. MCB-U.M.M.T.O

Promotrice : Dr Kadi-Bennane S. MCB-U.M.M.T.O

Examinatrice : Dr Mezaour N MAA- U.M.M.T.O

Promotion 2019-2020

DEDICACE

A la mémoire de mon défunt père.

A ma tendre et chère mère.

A mon frère et ma sœur.

*A tous ceux qui ont participé de
près ou de loin dans l'élaboration de ce
travail.*

Je dédie ce modeste travail

Remerciements

Au terme de ce modeste travail je tiens à exprimer mes profonde gratitude au bon Dieu de m'avoir donné la force pour le réaliser.

*Je remercie particulièrement ma promotrice **Mme KADI-BENNANE**, Docteur esse Maitre de conférences classe B au département des sciences agronomiques de l'U.M.M.T.O qui nous a encadrés et conseillés toute au long de la période de la réalisation de ce travail, et grâce à qui ce mémoire a vu le jour.*

*Et je suis très honorée de la présence de **Mme HARCHAOUI-BOURNINE**, Docteur Maitre de conférences classe B au département des sciences biologiques de l'U.M.M.T.O, qui a présidé le jury.*

*Exprimons nos vifs remerciements à **Mme MEZAOUR Najat** Maitre assistante classe A pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce modeste travail.

En fin, nos profondes reconnaissances à tous les enseignants de l'U.M.M.T.O et particulièrement ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation, avec beaucoup de compétence et de dévouement.

Abstract:

Climate change in the Mediterranean region is causing physiological and physionomic variations in forest ecosystems. This pathology manifests itself in thermal stresses that affect the growth and productivity of trees in their natural area, Among these trees *Quercus suber* and *Quercus canariensis* are typical Mediterranean species of economic and ecological interest and are subject to today's environmental difficulties.

In Algeria, the observation of the invasion of cork oak by the zean oak, and the degradation of the biogeographical area of these two species by drought and recurrent fires endanger these species of Mediterranean oaks.

The objective of this work is to study the response of the symbiotic community of cork oak and zean oak plants subjected to different watering regimes either in 5-day intervals for 3 months and then stopping watering until the sign of wilting (45 days for cork oak and 50 days for zean oak) thus suffering water stress. The results revealed differences in behaviour between cork oak and zean oak in both watering treatments. The zean oak plants exhibited a great wealth of fungal partners ectomycorrhizians, endomycorrhizians and endophytes as well as better resistance to water stress compared to cork oak. Plant roots in both species have endophytious endomycorrhizian symbioses (scrubs) that appear to have been efficient against water stress.

The plants of the two oaks obtained in semi-controlled conditions had a satisfactory mycorrhization at the age of 4 months of cultivation with colonization rates in favour of endophytes for both species. However the zean oak showed a difference in favour also of greater colonization in shrub structures. One can then think that the cork oak in the juvenile stage promotes in addition to endophytes, other processes to combat water stress other than symbiotes.

Keywords : *Quercus suber*. *Quercus canariensis*. Watering regime. Colonization Mycorrhizae symbionts.

Résumé :

Les changements climatiques que connaît la région méditerranéenne sont à l'origine des variations physiologiques et physiologiques des écosystèmes forestiers. Cette pathologie se manifeste par des contraintes thermiques qui affectent la croissance et la productivité des arbres dans leur aire naturelle, Parmi ces arbres : *Quercus suber* et *Quercus canariensis* sont des espèces typiquement méditerranéennes présentant un intérêt économique et écologique et qui sont soumis aux difficultés environnementales d'aujourd'hui.

En Algérie, le constat de l'envahissement du chêne liège par le chêne zéen, et la dégradation de l'aire biogéographique de ces deux espèces par la sécheresse et les incendies récurrents mettent en danger ces espèces de chênes méditerranéens.

L'objectif de ce travail est l'étude de la réponse de la communauté symbiotique des plants de chêne liège et de chêne zéen soumis à différents régimes d'arrosage soit par intervalles de 5 jours pendant 3 mois puis l'arrêt d'arrosage jusqu'à apparition de signe de flétrissement (45 jours pour le chêne liège et 50 jours pour le chêne zéen) subissant ainsi un stress hydrique. Les résultats ont révélé des différences de comportement entre le chêne liège et le chêne zéen dans les deux traitements d'arrosage. Les plants de chêne zéen ont présenté une grande richesse en partenaires fongiques ectomycorhiziens, endomycorhiziens et endophytiques ainsi qu'une meilleure résistance au stress hydrique comparativement au chêne liège. Les racines des plants des deux espèces présentent des symbioses endomycorhiziennes (arbuscules) endophytes et qui semblent avoir été efficient contre le stress hydrique.

Les plants des deux chênes obtenus en conditions semi contrôlés ont présenté à l'âge de 4 mois de culture une mycorhization satisfaisantes avec des taux de colonisation en faveur des endophytes pour les deux espèces. Cependant le chêne zéen a montré une différence en faveur également d'une plus grande colonisation en structures arbusculaires. On peut alors, penser que le chêne liège au stade juvénile favorise en plus des endophytes, d'autres processus pour lutter contre le stress hydrique autres que les symbiotes.

Mots clés : *Quercus suber*. *Quercus canariensis*. Régime d'arrosage. Colonisation Mycorhizes symbiotes.

Table des matières

liste de tableaux	
liste de figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	13
Chapitre I :	
Revue bibliographique.....	16
I. Généralités sur les mycorhizes :	17
I.2. La symbiose mycorhizienne :	17
I.3. Les différents types des mycorhizes.....	17
I.3.1. Les ectomycorhizes :	19
I.3.2. Les endomycorhizes	19
I.3.3. Les ectendomycorhizes	20
I.3.4. Les Mycorhizes monotropoïdes et arbutoïdes.....	20
I.3.5. Les mycorhizes orchidoïdes	20
I.3.6. Les mycorhizes éricoïdes	21
I.3.7. Les pseudomycorhizes : ne forment que des pseudo-pelotons au niveau cellulaire.....	21
I.4. Le rôle des mycorhizes.....	21
I.5. Rôle des mycorhizes dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes.....	24
I.6. Généralité sur le genre <i>Quercus</i>	24
I.6.1. Généralité sur <i>Quercus suber</i>	25
I.6.2. Généralité sur <i>Q. canariensis</i>	26
Chapitre II :	
Matériels et Méthode	28
II. Matériels et Méthode	28
II.1. Méthode d'échantillonnage.....	29

II.2. Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne.....	29
II.2.1. Colonisation et longueur racinaire ectomycorhizienne.....	29
II.2.2. Estimation de la colonisation	31
II.2.3. Effectif des structures endomycorhiziennes par comptage direct.....	34
Chapitre III:	
Résultats et discussion	35
III.1. Statistiques descriptives des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne liège.....	36
III.2. L'analyse de la variance des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne liège.....	37
III.3. Statistiques descriptives des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne zéen.	40
III.4. L'analyse de la variance des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne zéen.	42
III.5. Discussion générale	45
Conclusion générale	47
Références bibliographiques	49
Annexe 1 : La méthode de << grid-line intersect method >>.....	60

Liste des tableaux

<i>Tableau I-1 Les différents types de mycorhizes (Smith et Read, 2008).....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau I-2 Principaux chênes Algériens et leurs superficies (en ha) (Sarir ,2016).....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau III-1 résultats des analyses descriptives de la distribution des différentes variables mesurées à différentes périodes pour le chêne liège</i>	<i>37</i>
<i>Tableau III-2 résultats des analyses de la variance pour les différentes variables mesurées à différentes périodes pour le chêne liège</i>	<i>38</i>
<i>Tableau III-3 résultats des analyses descriptives de la distribution des différentes variables mesurées à différentes périodes pour le chêne zéen</i>	<i>41</i>
<i>Tableau III-4 L'analyse de la variance pour les différentes variables mesurées à différents régimes d'arrosage, pour le chêne zéen</i>	<i>42</i>

Liste de figures

<i>Figure I-1 représentation schématique des sections transversales des huit types de mycorhizes (Garbaye, 2013).....</i>	<i>18</i>
<i>Figure II-1 : technique de comptage des racines ectomycorhizes.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure II-2 les différentes étapes de l'observation des endomycorhizes.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure II-3 Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire</i>	<i>34</i>
<i>Figure II-4 Echelle d'évaluation de la présence des arbuscule</i>	<i>34</i>
<i>Figure III-1 Exemple d'ectomycorhizes observées chez les plants de chêne liège (Quercus suber) sous une loupe binoculaire (G *40) Zeiss</i>	<i>39</i>
<i>Figure III-2 Les structures endomycorhiziennes observées chez les plantules de chêne liège (GX400).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure III-3 Exemple d'ectomycorhizes observées chez les plants de chêne zéen (sous une loupe binoculaire (G *40) Zeiss.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure III-4 Les structures endomycorhiziennes de chêne zéen observées à (GX400)..</i>	<i>44</i>

Liste des abréviations

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

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

Ar : arbuscule

C°: degré Celsius

Cap : coefficient d'aplatissement

Cas : coefficient d'asymétrie

cm: centimètre

Cv : coefficient de variation

Ecart : écart type

F % : la fréquence de mycorhization.

Hy ex : hyphe extramatricielle

Hy in : hyphe intramatricielle.

LT Ecm : le taux d'ectomycorhize

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

M % : Intensité de la colonisation du cortex racinaire

Moy : moyenne.

P : peloton.

SAA : suber avec arrosage

SSA : suber sans arrosage

V : vésicule

ZAA : zéen avec arrosage

ZSA : zéen sans arrosage

Introduction générale

Le bassin méditerranéen constitue un « hot spot » de biodiversité parmi les 34 identifiés à l'échelle mondiale (Quezel et Médail, 2003). La forêt méditerranéenne est caractérisée par une richesse et une diversité génétique importante grâce à sa forte concentration en espèces endémiques. En effet, sur environ 25 000 espèces de plantes présentes dans la région (Myers *et al* 2000), environ 60% sont endémiques (Thompson *et al.*, 2005).

Les écosystèmes de type méditerranéens sont parmi les biomes les plus vulnérables au changement climatique (IPCC 2007). Selon le FAO (2013 in Daoudi, 2017), la superficie du domaine forestier méditerranéen était estimée en 2010 à 85 millions d'hectares environ soit 2% de la surface forestière mondiale. Cependant, ce dernier subit une régression alarmante dans certaines régions dont l'Algérie, qui met en danger sa biodiversité (Zine El Abidine, 2003). D'après le bilan de FAO (2013 in Daoudi, 2017) environ 18% des espèces d'arbres méditerranéennes sont menacées d'extinction. Parmi elles, on dénombre cinq espèces de chênes endémiques.

Les changements climatiques en cours affectent fortement les écosystèmes forestiers méditerranéens. La variabilité interannuelle des précipitations augmentera également ainsi que la fréquence des épisodes de sécheresse extrême (Gao et Giorgi 2008). Ainsi les espèces méditerranéennes seraient exposées à un stress hydrique très intense (Aussenac, 2002 ; Miranda *et al.*, 2002) qui induirait des modifications de leur croissance et de leur taux de survie (Ogaya et Peñuelas, 2011). En effet, Les plantes sont généralement soumises à des stress qui se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (Wang *et al.*, 2001; Araus *et al.*, 2002).

En Algérie, les chênes représentent un capital forestier où ils couvrent près de 40% de la forêt Algérienne (Alatou, 1994).

Quercus suber et *Quercus canariensis* connaissent une dégradation continue et alarmante se traduisant par une régression de sa surface de 440 000 à 229 000 hectares pour le chêne liège (Harfouche *et al.*, 2003) Considérés actuellement comme productifs (soit 10% de la couverture mondiale) et de 65000 à 48000 ha (Messaoudene, 1989) Cette régression est le résultat d'une mauvaise gestion combinée aux changements climatiques affectant le maintien et la production de bois et liège et limitant la régénération naturelle (Rached-Kanouni, 2012) .

La symbiose est une relation à bénéfices réciproques entre deux êtres vivants. Elle a de tous temps permis aux végétaux de dépasser les conditions du milieu affectant leur maintien et leur survie (Smith et Read, 2003). La mycorhize est une association symbiotique entre les racines et les champignons qui jouent un rôle important dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes (Strullu, 1991). Ces champignons proviennent de plusieurs groupes distincts selon le type de structures mises en place au niveau des racines. Les groupes principaux actuellement reconnus sont les endomycorhizes et les ectomycorhizes (Antoine, 2012)

La problématique de notre travail est l'étude du comportement de deux espèces de chêne : *Quercus suber*, *Quercus canariensis*, et de leur communauté symbiotique vis-à-vis de la sécheresse.

De nombreuses études ont été réalisées sur de multiples essences forestières des zones tempérées, aussi bien les feuillus, que les résineux (Strullu, 1985, 1991). Dans les pays d'Afrique, la symbiose mycorhizienne a été très peu étudiée (Bâ, 1990). Quelques essais de mycorhization contrôlée ont toutefois été réalisés dans les forêts d'Afrique (Delwaulle *et al.* 1982 ; Ekwebelam, 1989 In Bâ, 1990).

Ce présent travail est divisé en deux parties :

- Mettre en évidence le statut mycorhizien des jeunes plants âgés de 4 mois de *Quercus suber* et de *Quercus canariensis* face à un stress hydrique contrôlé par un arrêt d'arrosage.
- La comparaison du comportement de la communauté symbiotique des jeunes plants des deux espèces face au stress hydrique.

La présente étude est de ce fait scindée en trois chapitres :

- Le chapitre I qui comporte une synthèse bibliographique relative au mycorhize et au chêne liège et chêne zéen.
- Le chapitre II est consacré au matériel et méthodes d'inventaire réalisé au niveau de laboratoire de recherche.
- Le chapitre III est consacré au traitement des données, l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.
- Nous terminons ce modeste travail par une discussion générale et une conclusion.

Chapitre I :

Revue bibliographique

I.2. La symbiose mycorhizienne :

L'association symbiotique entre plantes et champignons est une relation très ancienne qui se réfère à la période Ordovician, il y a 460 million d'années induite par les Glomales (Heckman et *al.*, 2001).

Il s'agit d'une association intime (c'est-à-dire avec pénétration des tissus de l'un des deux organismes dans ceux de l'autre, ou à l'intérieur même des cellules), durable (c'est-à-dire effective jusqu'à ce que l'un des deux organismes meure) et mutualiste (c'est-à-dire a bénéfice réciproque par l'échange de ressources complémentaires). Dès 1885, FRANK a forgé le terme de mycorhiz (du grec mycor, qui signifie champignon, et rhiz qui signifie racine). Le symbiote participe de façon positive au développement de la plante (Garbaye, 2013).

Les mycorhizes résultent d'une union durable basée sur des échanges réciproques entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Elles constituent des composantes essentielles dans la relation sol-plantes-microorganismes. En effet, environ 90% d'espèces végétales ne peuvent croître normalement sans s'associer à un partenaire fongique (Janos, 1980 ; Gobat et *al.*, 2003). En effet, Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante via la photosynthèse en retour, les hyphes fongiques améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte (Manjunath et *al.*, 1989 ; Gobat et *al.*, 2003)

I.3. Les différents types des mycorhizes

D'après la morphologie de l'organe résultant de l'association plante – symbiote fongique, différents types de mycorhizes, connues sous les noms de mycorhizes arbusculaires, d'ectomycorhizes, d'ectendomycorhizes, de mycorhizes arbutoïdes, de mycorhizes éricoïdes et de mycorhizes à orchidées (Fortin et *al.*, 2008). Selon Garbaye (2013), il existe huit types de mycorhizes. La figure I.1 représente leurs morphologies sur une même coupe transversale de racine et le tableau1, leurs caractéristiques et hôtes préférentiels.

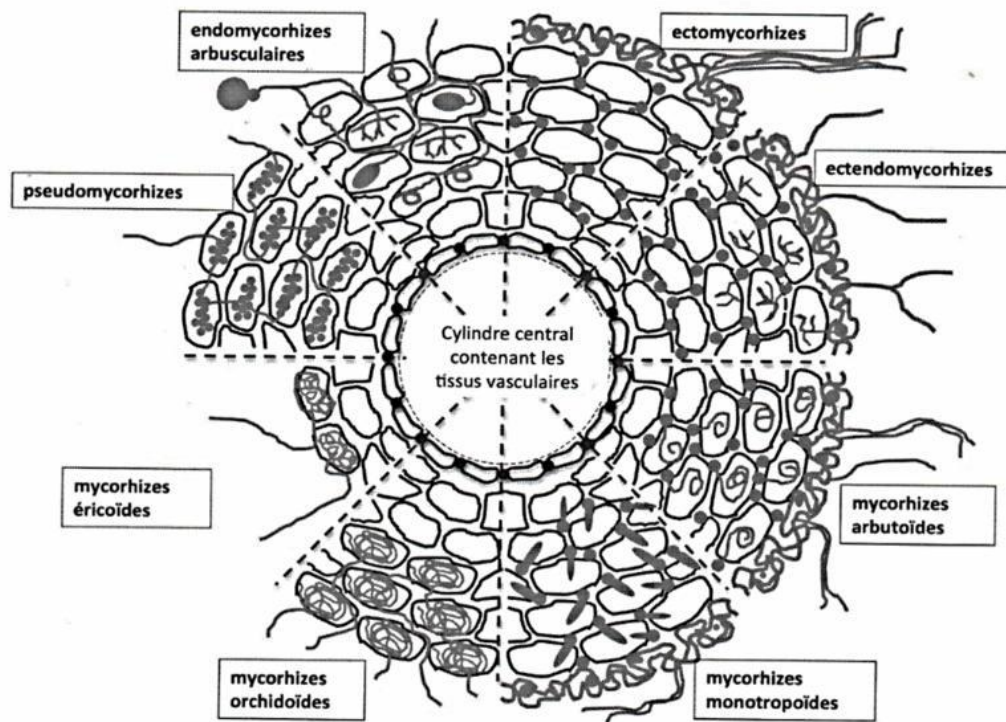


Figure I-1 représentation schématique des sections transversales des huit types de mycorhizes (Garbaye, 2013)

Tableau I-1 Les différents types de mycorhizes (Smith et Read, 2008)

	MA ⁽¹⁾	ECM ⁽²⁾	Ectendomycorhizes	Mycorhizes arbutoïdes	Mycorhizes monotropoïdes	Mycorhizes éricoïdes	Mycorhizes orchidoïdes
Champignon							
Hyphe							
avec cloison	-	+	+	+	+	+	+
sans cloison	+	-	-	-	-	-	-
Arbuscules	+	-	-	-	-	-	-
Pelotons	-	-	+	+	+	+	+
Manteau	-	+	+ ou -	+ ou -	+	-	-
Réseau de Hartig	-	+	+	+	+	-	-
Taxon	Gloméro.	Basidio./Asco. (Gloméro.) [†]	Basidio./Asco.	Basidio.	Basidio.	Asco.	Basidio.
Plante hôte							
Taxon	Bryo./Ptérido. Gymno./Angio	Gymno./Angio.	Gymno./Angio.	Erica.	Monotropa.	Erica./Bryo.	Orchida.
Chlorophylle	+ (-)*	+	+	+	-	+	-**

(1) MA= mycorhizes à arbuscules, (2) ECM = Ectomycorhizes, Gymno.=Gymnosperme ; Angio. Angiospermes ; Erica. =Ericacées ; Monotropa.=Monotropacées ; Orchida. =Orchidacées Gloméro. =Gloméromycota ; Basidio.=Basidiomycota ; Asco. =Ascomycota ; Bryo. =Bryophytes ; Ptérido. =Ptéridophytes ; ECM =ectomycorhizes ; - =absent ; + = présent ; *= rare;** =les Orchidaceae ne sont pas chlorophylliennes au stade juvénile

I.3.1. Les ectomycorhizes :

La symbiose ectomycorhizienne est une association mutualiste entre les racines fines des plantes et des champignons du sol. (Bâ et *al.*, 2011). Les ectomycorhizes (du grec *ecto* qui signifie à l'extérieur). Ces mycorhizes sont essentiellement formées par des Ascomycètes ou des Basidiomycètes et sont surtout observées chez les végétaux ligneux, La plupart des arbres de nos forêts, aussi bien feuillus que conifères, sont ectomycorhizés. Les ectomycorhizes se rencontrent aussi sur le système racinaire de nombreuses espèces d'arbres tropicaux (Dexheimer, 1997)

➤ Manteau fongique

Selon Strullu et Gourret (1980), Garbaye (2013) le manteau fongique véritable tissu fongique formé d'hyphes plus ou moins différenciés et enchevêtrés selon l'espèce de champignon.

➤ Réseau de Harting

Le réseau de Harting résulte de la pénétration plus ou moins profonde d'hyphes mycéliens issus du manteau entre les cellules de la première assise épidermique des racines courtes de la plante hôte ; Il a un rôle équivalent à celui des arbuscules dans les échanges entre partenaires Smith et Read (2003 in Kadi-Bennane, 2016).

Le réseau de Harting est une structure clé de la symbiose, puisque c'est là qu'ont lieu tous les échanges entre les deux partenaires. La partie externe du champignon, c'est-à-dire toutes les structures fongiques qui assurent le contact entre le sol et la racine et développent la grande surface requise pour une absorption efficace, est beaucoup plus diverse et souvent plus différenciée chez les ectomycorhizes que chez les autres types de mycorhizes (Garbaye, 2013).

I.3.2. Les endomycorhizes

Elles sont ainsi nommées parce que le champignon pénètre dans les cellules de l'hôte. Dans ces cellules, il différencie une structure dont la morphologie permet de distinguer plusieurs types d'endomycorhizes : mycorhizes à vésicules et arbuscules, mycorhizes à pelotons. (Dexheimer, 1997).

Les endomycorhizes arbusculaires ne présentent pas de manteau fongique ni de modification morphologique. Le mycélium pénètre entre les cellules du cortex des racines ou franchit les parois de ces cellules en repoussant leur plasmalemme sans le traverser. Ces mycorhizes se caractérisent par la présence constante d'arbuscules intracellulaires qui sont un lieu d'échange entre la plante-hôte et le champignon (Moussain et *al.*, 1997). Certains hyphes se dilatent à leur extrémité pour former d'énormes ampoules intercellulaires ou intracellulaires. Ce sont les **vésicules**.

Dans certaines mycorhizes à vésicules et arbuscules et notamment les mycorhizes des végétaux ligneux, les arbuscules sont observés dans les cellules corticales profondes à proximité du cylindre central. Dans les cellules corticales périphériques envahies par le champignon, l'hyphe ne se ramifie pas et s'enroule sur elle-même, formant un **peloton**. (Dexheimer, 1997).

I.3.3. Les ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes possèdent à la fois des structures typiques des ectomycorhizes et les endomycorhizes. En effet, elles présentent aussi un « réseau de Hartig » ainsi qu'un manteau fongique enroulant la racine mais plus lâche et moins développé que chez les ectomycorhizes. (Peyret-Guzzon, 2014)

I.3.4. Les Mycorhizes monotropoïdes et arbutoïdes

Chez les mycorhizes monotropoïdes, les hyphes forment un réseau de Hartig. Certains hyphes de ce réseau croissent vers les cellules corticales entraînant une invagination de la paroi de ces cellules végétales qui épousent alors l'hyphe. Des protubérances dans les cellules corticales les plus externes se forment donc, permettant les transferts de nutriments. Ce type de symbiose n'est formé que par un nombre limité de Basidiomycota et d'Ericaceae : les Monotropacea. (Peyret-Guzzon, 2014). Les champignons associés aux mycorhizes arbutoïdes sont des Basidiomycètes. Les plantes qui leur sont associées appartiennent aux Arbutoïdées et Pyrolacées (Garbaye, 2013).

I.3.5. Les mycorhizes orchidoïdes

Ce type de symbiose mycorhizienne est nommé *orchidoïde* du fait qu'il est parfaitement circonscrit aux plantes monocotylédones de la famille des Orchidaceae, communément appelées orchidées, Les champignons responsables des mycorhizes *orchidoïdes* ont

pendant longtemps été désignés par le terme générique du grec *Rhizoctonia* (qui signifie tueur de racines) (Garbaye, 2013)

I.3.6. Les mycorhizes éricoïdes

La mycorhize éricoïde est présentée uniquement chez les Ericacées. La mycorhization se limite aux cellules épidermales des racines. Les champignons formant cette symbiose sont des *Ascomycota* du genre *Rhizoscyphus ericae* (Peyret-Guzzon, 2014)

I.3.7. Les pseudomycorhizes : ne forment que des pseudo-pelotons au niveau cellulaire (Smith et Read, 2008).

I.4. Le rôle des mycorhizes

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

1. Amélioration de la nutrition hydrique et minérale :

L'absorption des éléments nutritifs constitue la toute première fonction attribuée aux mycorhizes, notamment l'absorption des éléments peu mobiles du sol, comme le phosphore et le zinc (Fortin *et al.*, 2008). L'absorption du phosphore est améliorée grâce aux endomycorhizes (Bolan, 1991) alors que l'absorption de l'azote est amélioré beaucoup plus par les ectomycorhizes (Fortin *et al.*, 2008). Les ectomycorhizes protègent les racines du dessèchement notamment les champignons *Cenococcum geophilum* (Drenou *et al.*, 2006) .cette efficacité accrue des plantes mycorhizées à absorber les éléments nutritifs du sol vient d'abord de l'augmentation de la surface de contact entre le mycélium fongique et la solution du sol (Fortin *et al.*, 2008). Les hyphes extra-racinaires sont capables de prélever le phosphore bien au-delà de ce qui serait la zone d'épuisement des racines seules et assurent sa translocation au cortex de la racine hôte (Sanders et Tinker, 1971)

L'amélioration de l'alimentation en eau se fait grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté par les hyphes extramatriciel et les cordons mycéliens ; par ailleurs, la meilleure capacité d'absorption et de rétention d'eau par les racines mycorhizées rend les plantes

qui les portent plus résistantes à la sécheresse. Goss (1960) a mis en évidence la grande résistance à la sécheresse des plants mycorhizés alors que Riedaker (1976) et Mousain (1984) observent une meilleure survie des plants mycorhizés, lors de leur transplantation, par une meilleure résistance à la sécheresse.

Les champignons mycorhiziens peuvent atténuer les effets des différents stress que peut subir la plante, dont le stress hydrique. Le rôle du champignon sera donc d'une importance considérable pour le maintien des plantes des zones arides et semi-arides, pendant les premiers stades de croissance.

2. Activité hormonale :

L'action globale des hormones produites par le champignon affecte le port général de la plante, dont la croissance des parties aériennes et souvent favorisée par rapport à celles des racines, les champignons pour ainsi dire remplace partiellement les racines et cela à un moindre coût énergétique (Smith et Read, 2008).

3. Agrégation des sols :

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

4. Protection contre les organismes pathogènes

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

Il a été prouvé expérimentalement que les plantes inoculées avec des champignons mycorhiziens à arbuscules sont plus résistantes aux attaques de champignons pathogènes et l'exposition à des toxines du sol (Fitter, 1991 ; Moser et Haselwandter, 1983 ; Schtiepp *et al.* 1987).

Ces champignons mycorhiziens peuvent intervenir de deux façons et à deux endroits pour protéger les racines contre les champignons pathogènes : i) dans la rhizosphère et ii) dans les tissus racinaires. A l'échelle de la rhizosphère et surtout de la mycorhizosphère, l'espace entourant immédiatement la mycorhize, les micro-organismes sont confrontés à la compétition et à l'antagonisme, ce qui a pour effet d'établir une flore microbienne diversifiée et équilibrée. Dans cet environnement, les propagules des champignons pathogènes ne parviennent pas à proliférer et leur nombre reste toujours relativement faible. Le second mécanisme permettant aux plantes mycorhizées de mieux résister aux maladies. Il est lié à des modifications des activités physiologiques dans la racine. Les plantes agressées par un agent pathogène réagissent en produisant des substances antibiotiques contre ces organismes (Fortin *et al.* 2008).

5. Tolérance aux métaux lourds et au calcaire

La mycorhization limite la diffusion des métaux lourds vers les parties végétales. Ce phénomène est dû au fait que les champignons ont la capacité de filtrer et d'accumuler certains métaux lourds.

De nombreux travaux témoignent aussi d'une meilleure résistance des plants mycorhizés (Clement *et al.* 1977), et d'une tolérance à certains oligo-éléments, comme le cuivre et le zinc (LeTacon. 1976). Piou (1977) a montré par son expérience que la tolérance au calcaire, notamment chez le cèdre et le pin, est liée à leur mycorhization.

6. Production de substances de croissance

Les extrémités des racines en croissance sont le siège de la production de substances de croissance (aussi appelées **hormones végétales**) qui assurent la régulation du développement et de la croissance des différents organes de l'arbre. Il s'agit plus particulièrement des cytokinines et dans une moindre mesure des gibbérellines qui, en équilibrent avec l'auxine, l'éthylène et les polyamines, contrôlent les corrélations entre organes ainsi que le développement de l'arbre. La régénération, la ramification et la croissance des racines sont en grande partie régulée par l'auxine produite au niveau des bourgeons et descendent avec la sève élaborée (Drénou *et al.*, 2006)

I.5. Rôle des mycorhizes dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes

Les mycorhizes jouent un rôle essentiel aux échelles de l'écosystème et du peuplement, de l'arbre et de la cellule. Aux échelles de l'écosystème et du peuplement ; les mycorhizes participent au maintien de la biodiversité végétale et fongique, à la régénération naturelle et au fonctionnement des cycles biogéochimiques. Les champignons mycorhiziens jouent donc un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers, et influent fortement sur la diversité et la productivité des forêts. (Bâ et *al.*, 2011).

Les associations mycorhiziennes jouent un rôle clef dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres en intervenant fortement dans les mécanismes régissant l'évolution spatio-temporelle des écosystèmes. En effet, la présence de plantes supportant déjà des structures mycorhiziennes a été décrite comme un moyen très efficace pour assurer la régénération de l'espèce végétale en facilitant notamment l'infection des jeunes plants et en conséquence leur survie, dans des conditions du milieu souvent hostiles (Simard & Durall, 2004)

I.6. Généralité sur le genre Quercus

Le mot Chêne vient du Gaulois « Cassinu », puis du latin « Casnus », puis du vieux français « Chasne » Dujardin (2010 in Sarir, 2016)

Le genre Quercus comprend plusieurs centaines d'espèces caduques, persistantes ou semi persistantes (entre 200 et 600). Ils sont généralement des arbres monoïque qui portent sur le même pied des fleurs mâles et femelles en des endroits séparés, dont les fleurs mâles sont des fleurs à étamines, les fleurs femelles produisent des fruits appelés glands fixés dans une structure appelée cupule (Maire, 1952 ; boudy, 1950)

La forêt du chêne en Algérie est implantée principalement au centre et à l'Est du pays où les conditions climatiques y sont favorables. Les Principaux chênes Algériens sont : le chêne liège, le chêne vert, le chêne zeen, le chêne afares et le chêne kermès (Maire, 1952 ; boudy, 1950 ; Quezel et Médail, 2003).

Tableau I-2 Principaux chênes Algériens et leurs superficies (en ha) (Sarir ,2016)

Chêne liège	Chêne vert	Chêne zeen et Afares	Source bibliographique
426000	679000	-	(Boudy, 1955)
230 000	108 000	48 000	(DGF, 2007)

I.6.1. Généralité sur *Quercus suber*

Le chêne liège est apparu au cours des glaciations du tertiaire dans le bassin méditerranéen, il remonte à plus de 60 millions d'années et est décrit pour la première fois par LINNE(1753) (NATIVIDADE, 1956). *Quercus suber* est une essence forestière d'une valeur économique, environnementale et sociale. Dans le bassin méditerranéen, il occupe plus de 2 000 000 ha (Varela, 2008).

Dans le monde le chêne liège représente, selon Apcor (2012 in Kadi-Benane, 2016), une surface totale d'environ 2,5 millions hectares dans le bassin méditerranée avec 1,5 millions d'hectares (soit 67 %) pour la rive septentrionale (Portugal 34% ; Espagne 27% ; France 3% et Italie 3%) et 33% de la surface totale dans la rive méridionale (Algérie 11%, Maroc 18% et Tunisie 4 %). Cependant, son aire biogéographique se morcelle et diminue d'année en année.

D'après DGF (2005 in Guettas 2012) En Algérie, la subéraie se situe du littoral à une altitude moyenne de 900 m. Nous le retrouvons sur les versants sud de l'Akfadou et de Theniet El Hed à 1200 m. Les principales subéraies du pays se localisent depuis la wilaya de Tizi-Ouzou. Jusqu'à la limite frontalière avec la Tunisie. A l'Ouest, le chêne liège forme des peuplements forestiers à M'Sila, Oran, Tlemcen et Mascara.

Le chêne liège pousse entre 0 et 2000 m d'altitude dans les étages bioclimatiques subhumide et humide mais peut atteindre 2400 m d'altitude (Quezel et Médail, 2003). Du point de vue étages de végétation, le chêne-liège apparaît au méso-méditerranéen et au thermo-méditerranéen mais il peut aussi se développer au supra-méditerranéen et au méditerranéen supérieur sans qu'il soit l'essence principale de ces deux étages de végétation (Benabid, 2000). C'est une espèce héliophile, exigeant de forts

ensoleillements, et thermophile poussant entre 13 et 16°C, craignant les gelées. Elle est strictement calcifuge colonisant surtout les sols siliceux (Quezel et Médail, 2003)

Quercus suber est un arbre de moyenne grandeur avec une moyenne de 10 à 12 mètre .il peut atteindre exceptionnellement 20 à 22 m, et une circonférence de 3 m. (Guettas., 2012). Son port est variable en fonction de la densité du peuplement : tronc court et houppier étalé dans les peuplements clairs (impact anthropique marqué) ou tronc long et houppier élancé dans les peuplements denses. Le chêne liège est toutefois une espèce héliophile, il présente un couvert léger laissant passer la lumière. Il peut vivre jusqu'à 250 à 300 ans mais les levées successives, les éventuels incendies et les conditions stationnelles, diminuent fortement cette longévité. (Chaabana, 2012)

Selon Veillon (1998 in Belhocine, 2012) Le système racinaire du chêne liège est pivotant : il est constitué d'une grosse racine principale qui sert de support à l'arbre. et de racines secondaires plus superficielles. Il permet ainsi l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux. Il peut s'emmêler avec les racines des arbres voisins (échanges de substances nutritives) et s'associer avec le mycélium de certains champignons pour être ainsi mycorhizées.

La surface forestière du chêne liège en Algérie est en constante régression. Les causes sont nombreuses (régénération naturelle faible, enrésinement, mauvaise exploitation du liège, attaques parasitaires...) mais les incendies restent la principale cause de cette régression Bouhraoua (2015 in Daoudi, 2017). Les conséquences de la réduction des subéraies sont la disparition de cet écosystème typique de la méditerranée mais aussi la réduction de la production en liège. Afin de reconstituer le couvert forestier, de nombreuses opérations de reboisements ont été entreprises. En effet, depuis 2000, le chêne liège occupe la première place des espèces reboisées (24% des superficies boisées). Malheureusement, les taux de réussite de ces reboisements sont souvent faibles et insatisfaisants et les causes de cet échec sont multiples (technique, organisationnel et écologique). Le taux de survie des plants passe de 80-90% à 20-50% après la saison estivale (Messaoudène, 2011)

I.6.2. Généralité sur *Q. canariensis*

Le Chêne zéen fait partie d'un groupe d'espèces caducifoliées endémique du Maghreb où il occupe 102 000 ha. Il est une espèce monoïque pouvant atteindre plus de 30m de hauteur et un diamètre de 2m à 1,30m du sol, avec un fût très élancé et un houppier étalé

en peuplements clairs et fastigié dans le des formations très denses. Son écorce est profondément fissurée de couleur brun foncé (Quezel et Médail, 2003)

Le Chêne zéen peut atteindre des âges de plus de 550 ans et présentant des circonférences allant jusqu'à huit mètres. La qualité du bois de cette espèce est classée différemment, les forestiers le considèrent comme étant médiocre mais des études faites dans ce contexte ont montré que ce bois peut présenter un intérêt économique et contribuer au développement durable (Messaoudene et *al.*, 2008).

L'aire mondiale du chêne zéen se limite à la rive sud-occidentale du bassin méditerranéen (territoire ibéro – maghrébin). Au Maroc, il est présent dans le Rif, le Plateau Central, le Moyen Atlas et même dans le Haut Atlas (Achhal et *al.*, 1980). En Tunisie, il est en mélange avec le chêne liège. Il forme toutefois deux vastes massifs à Feidja et Ain Draham (Rabhi ,2011)

En Algérie, il est commun dans les montagnes depuis l'est jusqu'à la frontière tunisienne. A l'extrême ouest il est représenté par la sous-espèce *Q. tlemciensis* Alkaraz (1989 in Rabhi ,2011). Selon Kaouane (1987 in Rabhi, 2011) Il forme de très beaux peuplements en Kabylie (Ait Ghobri, Akfadou, Babors, Tamesguida, Kefrida et Tassentout), dans la région de Jijel (forêt de Guerrouch), à Annaba (forêt de l'Edough), à l'extrême est (Djebel Ghora, El Kala et Souk Ahras). De petits peuplements à l'état disséminé sont localisés dans la région de Ténès, à Teniet El Had, Cherchel, Chréa, Djurdjura, l'Aurès et le Hodna.

Le chêne zéen se rencontre dans les bioclimats subhumide et humide à variante tempérée et trouve son optimum de développement dans le supraméditerranéen. La tranche altitudinale élective de cette espèce se situe entre 800 et 1500m d'altitude. Quant à la nature du substrat il préfère les sols profonds, meubles et évite les sols argileux (Boudy, 1950)

Chapitre II :

Matériels et Méthode

II.1. Méthode d'échantillonnage

Les glands des deux espèces de chêne ont été récoltés en automne dans la forêt d'Ath Ghobri, située à 160 km environ à l'est d'Alger et distante de 20 km de la mer. La forêt d'Ath Ghobri, dépend administrativement des départements de Tizi-Ouzou (Messaoudène et *al.*, 2007). Les glands sont disposés dans un sachet en plastique stérile et conservé au réfrigérateur à 4°C pendant 45 jours pour une stratification.

Nous avons semis les glands au début février dans des conditions semis contrôlé par un arrosage périodique et une lumière blanche au niveau du laboratoire. Le dispositif expérimental mis en place et suivie jusqu'au mois de juin de l'année 2016.

L'expérimentation a comptées 20 pots répartis de la manière suivante: 10 pots pour le chêne liège et 10 pots pour le chêne zéen. Les pots ont été surélevés et disposés en deux blocs égaux (5/5). Dans chaque pot dix glands sont déposés délicatement. un bloc est arrosé par intervalle de 5 jours pendant trois mois pour les deux espèces et le deuxième bloc est arrosé tous les dix jours pendant les premiers mois puis laissé sans arrosage pendant 45 jours pour le chêne liège et 50 jours pour le chêne zéen (la dernière période critique pour l'apparition des signes de flétrissement chez les plants des deux espèces) afin d'induire un stress hydrique. Les plants ont demeuré 4 mois en pots au niveau de laboratoire de recherche

II.2. Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne

II.2.1. Colonisation et longueur racinaire ectomycorhizienne.

Les racines des plants des deux espèces sont prélevées et conservées dans des piluliers remplis de FPA (Formol (3%), Acide propionique (5%) et Ethanol à (70°)) pour la conservation et fixation des tissus. Les systèmes racinaires des plants sont examinés à la loupe (pour observer les racines **ectomycorhizées (REM)**, et dénombrer les taux de colonisation (**TRM**) ainsi celles non mycorhizées (**RNM**) suivant une adaptation de la méthode d'intersection de Giovanett & Mosse (1980). Cette méthode est appelée « grid-line intersect method » (Annexe1). Elle consiste à étendre les racines à boîte de pétri munie de quadrillage de 1 cm. A l'aide d'une binoculaire, les racines qui croisent l'une des lignes de quadrillage sont observées à fin de déterminer si elles sont mycorhizées ou non au niveau de l'intersection (Martin, 1998).

Chapitre II : Matériel et Méthode

Le comptage est réalisé de la manière suivante : 30 cm de fragments racinaires sont réparties au hasard dans une boîte de pétri quadrillée. A l'aide d'une loupe binoculaire, nous avons d'une part compté toutes les intersections des racines ectomycorhiziées et d'autre part, toutes les racines non mycorhizées. La formule de calcul adoptée est la suivante :

$$\text{TRM} = (\text{REM}/\text{RNM}) \times 100$$

TRM : taux des racines mycorhizées intersectées avec le tracé de la boîte de pétri, exprimé en pourcentage (longueur de racines mycorhizées) ;

REM : nombre total d'intersections des racines mycorhizées et non mycorhizées avec le tracé de la boîte de pétri.

Le comptage est effectué trois fois afin de minimiser les risques d'erreur. Nous avons ensuite calculé la moyenne pour chaque plant. Les valeurs sont exprimées en pourcentage de longueur de racines mycorhizées.

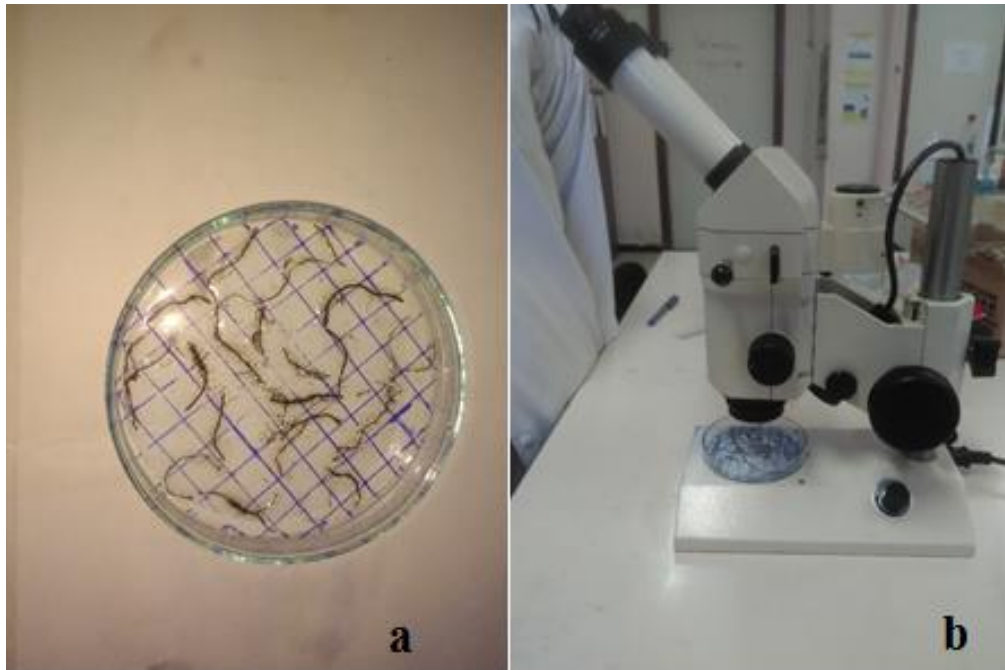


Figure II-1 : technique de comptage des racines ectomycorhizes

a : Racines préparées dans une boîte de pétri avec quadrillage de 1 cm² ; **b** échantillon sous une loupe binoculaire Zeiss

II.2.2. Estimation de la colonisation

Pour l'observation et l'estimation de la colonisation des racines par les endomycorhizes, un traitement et une coloration préalable des racines sont nécessaires. Un échantillon de 30 cm de racines par plant est prélevé au hasard et soumis au traitement de Philips et Hayman (1970), qui consiste à traiter les racines préalablement lavées en trois étapes essentielles (fig. II.2) :

Les racines sont placées au bain marie à chauffer pendant 4 heures dans des tubes à essai rempli de potasse (KOH) à 10 % pour vidées les cellules de leurs contenus cellulaires suivi d'un rinçage des racines à l'eau distillées ;

Les mises dans l'eau oxygénée H₂O₂ pendant 20 à 30 minutes suivies d'un rinçage avec l'eau distillé.

Les réchauffées dans un bain marie pendant 30 minutes dans des tubes à essai rempli de potasse suivi d'un rinçage avec l'eau distillé.

Les racines sont neutralisées dans l'acide lactique à 1% pendant 5 minutes puis colorées au bleu Trypan à 0,03 % pendant 10 à 15 minutes suivi d'un rinçage avec l'eau distillé.

Le taux de la colonisation mycorhizienne a été estimé selon la méthode de Trouvelot et *al*, (1986). Une trentaine de fragments de racine d'environ 1 cm de longueur prélevés de chaque échantillon coloré. Nous avons mis 10 fragments de 1 cm de longueur pour chacun, ils ont été disposés parallèlement entre lame et lamelle, dans une goutte de glycérol. La mycorhization s'observe à l'examen au microscope photonique (X40) par une coloration bleue foncée des structures fongiques dans les racines.

Le calcul de plusieurs variables a permis d'estimer la colonisation des racines de chêne liège et de chêne zéen soumis aux différents régimes d'arrosage. Cinq paramètres de la colonisation sont retenus :

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

$$F(\%) = 100(N-n_0)/N$$

Avec :

N : nombre de fragment observés

n0 : nombre de fragment sans trace de mycorhization

M % : Intensité de la colonisation du cortex racinaire (proportion du cortex colonisé estimée par rapport au système racinaire entier et exprimée en %), elle reflète l'importance de la colonisation du système racinaire. Une annotation selon un barème de classe et ainsi le degré de la colonisation mycorhizienne de chaque fragment au moyen de six classes notées de 0 à 5 (Figure II.3)

$$M(\%) = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / N$$

n₅= nombre de fragments mycorhizés notés 5, n₄= nombre de fragments notés 4, n₃= nombre de fragments notés 3, n₂= nombre de fragments notés 2, n₁ = nombre de fragments notés 1. Ce paramètre traduit le mieux le degré de mycorhization.

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

$$m(\%) = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / (N - n_0)$$

a % : Teneur arbusculaire de la colonisation dans la partie mycorhizée du système racinaire (proportion colonisée renfermant des arbuscules, %). et la richesse arbusculaire par quatre classes notées A0, A1, A2 et A3 (Figure II.4).

$$a(\%) = (100 m_{A3} + 50m_{A2} + 10m_{A1}) / 100$$

Avec : m_{A3}, m_{A2} et m_{A1} sont les pourcentages de mycorhization de qualité arbusculaire données, calculés suivant le modèle :

$$m_{A1} = (95n_{5Ai} + 70n_{4Ai} + 30n_{3Ai} + 5n_{2Ai} + n_{1Ai}) / (N - n_0)$$

Avec :

n_{5 Ai}, n_{4 Ai}, n_{3 Ai}, n_{2 Ai}, n_{1 Ai} sont respectivement les nombres de fragments notés 5Ai, 4Ai, 3Ai, 2Ai, 1Ai (figure II.4)

Chapitre II : Matériel et Méthode

N-n0 : nombre de fragments mycorhizés

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

$$A(\%) = a \times M/100$$

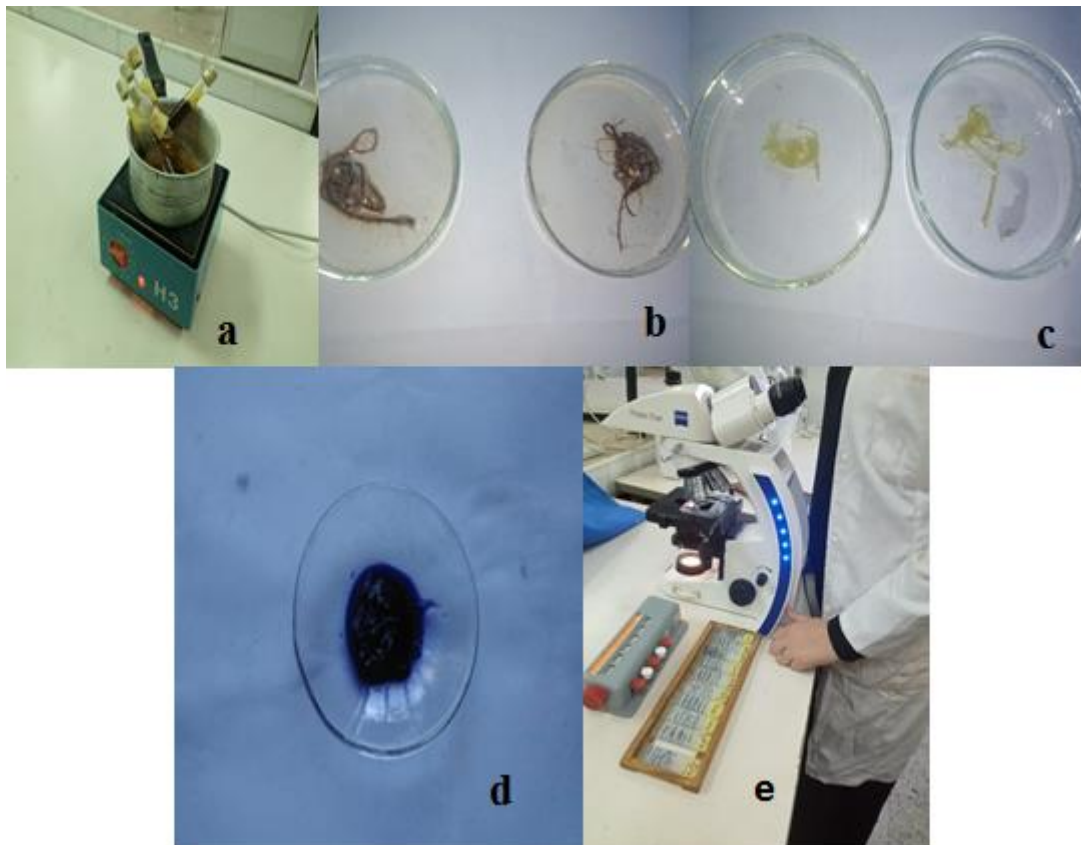


Figure II-2 les différentes étapes de l'observation des endomycorhizes

a : racines mis en chauffage ; b : racines dans l'eau oxygénée ; c : racines mis dans l'acide lactique ; d : racines mis en bleu Trypan ; e : disposition des fragments de racines pour l'observation et le comptage des structures endomycorhiziennes sous un microscope ZEISS.

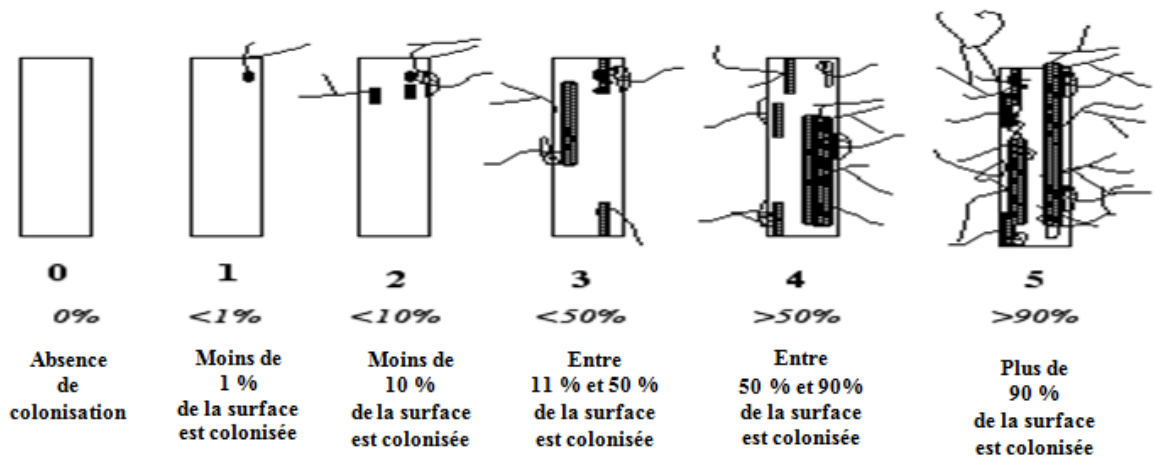


Figure II-3 Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire

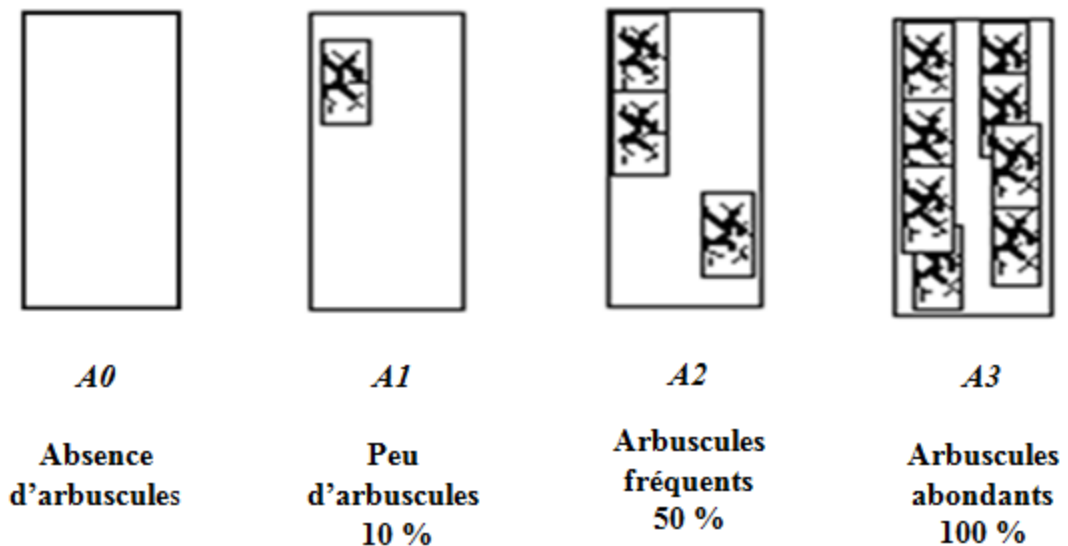


Figure II-4 Echelle d'évaluation de la présence des arbuscules

II.2.3. Effectif des structures endomycorhiziennes par comptage direct

Une fois l'estimation des paramètres d'estimation réalisée, les mêmes lames sont soumises à un comptage direct des structures endomycorhiziennes par la méthode de Trouvelot et *al.*, (1986). Pour le comptage des endomycorhizes tous les éléments fongiques (arbuscules, vésicules, pelotons et hyphes) observés dans les fragments de racines sont pris en considération ainsi que les endophytes. Le comptage direct est réalisé trois fois sur les mêmes lames afin de calculer une moyenne des valeurs pour minimiser les erreurs.

Chapitre III :

Résultats et discussion

III.1. Statistiques descriptives des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne liège.

Les résultats de l'analyse descriptive des variables mesurés de la colonisation mycorhizienne des plants de chêne liège (Tableau III.1) révèlent une distribution homogène des variables fréquence de mycorhization et teneur en arbuscules pour les plants arrosés avec des coefficients de variation respectif de 7% et 22% et de 11% et 22% pour les mêmes variables chez les plants non arrosés. Une distribution hétérogène est, cependant, enregistrée pour les effectifs par comptage direct des structures arbuscules, Vésicules, Hyphes intramatricielles, Hyphes extramatricielles, Pelotons, Taux d'arbuscule, endophytes, le taux d'ectomycorhizes et le taux d'endomycorhizes avec des coefficients de variations qui dépassent largement 35% pour les deux traitements.

Une forte colonisation des racines par les champignons ectomycorhiziens est observée sur les racines des plants arrosés avec une longueur de 51.28 ± 17.87 . Les plants qui ont subi une rupture d'arrosage ont par contre enregistré une longueur moyenne de 54.8 ± 15.02 légèrement plus important.

La présence des endomycorhizes dans les racines des plants pour les deux traitements, avec des taux de colonisation moyens : 12.98% pour les plants arrosés et 22.16% pour les plants non arrosés.

La distribution des variables mesurées révèle une répartition normale en cloche avec une distribution dissymétrique à gauche ($Cas < 0$) pour les variables : taux d'ectomycorhizes, Fréquence de la mycorhization et teneur en arbuscule (a) dans les deux traitements. La variable comptage direct des néophytes des plants arrosés a, aussi, présenté un coefficient d'asymétrie égale à -0.06 signalé une très faible dissymétrie à gauche. Une asymétrie à droite est enregistrée pour les distributions des autres variables.

Tableau III-1 résultats des analyses descriptives de la distribution des différentes variables mesurées à différentes périodes pour le chêne liège

Traite ment	variables descriptives	Ar	V	Hy in	End	p	Hy ex	F(%)	M (%)	m(%)	LT Ecm(%)	a(%)	A(%)
SAA	M	40,11	3,1	2,49	2,49	0,17	38,07	92,66	12,98	14,19	50,1	66,59	9,53
	Ecart	21,1	2,28	1,67	1,18	0,19	21,19	7,33	13	15,3	198,32	14,88	11,05
	Cas	0,76	0,09	0,83	-0,06	0,51	0,75	-0,32	1,07	1,4	-2,42	-0,12	1,45
	Cap	2,35	1,42	3,24	1,89	1,56	2,49	1,75	2,87	3,89	7,33	1,86	3,98
	CV	0,52	0,73	0,67	0,47	1,11	0,55	0,07	1	1,07	3,95	0,22	1,15
SSA	M	57,11	2,93	5,57	4,01	0,08	23,69	91,33	22,16	23,52	54,8	69,34	15,48
	Ecart	33,55	2,01	2,67	2,37	0,13	10,58	10,79	12,48	11,68	64,06	15,41	8,54
	Cas	0,5	0,33	0,02	0,28	1,2	0,7	-0,79	0,4	0,35	-1,5	-0,28	0,17
	Cap	1,63	1,72	1,75	1,48	2,76	2,51	2,33	1,88	1,86	5,02	1,64	2,39
	CV	0,58	0,68	0,47	0,59	1,56	0,44	0,11	0,56	0,49	19,76	0,22	0,55

III.2. L'analyse de la variance des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne liège.

L'analyse de la variance réalisée pour les variables des plants de 4 mois du chêne liège soumis au deux traitements révèle des différences significatives pour les variables de comptage direct des endophytes et des hyphes (extramatricielle et intramatricielle). Contrairement aux autres variables LT Ecm, Ar, V, F, M, m qui n'ont présenté aucune différence significative entre les deux traitements.

Tableau III-2 résultats des analyses de la variance pour les différentes variables mesurées à différentes périodes pour le chêne liège

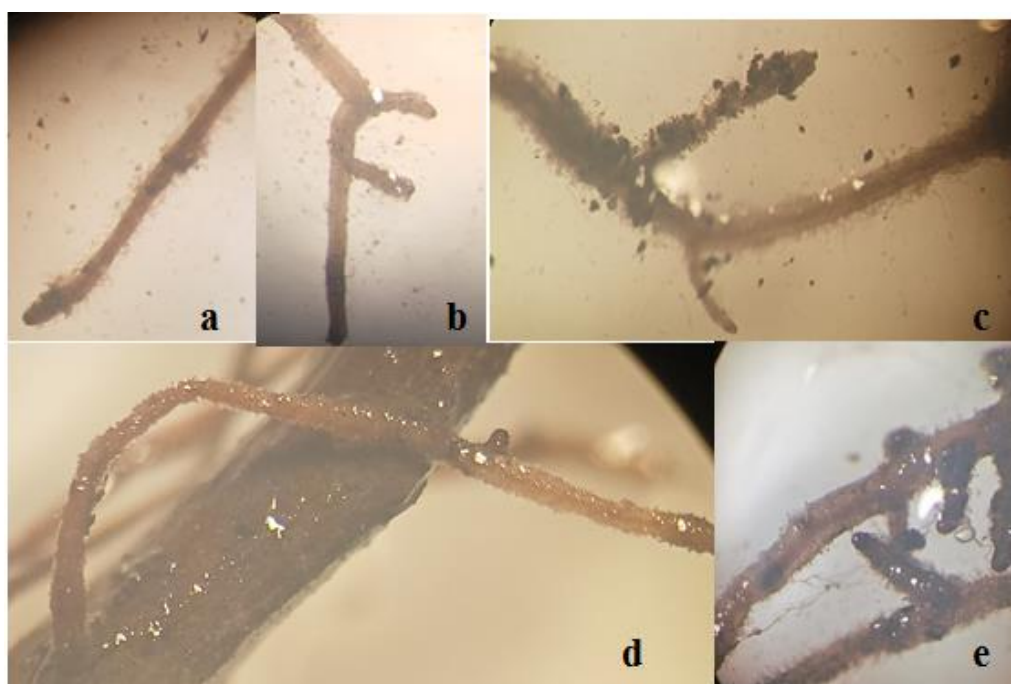
Variabes	Arrosage (5jrs)	Sans arrosage (pdt45jrs)	Probabilité
LT Ecm(%)	51.28±17.87	54.8±15.02	0.63
F(%)	92.66±7.33	91.33±10.79	0.75
M(%)	12.98±13	22.16±12.48	0.12
m(%)	14.19±15.30	23.52±11.68	0.14
a(%)	66.59±14.88	69.34±15.41	0.68
A(%)	9.53±11.05	15.48±8.54	0.19
Ar	40.11±21.10	57.11±33.55	0.19
V	3.10±2.28	2.93±2.01	0.86
Hy in	2.49±1.67	5.57±2.67	<0.01**
Endo	2.47±1.18	4.01±2.37	0.08*
p	0.17±0.19	0.086±0.13	0.24
Hy ex	38.07±21.19	23.69±10.58	0.07*

La longueur racinaire ectomycorhizée ainsi que les variables estimées de l'endomycorhization ne semble ne pas affecté lors des premiers mois de développement des plants de *Q. suber* par le phénomène d'arrêt d'arrosage. En effet, l'analyse de la variance réalisée permet de noter l'absence de différence significative pour ces variables mesurées de colonisation par les ectomycorhizes et les endomycorhizes.

Cependant, des différences significative, voire hautement significative sont observées entre- la colonisation des plants des deux traitements pour les variables colonisation en endophytes, hyphes intra et extra matricielle entre les plants arrosés et non arrosés.

Des études faites sur des graminées fourragères montrent que les endophytes augmentent de manière significative la tolérance à la sécheresse (Clay et Schardl, 2002). Ce phénomène peut s'expliquer par l'accumulation accrue de solutés dans les tissus des plantes infectées par les endophytes par rapport aux autres, ou par la réduction de la conductance foliaire et un ralentissement du flux de transpiration (Malinowski et Belesky, 2000).

Les hyphes extra et intra matricielles représentent un mycélium pouvant explorer un volume de sol beaucoup plus important que les racines. En effet, et Wu et *al* (2008) leurs confèrent la capacité d'accès à un réservoir hydrique plus important dans les interstices du sol et peut ainsi aider au maintien de l'équilibre hydrique et minéral de la plante.



*Figure III-1 Exemple d'ectomycorhizes observées chez les plants de chêne liège (Quercus suber) sous une loupe binoculaire (G *40) Zeiss*

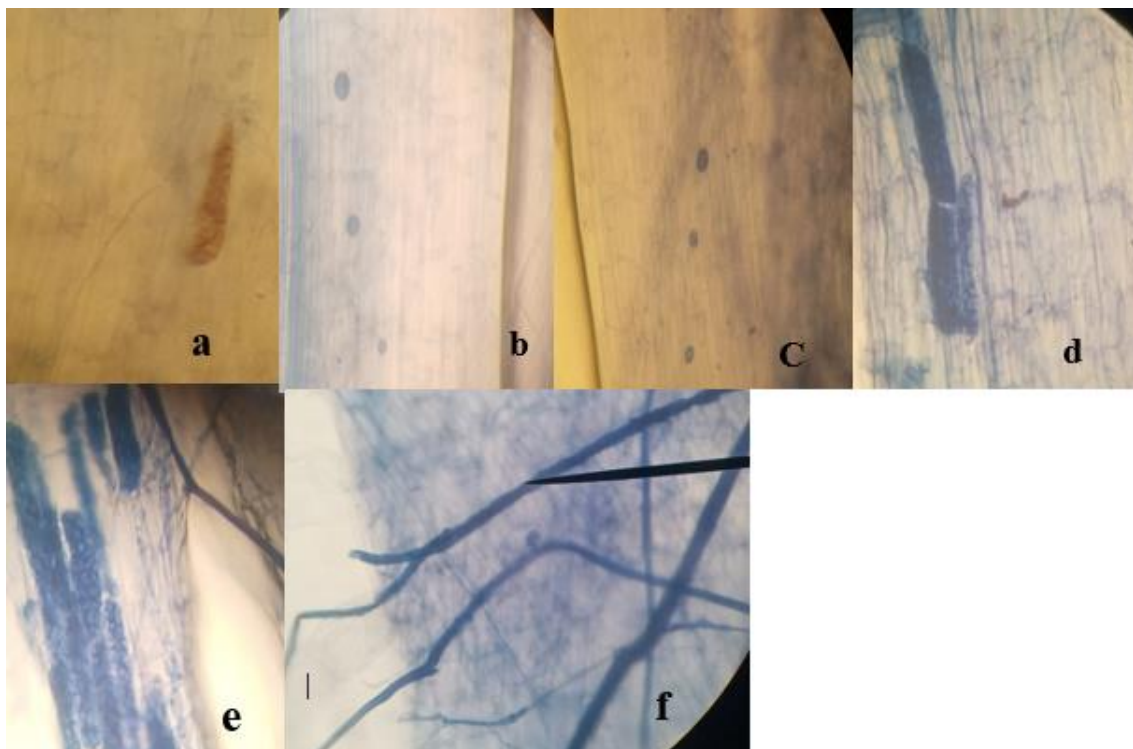


Figure III-2 Les structures endomycorhiziennes observées chez les plantules de chêne liège (GX400)

a : endophyte ; b, c les vésicules ; d, e : arbuscules ; f : hyphe extramatricielle.

III.3. Statistiques descriptives des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne zéen.

Les résultats de l'analyse descriptive des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne zéen (Tableau III.3) montrent une homogénéité de distribution des variables estimées soit la fréquence de mycorhization, la longueur racinaire ectomycorhizée et le taux d'arbuscule (A) pour les plants arrosés avec des coefficients de variation respectif 13% et 25% et 24%. Une distribution hétérogène est cependant enregistrée pour les effectifs par comptage direct des structures arbuscules, Vésicules Hyphes intramatricielles, Hyphes extramatricielles, Pelotons, , endophytes et variables estimées soit la teneur en arbuscules, l'intensité de mycorhization(m) et le taux d'endomycorhize avec des coefficients de variations qui dépassent largement 35%.

Chapitre III : Résultats et discussion

Une distribution homogène des Fréquence de mycorhization, Hyphes intramatricielles, le taux d'ectomycorhizes et teneur en arbuscule avec des coefficients de variation respectif de 10 %, 31%, 22% et 26%. Une distribution hétérogène cependant enregistrée pour les autres variables mesurés avec des coefficients des variations supérieures à 35%.

Une colonisation des racines par les champignons ectomycorhiziens est observée sur les racines des plants non arrosés d'une longueur de 72.35 ± 7.09 est légèrement plus faible que celle observées chez les plants arrosés enregistré d'une valeur moyenne de 75.63 ± 8.87 . Cette différence est, cependant, non significative.

La présence des endomycorhizes enregistrée avec des taux de colonisation moyens : de 6.24 % chez les plants arrosés est plus importante que chez les plants non arrosés qui ont présentés des effectifs bien inférieurs d'une valeur de et 1.18 %.

La distribution des variables mesurées révèle une répartition normale en cloche avec une distribution dissymétrique à gauche ($Cas < 0$) pour le taux d'ectomycorhizes dans les deux traitements. Par contre, les autres variables montrent une distribution asymétrie à droite.

Tableau III-3 résultats des analyses descriptives de la distribution des différentes variables mesurées à différentes périodes pour le chêne zéen

Traite ment	Variables descriptives	Ar	V	Hy in	End	p	Hy ex	F(%)	M(%)	m(%)	L Ecm (%)	a(%)	A(%)
ZAA	M	28,46	2,28	2,48	5,49	0,35	11,14	80,99	6,24	7,34	66,04	66,59	4,42
	Ecart	21,1	2,78	1,21	3,13	0,32	10,12	10,89	10,2	11,73	16,56	16,07	6,69
	Cas	1,77	1,56	0,56	0,78	1,14	2,02	0,2	2,34	2,34	-0,65	0,43	2,02
	Cap	5,02	4,2	3,2	2,87	4	6,13	2,3	7,06	7,02	2,62	1,7	5,92
	CV	0,74	1,21	0,48	0,57	0,92	0,9	0,13	1,63	1,59	0,25	0,24	1,51
ZSA	M	16,03	1,65	2,13	3,08	0,21	10,56	81	1,18	1,48	60,57	28,87	0,37
	Ecart	5,9	3,47	0,67	1,62	0,22	6,11	8,61	0,57	0,73	13,83	7,69	0,31
	Cas	1,74	2,56	0,81	2,16	1	1,78	0,42	1,83	1,72	-0,32	0,91	2,21
	Cap	5,44	7,79	3,13	6,42	2,63	5,66	2,89	5,59	5,1	2,54	3,48	6,66
	CV	0,36	2,1	0,31	0,52	1,07	0,57	0,1	0,48	0,49	0,22	0,26	0,83

III.4. L'analyse de la variance des variables mesurés de la colonisation ectomycorhizienne et endomycorhizienne des plants de chêne zéen.

L'analyse de la variance réalisée pour les variables des plants des plants arrosés et non arrosés de *quercus canariensis* (tableau III.4) ne montre aucune différence significative pour les variables de comptage direct des taux d'ectomycorhizes, les hyphes (extramatricielle et intramatricielle), la fréquence de mycorhization, l'intensité de mycorhization (M et m), les pelotons.

Par contre la colonisation des racines en arbuscules pour les variables estimées et par comptage direct (A, a et Ar) et les endophytes ont présenté une différence hautement significative au stress hydrique à P=5%.

Tableau III-4 L'analyse de la variance pour les différentes variables mesurées à différents régimes d'arrosage, pour le chêne zéen

Variables	arrosage (5jrs)	Sans arrosage (dpt 45jrs)	Probabilité
L Ecm	75.63±8.87	72.35±7.09	0.37
F(%)	80.99±10.89	81±8.61	1
m(%)	6.24±10.20	1.18±057	0.13
M(%)	1.48±11.73	1.48±0.73	0.13
a(%)	4.42±6.69	28.87±7.69	<0.001***
A(%)	9.53±11.05	0.37±0.31	0.07*
Ar	28.46±21.17	16.03±5.90	0.09*
V	2.28±2.78	1.65±3.47	0.65
Hy in	2.48±1.21	2.13±0.67	0.43
Endo	5.49±3.13	3.08±1.62	0.04*
p	0.35±0.32	0.21±0.22	0.26
Hy ex	11.14±10.12	10.56±6.11	0.87

L'analyse de la variance réalisée permet de noter l'absence de différence significative pour ces variables, la longueur racinaire ectomycorhizée ainsi que les variables estimées de l'endomycorhization qui semblent ne pas être affectées lors des premiers mois de développement des plants de *Q. canariensis* par le phénomène d'arrêt d'arrosage.

Contrairement au taux de structures arbusculaires des différences significative, voire très significative sont observées entre les la colonisation des plants des deux traitements pour les variables à savoir : colonisation en arbuscules, teneur en arbuscule, taux d'arbuscule mais aussi le nombre d'endophytes, chez les racines des plants des deux traitements.

Des études montrent que les endomycorhizes à arbuscule permettent de réduire les symptômes du stress en complément des mécanismes protecteurs intrinsèques de la plante (Ruiz-lozano, 2003).). Il semble que le chêne zeen contrairement au chêne liège implique ces partenaires fongiques symbiotiques endomycorhiziens dans sa résistance aux conditions de sécheresse du sol qu'il subit dès les premier mois.

Augé (2001) montre que les plantes mycorhizées appliquent face au stress hydrique des mécanismes dans la protection qui seraient liés à une meilleure nutrition phosphatée. Celle-ci améliore la photosynthèse et accroît la biomasse de la plante, mais aussi à un meilleur accès à l'eau du sol et au maintien de l'équilibre hydrique dans la plante. La tolérance de ces plantes au stress hydrique attribuée à un ensemble de processus physiologiques dont une meilleure nutrition hydrique conduisant à un meilleur développement de la plante (Augé, 2001 ., Ruiz-Lozano et *al.*, 1995).

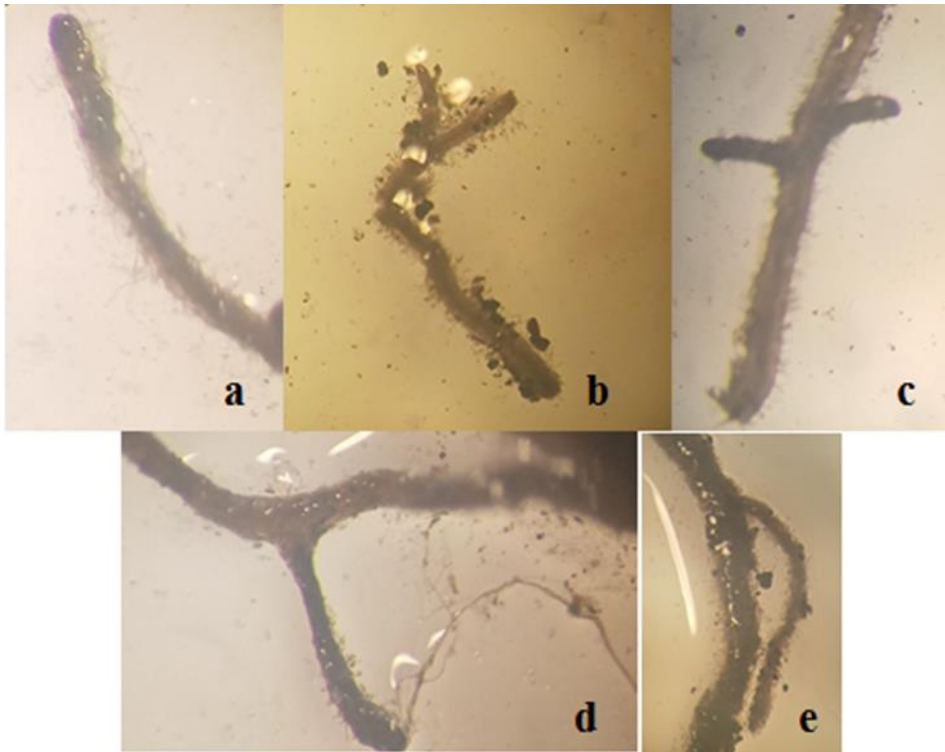


Figure III-3 Exemple d'ectomycorhizes observées chez les plants de chêne zéen (sous une loupe binoculaire (G *40) Zeiss)

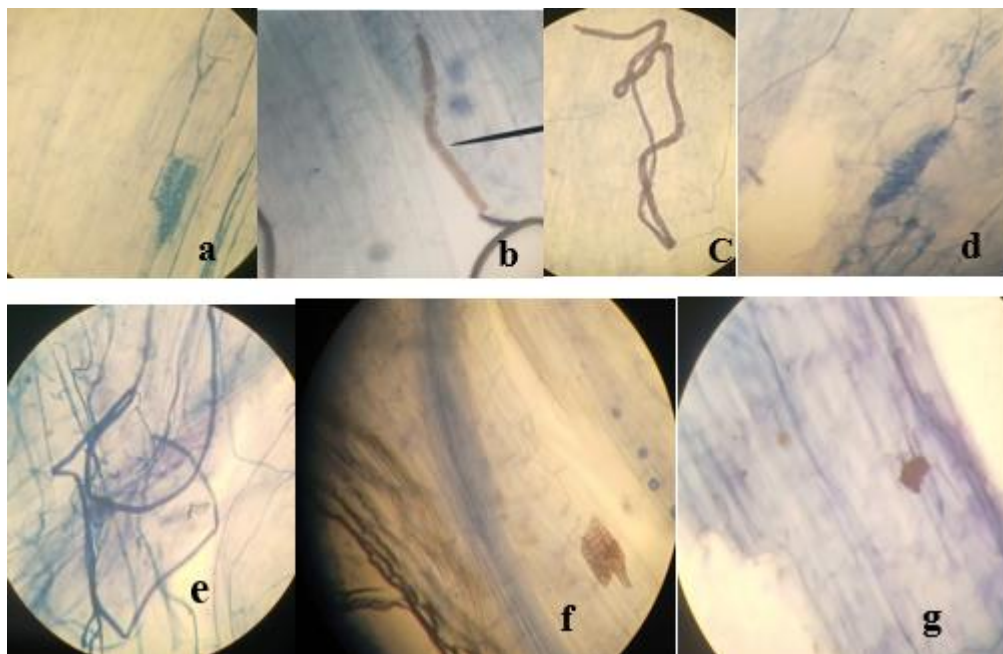


Figure III-4 Les structures endomycorhiziennes de chêne zéen observées à (GX400)

a et d arbuscules portées par des hyphes ; **b et g** : endophytes ; **e** : hyphes extramatrix ;
f : endophyte et vésicules

III.5. Discussion générale

Notre étude quantitative a permis de mettre en évidence la présence de la double symbiose sous ces deux formes endomycorhizienne et ectomycorhizienne mais également une colonisation en endophytes chez les deux espèces.

Le chêne zéen a montré une meilleure résistance au stress hydrique que le chêne liège. Les symptômes de flétrissement des feuilles sont apparus plus tardivement de 5 jours (50 jours) comparativement au chêne liège (45jours).

L'étude du comportement du chêne liège et du chêne zéen soumis à un stress hydrique a révélé des différences de comportement et de stratégie des deux communautés symbiotiques chez les deux espèces. En effet, l'analyse de la variance appliquées aux variables estimées et quantifiées de la colonisation symbiotique a révélé des différences significatives voir hautement significative entre les lots témoins avec arrosage et ceux soumis au stress hydrique avec arrêt d'arrosage.

Nos résultats montrent que la colonisation endomycorhizienne et endophytique des plants de 4 mois de culture répondent différemment au régime d'arrosage. Bien que la longueur racinaire ectomycorhizienne est sensiblement identique chez les racines de chêne zéen arrosés et non arrosés, chez le chêne liège, cette même longueur diminue chez le lot des plants non arrosés sans observées de différence significative. Selon l'étude de Shahin (2012) concernant les semis de *Quercus ilex* et *Quercus pubescens*, les inoculum ectomycorhiziens étaient moins abondants dans les plants non arrosés. En effet, une colonisation plus faible en EcM en conditions de sècheresse peut s'expliquer par le fait que les quantités de photosynthates sont préférentiellement allouées à la croissance des plantes vu leurs insuffisances (Shahin, 2012). Le chêne liège semble adopter la même stratégie.

Plusieurs auteurs (Fujimura et al., 2008; Gonthier et al., 2006; Seghers et al., 2004; Suryanarayanan et al., 2002) montrent que les facteurs environnementaux tels le stress hydrique peuvent avoir un effet sur les communautés des champignons endophytes. Notre expérience a permis, en effet, de mettre en exergue le comportement des plants des

deux chênes dans le recrutement de plus de partenaires endophytes sous des conditions de stress hydrique. La colonisation en endophytes s'est révélée plus importante chez les plants soumis au stress hydrique (sans arrosage) avec des différences significatives chez les racines des deux espèces entre les deux traitements. Plusieurs études ont démontrées que les plantes associées à des champignons endophytes ont été plus tolérantes à la sécheresse, la chaleur, la toxicité des métaux et à une salinité élevée du milieu (Lewis, 2004; Rodriguez et *al.*, 2004; Waller et *al.*, 2005).

Il semblerait que les deux chênes, concernés par notre étude, sollicitent également les mêmes partenaires face au phénomène de stress hydrique et que les endophytes semblent être plus efficace contre le stress hydriques.

Selon Wu et *al.*, (2008), la colonisation mycorhizienne favorise indirectement, grâce à la synthèse de la glomaline, la croissance des plantes sous l'effet de la sécheresse en affectant le taux de rétention d'eau dans le sol. Cependant la comparaison de la colonisation en endomycorhize des deux espèces, nous avons noté.

Des taux d'endomycorhize plus élevé chez les plants non arrosés du chêne liège que chez le chêne zéen. De plus, selon Allen et *al.*, (1983) et Bethlenfalvay et *al.*, (1988), Les plantes mycorhizées sont plus résistantes aux variations du régime hydrique du sol que les plantes non mycorhizées. Les taux de colonisations endomycorhizes et ectomycorhizées des racines sont globalement plus importantes chez les plants de chêne zéen que chez les plants de chêne liège indifféremment des traitements. Nos résultats peuvent expliquer le maintien des plants du zéen en comparaison au chêne liège lors de notre expérience et pourrait expliquer le phénomène de conversion observé dans nos forêt algériennes et qui ne cesse de poser un problème de gestion des subéraies dans les écosystèmes méditerranéens

Conclusion générale

Cette étude présente un intérêt pratique pour une meilleure compréhension des réponses des espèces et de leurs symbiontes face au stress hydrique.

En effet, le comportement des plantules de chêne liège et de chêne zéen face à un stress hydrique simulé par un arrêt d'arrosage

Notre étude a permis de déterminer la présence effective des deux types de mycorhizes chez les deux espèces de chêne au stade jeunes plants et des endophytes en plus grand nombres chez le chêne zéen que chez le chêne liège ce qui explique le maintien du zéen dans le milieu sec au stade juvénile.

En perspective, nous proposons de suivre le travail par des expériences en laboratoire et in Natura sur les différents stades des chênes, afin d'apporter des éclaircissements et des réponses concernant le comportement des espèces forestières méditerranéennes face à la sécheresse. La compréhension des mécanismes impliqués dans la réponse des essences forestières face au changement climatique permettra d'orienter les gestionnaires forestiers sur les pratiques à effectuer et aux choix judicieux des espèces destinées aux reboisements dans la région méditerranéenne affectées de plein fouet par le réchauffement climatique.

La sélection de champignons mycorhiziens qui seraient tolérants et efficient face au stress hydrique et capables d'aider les plantules à supporter la sécheresse dans la région méditerranéenne est importante est le but ultimes de la recherche pour une meilleure réussite des reboisements qui seraient confrontés à des sécheresses intensifiées par le réchauffement climatique.

Références bibliographiques

- **Achhal a., Akabli o., Barbero m., Benabid a., M'hirit a., Peyre c., Quezel p., Rivas-martinez s., 1980** .A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecol. Médit.* Fasc. N°5, pp. 211-249.
- **Adouane M., 2011.** Diversité des macromycètes et des mycorhizes du chêne-liège dans deux Stations du Nord-Est algérien : une subéraie naturelle et une subéraie envahie par *Acacia decurrens* (Willd). *Mém. Mag. Ecol. et Envir.* Université Badji Mokhtar / Annaba.
- **Agerer, R. (1987–1997).** *Colour atlas of ectomycorrhizae*. Schwäbisch Gmünd, Munich: Einhorn-Verlag
- **Agerer R. 2001.** Exploration types of ectomycorrhizae. *Mycorrhiza*. Jun 1;11(2):107-14.
- **Alatou D., 1994 :** Croissance rythmique du chêne liège et du chêne zeen. Première journée sur les végétaux ligneux- (Constantine 14 et 15 Novembre 1994).
- **Allen M.F., Boosalis M.G, 1983.** Effects of two species of VA mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat, *New Phytol.* 93 .67–76.
- **Antoine P., 2012.** Interactions entre mycorhization, nutrition en phosphore et adaptation de la plante _a la toxicit_e du nickel sur substrat ultrama_que. Vers une optimisation de la mycorhization d'*Alphitonia neocaledonica*
- **Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P. and Royo C. (2002).** Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.*, **89**: 925-940.
- Augé RM, 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- **Aussenac, G., 2002.** Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate Change. *Ann. For. Sci.* 59 (8), 823–832. doi: 10.1051/forest:2002080

- **Bâ A., Duponnois R., Diabaté M., Dreyfus B. 2011.** Les champignons ectomycorhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest : méthodes d'étude, diversité, écologie, utilisation en foresterie et comestibilité. IRD Eds, 252 p.

- **Belhoucine L., 2013.** les champignons associés au *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera, Curculionidae, Platypodinae) dans un jeune peuplement de chêne-liège de la forêt de M'Sila (Oran, nord-ouest d'Algérie) : Etude particulière de la biologie et l'épidémiologie de l'insecte. Thèse de doctorat. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. Alger., 201p

- **Benabid, A., 2000.** Flore et écosystème du Maroc : évaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press, Paris, 357 p.

- **Bethlenfalvay G.J., Brown M.S., Ames R.N., Thomas S., 1988.** Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake, *Physiol. Plant.* 72 : 565–571.

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

- **Boudy P., 1950.** Economie forestière nord-africaine. *Monographie et traitement des essences forestières*. La rose (eds.). Paris, 2 (2) : 350-387.

- **Bouhraoua R.T., 2003.** Situation sanitaire de quelques forêts de chêne-liège de l'ouest algérien: étude particulière des problèmes posés par les insectes- Thèse d'état, département de foresterie, faculté des sciences, université de Tlemcen. 290p.

- **Chaabna Bouzitoune S., 2012.** Etude des facteurs de dépérissement du chêne-liège (*Quercus suber* L.). Etat sanitaire des subéraies du Nord-Est Algérien. Thèse de Magister. Université Badji Mokhtar. Annaba. Alger., 145p

- **Cherubini, P., Gartner, B.L., Tognettis, R., Braker, O.U., Schoch, W. and Innes, J.L., 2003.** Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biol. Rev.* 78, 119-148. doi: 10.1017/S1464793102006000.

- **Clay K. and Schardl C., 2002.** Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *American Naturalist*; 160 Suppl 4: S99-S127

- **Clement A., Garbaye J. & Le Tacon f., 1977.** Importance des ectomycorhizes dans la résistance au calcaire du pin noir (*pinus nigra* Arn. Ssp. *nigricans* Host.). *Oecol. Plant.*, 12 :111-132.
- **Daoudi H., 2017.** Réponses Physiologiques à une contrainte hydrique de trois espèces forestières (*Quercus suber* L., *Quercus ilex* L. et *Pinus halepensis* M.) .Influences de la provenance et de la mycorhization.thèse doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie .153p
- **Dexheimer J. 1997.** Etude structurale et fonctionnelle des interfaces entre le champignon et la plant-hôte. *Rev. Forest. F*, 49, 43-56.
- **Drenou C., Bonneau M., Charnet F., Cruiziat P., Frochot H., Garbaye J., Girard S., Larrieu L., Levy G., Marçais B., Moore W., Rossignol J.P., 2006.** Les Racines. Face cachée des arbres. Institut pour le développement forestier CNPPF. 335p.
- **Fitter A.H., 1991.** Implication for functioning under natural conditions. *Experientia* 47(1991) 350- 355.Fontana
- **Fortin J.A., Plenchette C., Piché Y., 2008.** Les mycorhizes : La nouvelle révolution verte. Multimondes. Quac. (Eds), Qubecs, 131p
- **Fujimura K. E., Egger K. N. and Henry G. H., 2008 .**The effect of experimental warming on the root-associated fungal community of *Salix arctica*. *International Society for Microbial Ecology Journal*; 2: 105-114.
- **Gao, X. and F. Giorgi. 2008.** Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. *Global and Planetary Change* **62**:195-209
- **Garbaye J., 2013.** La symbiose mycorhizienne. Synthèse edit-Quae. 251p.
- **Gobat J.M., Aragno M. & Matthey W., 2003.** Le sol vivant, 2 eme Edition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne. 568 p.
- **Goss.R. W., 1960.** Mycorrhiza of ponderosa pine in Nebraska grassland soil. *Univ. Nebraska Agron. Exp. Res. Bull.*, 192 ; 1-47.

- **Gonthier P., Gennaro M. and Nicolotti G., 2006.** Effects of water stress on the endophytic mycota of *Quercus robur*. *Fungal Diversity*; 21: 69-80.

- **Guettas A ., 2012.**caractérisation de deux taillis de chêne liège (*Quercus suber* L.)de la forêt domaniale de Béni-Ghobri cas des cantons d’ahmil et tala N’Rbéa (Yakouren). *Thèse de Magister*. Ecole nationale supérieure agronomique (El Harrach). Alger., 65p

- **Harfouche A., Bekkar H., Belhou O. and Graine M. (2003).** Quelques résultats à l’état juvénile sur la variabilité géographique du chêne liège (*Quercus suber* L.) et stratégie d’amélioration génétique. *Ann. Rec. For. Algérie*, 37-50

- **Harley J.J et Foster E.J.1987.** A check list of mycorrhiza in the british flora .*new phytol.*105 ,1-120

- **Heckman D.S., Geiser D.M, Eidell B.R., Stauffer R.L, Kardos N.L., Hedges S.B. 2001.** Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plants. *Science*.293, 1129 1133. doi:10.1126/science.1061457

- **IPCC. 2007.** Climate change 2007: the physical basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland

- .

- **Janos, D.P. 1980.** Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12: 56-64.

- **Kadi-bennane S., 2016.** Les ectomycorhizes du chêne liège : Effet des facteurs environnementaux. Thèse de doctorat, Université mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie.167p

- **Le Tacon F., 1976.** La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l’écéa commun (*Picea excelsa* Link) et du pin noir d’Autriche (*Pinus nigra* Host). *Thèse de Doctorat*, Nancy, 213p.

- **Le Tacon .F ., Garbaye .J .1986.**la maîtrise des associations mycorhiziennes en pépinière forestière .R.F .F.3.249.

- **Le Tacon, F., 1978.** La mycorhization contrôlée et ses possibilités d’application. Les progrès réalisés aux Etats Unis. *RFF XXX* 5: 353-362.

- **Le Tacon F., Selosse M.A. 1994.** La place des symbioses mycorhiziennes dans l'évolution et la colonisation des continents par la vie, *INRA, Laboratoire de Microbiologie forestière, F-Centre de Nancy* Acta Botanica Gallica, 141:4, 405-419

- **Lewis G. C., 2004.** Effect of biotic and abiotic stress on the growth of three genotypes of *Lolium perenne* with and without infection by the fungal endophyte *Neotyphodium lolii*. *Annals of Applied Biology*; 144: 53-63.

- **Maire R., 1952.** Flore de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara).

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

- **Manjunath, A., Hue, N.V. & Habte, M. 1989.** Response of *Leuceana leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an Oxisol. *Plant & Soil*, 114: 127-133.

- **Messaoudène M. 1989.** Étude dendroécologique et productivité de *Q.canariensis* Willd. et de *Q. afares* Pomel dans les massifs de l'Akfadou et de Beni-Ghobri en Algérie. Thèse de doctorat en sciences, université Aix-Marseille III, 124 p.

- **Messaoudène, M., 2011.** Bilan physique des reboisements en chêne-liège dans la wilaya de Bejaia. Des Journées d'Etude sur la Réhabilitation des Subéraies Incendiées et Reboisements (JERSIR) 12-13 Décembre. Université de Tlemcen.

- **Messaoudène M., Tafer M., Loukkas A., et Marchalr., 2008.** Propriété physiques du bois de Chêne zéen de la forêt des Ait Ghobri (Algérie). *Gestion de la ressource ligneuse, Bois et forêt tropique* N° 298(4) pp : 39-50.

- **Miranda, P., Coelho, F.E.S., Tomé, A.R. and Valente, M.A., 2002.** 20th Century Portuguese Climate and Climate Change Scenarios. *In Climate Change in Portugal. Scenarios, impacts and adaptation measures.* Eds. F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita. Gradiva, Lisbon, Portugal, pp 25–83.

- **Moser M. & Haselwander K., 1983.** Ecophysiology of mycorrhizal symbiosis. In: Encyclopedia of plant physiology, New Series, Ed O. L. Lange. P. S. Nobel, C. B. Osmond and H. Ziegler. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 12:p. 392-421.

- **Mousain D., 1984.** La mycorhization *in vitro* : influence des facteurs nutritifs et physiques sur l'établissement des ectomycorhizes. *Actual bot.* 2 : 41-46.

- **Mousain D., matumoto-pintro P., quiquampoix H., 1997.** Le rôle des mycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestiers. AgroParisTech ,Nancy,France

- **Myers, N., Mittlemeier, R.A., Mittlemeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B. and Kent, J., 2000.** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858

- **Natividade J.V., 1956.** Subericulture. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 302p

- **Ogaya, R., J. Penuelas, D. Asensio, and J. Llusia. 2011.** Chlorophyll fluorescence responses to temperature and water availability in two co-dominant Mediterranean shrub and tree species in a long-term field experiment simulating climate change. *Environmental and Experimental Botany* 73:89-93

- **Peyret–Guzzon M., 2014.** Etudes moléculaires de la diversité des communautés et populations de champignons mycorhiziens à arbuscules (Glomeromycota). Sciences agricoles Université de Bourgogne, France.191p

- **Piou D., 1977.** Importance de la mycorhization sur le comportement et la nutrition des arbres forestiers. *Mémoire de 3^{ème} année*, ENITEF, Publication I.N.R.A-C.N.R.F.de Nancy, 71p.

- **Quezel, P. and Médail, F., 2003.** Ecologie et biogéographie du bassin méditerranéen, 2nd Edn. Elsevier, Paris. 571p.

- **Quézel P. & Santa S., 1962.** Nouvelle Flore De L'Algérie Et Des Régions Désertiques Méridionales. Tome I. Editions Du' Centre National De La Recherche Scientifique .Paris 7. 636p.

- **Rabhi Kh., 2011.** Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d’Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station. *Thèse de Magister*. Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen. Algérie.82p.

- **Rached-Kanouni M., 2102.** Adaptation du chêne liège (*Quercus suber* L.) aux conditions extrêmes de température.thèse doctorat. UNIVERSITE CONSTANTINE 1.algerie.159p

- **Riedacker A., 1976.** Etude des possibilités de modifier la morphogénèse juvénile des systèmes racinaires de quelques espèces forestières. Applications pratiques. *14ème Proc. I.U.F.R.O., World Congress, Norvège, Division I* : 376-387.

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

- **Ruiz-Lozano JM, 2003.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. *New perspectives for molecular studies. Mycorrhiza* 13: 309-317.

- **Ruiz-Lozano JM, Azcon R, Gomez M, 1995.** Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 456-460.

- **Sanders, F.E. et Tinker, P.B. 1971.** Mechanisms of absorption of phosphate from soil by *Endogone* mycorrhizas. *Nature*, 232 : 278-279

- **Sarir R., 2016.** Etude comparative de la croissance végétative et du développement de jeunes semis de trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière. *Mémoire de Master*. Université de Tlemcen. Alger., 59p

- **Schippers B., Bakker A. W. & Bakker A.H.M., 1987.** Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 25 : 339-358

- **Seghers D., Wittebolle L., Top E. M., Verstraete W. and Siciliano S. D., 2004.** Impact of agricultural practices on the *Zea mays* L. endophytic community. *Applied and Environmental Microbiology*; 70: 1475-1482.

- **Selosse, M. et Le Tacon, F. 1998.** The land flora a phototroph-fungus partnership. *Trends in Ecology & Evolution* 13: 15–28
- **Shahin, O., 2012.** Réponses des chênes méditerranées et de leurs symbiotes ectomycorhiziens à la sécheresse. Thèse de Doctorat en Ecosystèmes. Université Montpellier.
- **Simard S.W., Durall D. M., 2004.** Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82 : 1140-1165.
- **Smith S. E. & Read D. J., 2008.** Mycorrhizal Symbiosis. Third edition. Academic Press, 815 p
- **Strullu D.G., 1985.** Les mycorhizes. Gebruder Borntraeger (Eds.). Berlin-Stuttgart, 198p.
- **Strullu D.G., 1991.** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Lavoisier (eds.). Paris, 250p.
- **Subramanian K.S. & Charest C., 1997.** Nutritional, growth, and reproductive responses of Maize (*Zea mays* L.) to vesicular mycorrhizal inoculation and after stress at tasseling. *Mycorrhiza*, 7 : 23-25
- .
- **Suryanarayanan T. S., Murali T. S. and Venkatesan G., 2002.** Occurrence and distribution of fungal endophytes in tropical forests across a rainfall gradient. *Canadian Journal of Botany*; 80: 818-826.
- **Thompson, J.D., Lavergne, S., Affre, L., Gaudeul, M. and Debussche, M., 2005.** Ecological differentiation of Mediterranean endemic plants. *Taxon* 54: 967–976
- **Varela M-C ., 2008.** Dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique, Association Forêt Méditerranéenne, 14 rue Louis Astouin, 13002 MARSEILLE, France, 212 p.

- **Waller F., Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Huckelhoven R., Neumann C., von W. D., Franken P. and Kogel K. H., 2005.** The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*; 102: 13386-13391.

- **Wang W.X., Vinocur B., Shaseyov O. and Altman A. (2001).** Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort.*, **560**: 285-292

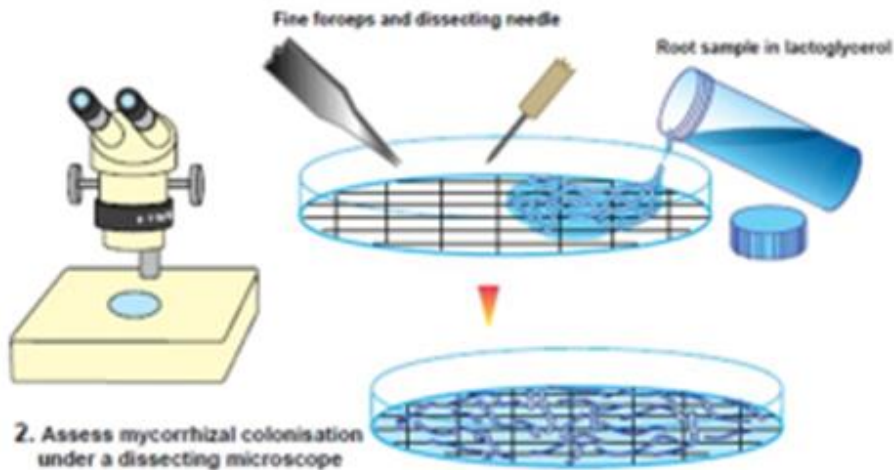
- **Wu Q.S., Xia R.X et Zou Y.N., 2008** Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European journal of soil biology*, 44 :122-128

Annexes

Annexe 1 : La méthode de << grid-line intersect method >>

THE GRIDLINE INTERSECTION METHOD

1. Randomly disperse cleared and stained roots in dish with grid lines



3. Follow all horizontal and vertical lines. Count intersects with roots and mycorrhizas separately

