

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Mouloud MAMMARI Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'étude

Présenté Par

ABERSI Amel

En vue de l'obtention du diplôme
Master en Sciences Biologiques
Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

Thème

**Contribution à l'étude de la communauté ectomycorhizienne de
Juniperus communis.L de la station de Tigounatine dans le parc
National du Djurdjura**

Devant le jury

Présidente **Mme BOURNINE-HARCHAOUI C.** **MCB à l'UMMTO**

Encadrant **Mme MEZAOUR N.** **MAA à l'UMMTO**

Examinatrice **Mme KADI-AIT-MOULOUD L.** **MAA à l'UMMTO**

Année universitaire : 2023 /2024

Remerciements

Nous remercions du fond du cœur, Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force et la persévérance nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon encadrant **Mme Mezaour Nadjat** pour son accompagnement bienveillant et pour l'aide précieuse apportée tout au long du parcours. Mes remerciements aussi pour **Mme Bournine-Harchaoui Chafia**, présidente du jury, ainsi qu'à **Mme Kadi Ait-Mouloud Lila**, examinatrice, pour leur implication et leurs remarques constructives.

Je rends grâce à Dieu le tout-puissant pour m'avoir donné la force et la persévérance qui ont permis l'accomplissement de ce travail.

Dédicaces

Ce mémoire est dédié à ma famille et à toutes les personnes qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours universitaire. À ma mère, à mon père source d'inspiration, à mon frère et à ma sœur, pour leur amour et leur encouragement inestimable.

A mes sœurs de cœur nadia, rabiaa et sarah.

A mes chères camarades de laboratoire mycorhize

Amel

Liste des figures

Figure 1: Anatomie des différents types morphologiques de mycorhizes (le Tacon, 1985)....	5
Figure 2: schémamontrant la stratégie de colonisation ectomycorhizienne (Bonfante&Genre , 2008).....	6
Figure 3 : photo d'une ectomycorhize formant son manteau fongique autour d'une racine végétale (Zoulim, 2017).....	7
Figure 4: <i>Juniperu scommunis</i> L.....	18
Figure 5: genévrier commun (P. Lieutaghi, in L. Portes, 1990).....	19
Figure 6: Les galbules de <i>Juniperus communis</i> (Mazza, 2020).....	19
Figure 7 : Aire de répartition de <i>J. communis</i> dans le monde (Callen 1976).....	20
Figure 8 : La géolocalisation de la statin Tigounatine ,Akerrou (Google earth,2024)	23
Figure 9 : Les différentes étapes de mesure du pH.....	24
Figure 10 : Photo illustrant la méthode de la Gridline Intersect.....	26
Figure 11: photo représentant des fragments racinaires dans une boîte de pétri quadrillée.....	26
Figure 12 : Observations des différentes ectomycorhizes communes de <i>Juniperus communis</i> dans la station de Tigounatine.....	31
Figure 13: observations des différentes ectomycorhizes communes de <i>Juniperus communis</i> dans la station Tigounatine.....	32
Figure 14: observations des différentes ectomycorhizes communes de <i>Juniperus communis</i> dans la station de Tigounatine.....	33
Figure 15: Observations des différentes ectomycorhizes spécifiques de <i>Juniperus communis</i> dans la staion de Tigounatine.....	37
Figure 16: Observations des différentes ectomycorhizes spécifiques de <i>Juniperus communis</i> dans la station de Tigounatine.....	38

Figure 17: Observations des ectomycorhizes spécifiques de <i>Juniperus communis</i> dans la station de Tigounatine.....	39
Figure 18 : taux de mycorhization par arbre.....	40
Figure 19: pourcentage des différents types d'exploration au niveau de chaque arbre de la station.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : La localisation de la station Tigounatine.....	23
Tableau2 :la richesse morphotypique de la station d'étude.....	28
Tableau 3 : Taux d'EcM de la station et selon le type exploratoire.....	40
Tableau 4 :pourcentage de mycorhization par arbre.....	40
Tableau 5 :Taux de mycorhization de <i>J.communis</i> des différents types d'exploration....	41
Tableau6 :Résultats du test ANOVA en fonction du type exploratoire.....	42
Tableau 7 :Résultats du test ANOVA en fonction du sexe des arbres et en fonction du type exploratoire.....	34

Liste des abréviations

Symbole	Désignation
ANOVA	Analyse de la variance
C	Contact
CD	Courte distance
Ecm	Ectomycorhize
FPA	Formol, acide propionique et ethanol
MD	Moyenne distance
MLD	Moyenne et longue distance
MF	Manteau fongique
Hyp	Hyphe
Rhz	Rhizomorphe
RH	Réseau de Hartig
TE	Type d'exploration

Tables des matières

Résumé	
Abstract	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	2

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I : Généralités sur les mycorhizes

1. Historique	4
2. Définition des mycorhizes.....	4
3. Les différentes formes d'associations mycorhiziennes.....	5
3.1 Les ectomycorhizes.....	6
3.1.1 Les caractéristiques structurales des ectomycorhizes.....	7
3.1.1.a Le manteau fongique	7
3.1.1.b Le réseau de Hartig	7
3.1.1.c Les rhizomorphes	8
3.1.2 La distribution morphologique des ectomycorhizes	9
3.1.3 Les rôles des ectomycorhizes	9
3.1.4 La reproduction chez les ectomycorhizes	9
3.2 Les endomycorhizes	10
3.2.a Les endomycorhizes arbutoides des Ericacées.....	10
3.2.b Les endomycorhizes orchidoides des Orchidées.....	11
3.2.c Les endomycorhizes à arbuscules.....	11
3.3 Les ectendomycorhizes	11
4. Processus d'infection mycorhizienne.....	11
4.a. Infection primaire	11
4.b. Infection secondaire	12
4.1 Infection chez les ectomycorhizes	12
4.2 Infection chez les endomycorhizes	12

5. Rôles physiologiques des mycorhizes et les bénéfices tirés par les deux partenaires (plante et champignon).....	12
5.1. Les avantages tirés par la plante	13
5.2. Les avantages tirés par le champignon.....	15

CHAPITRE II : Généralités sur le *Juniperus communis*

1. Historique.....	17
2. Généralités sur le genre <i>Juniperus</i>	17
3. Taxonomie	18
4. Description du Genévrier commun	18
5. Aire de répartition de l'espèce	20
6. Utilisation du Genévrier.....	21
7. Rôles écologiques.....	21

Partie expérimentale

CHAPITRE III : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude	23
2. Le cadre d'étude	23
3. Présentation de la station d'étude : station Tigounatine	23
4. L'échantillonnage.....	24
5. Matériel	24
6. Paramètres d'étude	24
6.1 Mesure de la température du sol.....	24
6.2 Mesure du pH du sol.....	24
6.3 Description des ectomycorhizes.....	25
6.4 Description anatomique des ectomycorhizes.....	25
6.5 Estimation de la colonisation mycorhizienne.....	25
6.6 Analyses statistiques	26

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

1. Les caractéristiques édaphiques de la station de Tigounatine	28
2. L'étude morphologique des ectomycorhizes de <i>J.communis</i>	28
3. Description des ectomycorhizes de <i>Juniperus communis</i> dans la station de Tigounatine	28
3.1 Description des ectomycorhizes fréquentes	28
3.2 Description des ectomycorhizes spécifiques	34
4. Estimation de la colonisation mycorhizienne de <i>J.communis</i> de la station de Tigounatine	40
4.1 Estimation du taux de mycorhization par arbre	40
4.2 Estimation de l'ectomycorhization selon les types d'exploration du sol	41
5. Analyses statistiques.....	42
6. Discussion	44
Conclusion	48
Références bibliographiques.....	49
Annexes	57
Résumé.....	68
Abstract.....	70

Introduction

Introduction

Les interactions symbiotiques mycorhiziennes jouent un rôle fondamental dans la santé et la durabilité des écosystèmes terrestres (Smith & Read, 2008). Parmi ces relations symbiotiques, celle entre *Juniperus communis*, un conifère emblématique de l'hémisphère nord, et les champignons mycorhiziens mérite une attention particulière. Cette relation symbiotique s'avère cruciale dans l'adaptation de *Juniperus communis* à des milieux souvent difficiles, caractérisés par une carence en nutriments et des conditions environnementales extrêmes (Brundrett, 2009). Grâce à cette symbiose, le *Juniperus communis* optimise l'absorption de nutriments essentiels tels que le phosphore et l'azote, tout en renforçant sa résistance au stress hydrique et aux conditions environnementales défavorables (Hodge & Fitter, 2013; Cairney & Meharg, 2003). Cette interaction mutualiste avec les champignons mycorhiziens permet non seulement une amélioration significative de la nutrition minérale, mais également une meilleure adaptation aux variations climatiques. En maximisant l'efficacité des échanges nutritifs, cette plante illustre parfaitement les mécanismes adaptatifs présents dans les écosystèmes forestiers.

En Algérie, le *Juniperus communis* est une essence forestière essentielle qui soutient la biodiversité et la stabilité des sols (Belkhir *et al.*, 2017). Il joue un rôle clé dans les cycles biogéochimiques et fournit des habitats vitaux, contribuant ainsi à l'équilibre écologique des forêts de la région.

Ce travail de recherche porte sur le statut mycorhizien du *Juniperus communis*, en évaluant la présence et l'importance des champignons mycorhiziens associés à cette espèce. L'objectif est de mieux comprendre les relations symbiotiques qui se développent entre cette plante et ses partenaires mycorhiziens.

CHAPITRE I :
Généralités sur les
Mycorhizes

Chapitre I : Généralités sur les mycorhizes**1. Historique**

Les mycorhizes ont fait leur apparition sur Terre il y a environ 400 millions d'années (Simon et al, 1993) et sont considérées comme étant responsables de la vie sur Terre (Selosse et Le Tacon, 1997). Depuis leur expansion dans l'écosystème terrestre, les plantes ont développé des stratégies en lien avec leur capacité d'adaptation. Parmi les microorganismes telluriques, on retrouve certains champignons qui prolifèrent au niveau des racines des plantes, créant ainsi de nouveaux organes appelés « mycorhizes » (Smith et Read, 2008).

Theodor Hartig fait la première description microscopique de mycorhizes chez diverses espèces d'arbres en 1840, mais ne reconnaît pas la nature fongique des structures observées. Ce n'est qu'en 1874 que Bruchmann, en renouvelant ces observations sur des racines de pin, qualifie le réseau auxquels sont entourées les cellules des tissus externes de la racine de fongique. Albert Bernard Frank fut le premier à résumer les observations concernant l'association des racines des arbres avec les champignons. Il montra que cette relation, utile et indispensable pour le bon développement des jeunes arbres, était un élément essentiel. Cette association de racines et de champignons fut appelée mycorhize par lui en 1885.

En 1886, la nouvelle théorie est soutenue et défendue par Robert Hartig, qui fait définitivement adopter le nom de « réseau de Hartig » en l'honneur de son père Theodor Hartig, qui avait décrit cette structure pour la première fois en 1840. D'autres types de mycorhizes ont ensuite été étudiés par de nombreux chercheurs tout au long du XXe siècle (Garbaye, 2013). Les botanistes et les mycologues n'ont réalisé que depuis quelques décennies que pratiquement toutes les plantes terrestres sont en symbiose avec des champignons du sol (Mosse, 1956).

2. Définitions des mycorhizes :

Le terme mycorhize, (du grec : mukēs = champignons, rhiza= racine), désigne l'association symbiotique entre des champignons bénéfiques du sol et les racines des plantes. Selon Brundrett 2004 : «Une mycorhize est une association symbiotique entre un champignon et une racine d'une plante vivante, essentielle pour l'un ou les deux partenaires. Les mycorhizes

sont principalement responsables du transfert d'éléments nutritifs. Elles se produisent dans un organe végétal spécialisé ou un contact intime résultats de développement synchronisé des plantes-champignons».

Les mycorhizes, n'ayant pas la capacité de photosynthèse et étant hétérotrophes pour le carbone, sont complètement tributaires des éléments carbonés fournis par la plante hôte. Elles offrent en retour à la plante de l'azote, du phosphore et d'autres minéraux, en les utilisant à travers leurs hyphes interconnectées avec le sol (Honrubia, 2009).

3. Les différentes formes d'associations mycorhiziennes :

La classification des mycorhizes est basée sur le type de champignon associé, selon que celui-ci est asepté, c'est-à-dire zygomycète de l'ordre des Glomales, ou septé, comme les ascomycètes ou basidiomycètes (Smith et Read, 1997). Selon le Tacon cette symbiose peut prendre diverses formes (figure 1), telles que les ectomycorhizes (mycorhizes externes) qui se rencontrent chez environ 5% des végétaux, les endomycorhizes (mycorhizes internes) qui sont les plus courantes, représentant environ 80% des végétaux, et les ectendomycorhizes, (annexe 1).

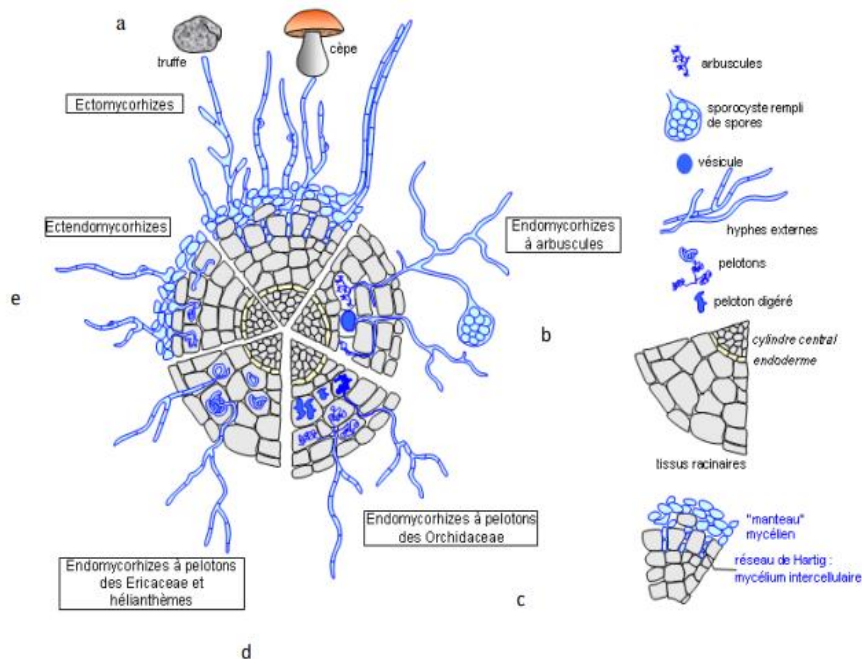


Figure 3: Anatomie des différents types morphologiques de mycorhizes (le Tacon, 1985)

3.1 Les ectomycorhizes

Les Ectomycorhizes, dont le nom dérive du grec « ekto » signifiant « à l'extérieur », sont des champignons qui colonisent principalement l'extérieur des racines sans jamais les pénétrer (figure 1a). Ils établissent des associations symbiotiques avec des plantes ligneuses, particulièrement dans le cadre de la sylviculture. Ce type de mycorhizes concerne 80 à 90% des plantes vasculaires et se rencontre chez une grande majorité des Gymnospermes et un grand nombre d'Angiospermes, Dicotylédones principalement chez les espèces ligneuses forestières. Les partenaires fongiques sont des champignons supérieurs Ascomycètes et Basidiomycètes qui produisent en général des fructifications macroscopiques (Garbaye, 1991 ; Drenou et al. 2006) et quelques Zygomycètes selon Davet (1996) ; Gagne (2005) estiment qu'il existerait entre 5000 et 6000 espèces de champignons capables de former des ectomycorhizes.

L'ectomycorhization se caractérise par des racines courtes et ramifiées entourées d'un manchon d'hyphes fongiques qui forme un manteau fongique (Ricklefs et Miller, 2005). Le champignon se développe dans les espaces entre les cellules, créant un réseau connu sous le nom de réseau de Hartig (Hopkins, 2003). Les hyphes demeurent à l'extérieur des cellules végétales, concentrés dans ce réseau (figure2) (Bonfante et Genre, 2008)

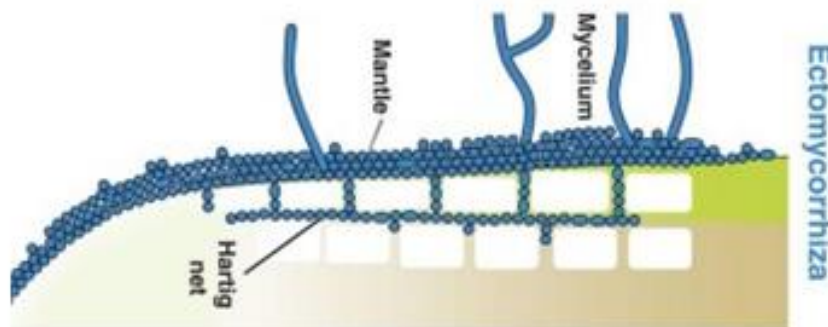


Figure 4: schéma montrant la stratégie de colonisation ectomycorhizienne (Bonfante et Genre, 2008)

3.1.1 Les caractéristiques structurelles des ectomycorhizes (ECM)

a. Le manteau fongique

Les filaments des champignons ectomycorhiziens constituent un manteau compact, à couleur et à texture très différentes, qui recouvre entièrement l'extrémité des racines fines (Drenou et al, 2006) (figure3). La structure du manteau, composée uniquement d'hyphes, se présente le plus souvent sous forme de plectenchyme, avec des hyphes libres à l'extérieur et soudées à l'intérieur. Anatomiquement, le manteau fongique montre des cellules âgées à sa surface, tandis que les cellules jeunes, riches en cytoplasme, se trouvent à l'intérieur. Selon Strullu (1991), cette couche joue un rôle essentiel dans l'absorption et l'accumulation de phosphates. Agerer et Rambold (2004-2013) décrivent 16 types de manteau mycorhizien, répartis en neuf plectenchymateux et sept pseudo-parenchymateux (annexe 2).



Figure 3 : photo d'une ectomycorhize formant son manteau fongique autour d'une racine végétale (Zoulim, 2017).

b. Le réseau de Hartig (Rh)

Depuis la face interne du manteau, de nombreux filaments mycéliens se détachent et pénètrent entre les cellules rhizodermiques ainsi que les premières cellules du cortex de la racine, formant ainsi un réseau appelé réseau de Hartig (Lanier *et al* ,1976). L'appellation du réseau de Hartig fait référence au mycologue allemand du XIXe siècle Robert Hartig (Egli et Brunner, 2002).

Les champignons échangent avec les cellules corticales via le réseau de Hartig, tout en restant en contact avec les tissus conducteurs de la racine. Selon Strullu (1991), il favorise la circulation des nutriments et les échanges essentiels entre le champignon et la plante hôte.

c. Les rhizomorphes :

Les rhizomorphes sont généralement issus des hyphes du champignon ectomycorhizien. Ils se créent lorsque les hyphes s'agrègent et se développent en structures linéaires et ramifiées, semblables à des racines (Smith *et al* ,2008).

Huits types de rhizomorphes peuvent être distingués (Agerer 1999,2006 ;Agerer et Iosifidou,2004) (annexe 5):

- Uniforme et lache , composée d'hyphes végétatifs d'aspect ordinaire (moyenne distance).
- Uniforme compact , des hyphes uniformes et densément agglutinés (moyenne distance).
- Thelephoroïde , peu d'hyphes différenciés (moyenne distance).
- Ramarioid , des hyphes ronflés aux extrémités et septés (moyenne distance).
- Rassuloid , hyphes épais souvent avec des septes incomplets (moyenne distance).
- Phlegmacioïde , avec peu d'hyphes distribués de façon aléatoire , souvent noyés dans la matrice (moyenne distance).
- Agaricoid , hautement différenciés , gros hyphes centrés qui révèlent des septa complètement ou partiellement dissous (longue distance).
- Belotoid , également très différenciés avec des hyphes centrés distinct avec plus de volume ,extrémités du rhizomorphes souvent ramifiés (longue distance).

L'organisation de la phase extramatricielle « rhizomorphes » détermine le type d'exploration de l'ectomycorhize (Agerer, 2001) (annexe 4) :

- Type contact : Manteau avec peu ou pas d'hyphes extramatriciels, courts et non différenciés.
- Type courte distance : Absence de rhizomorphes.
- Type moyenne distance : Rhizomorphes peu ou pas différenciés.
- Type longue distance : Rhizomorphes très différenciés avec des hyphes centraux plus épais, permettant un transport plus efficace de l'eau et des nutriments.

3.1.2 La distribution morphologique des ectomycorhizes

Morphologiquement, les ectomycorhizes sur les racines courtes peuvent être simples ou ramifiées. Dans cette situation, leurs répartitions le long des racines de la plante présentent de multiples variations. Effectivement, Boullard (1968) et Agerer (1988) ont identifié différentes variations morphologiques (annexe 3).

3.1.3 Les rôles des ectomycorhizes

Selon Mosse (1956), les mycorhizes jouent un rôle crucial dans le maintien de la biodiversité et des cycles biogéochimiques à l'échelle de l'écosystème, dans l'apport de nutriments et le renforcement de la résistance des arbres, ainsi que dans la régulation de l'équilibre ionique et osmotique au niveau cellulaire.

D'après Smith et Read (2008), les recherches sur la symbiose ont montré une grande diversité dans les rôles fonctionnels, tels que l'absorption de l'eau, la gestion des nutriments, la production de régulateurs de croissance et la protection contre les pathogènes, ainsi que l'aide à l'absorption et au transport vers la plante d'éléments nutritifs peu mobiles dans le sol, tels que le phosphore (Duponnoiset *al.*, 2005; Lamberset *al.*, 2008).

Le terme « mycorrhizosphère » désigne la zone du sol influencée par les mycorhizes. Selon Rambelli (1973), Linderman (1988) et Johnson *et al.* (2002), environ 10 à 20 % du carbone absorbé par les plantes est transféré aux champignons, ce qui soutient l'activité des microorganismes dans cette zone.

Le rôle des associations mycorhiziennes est également important dans la dégradation et la minéralisation de la matière organique du sol, ce qui permet de mobiliser des nutriments au profit de la plante hôte (Gobat *et al.*, 2003 ; Lamberset *al.*, 2008)

3.1.4 La reproduction chez les ectomycorhizes

La reproduction chez les ectomycorhizes comprend deux étapes essentielles :

- a. la création de symbioses ectomycorhiziennes : Les ectomycorhiziens s'associent aux plantes en entourant les racines d'un manchon mycélien et en pénétrant les espaces

intercellulaires par le réseau de Hartig. Les minéraux sont échangés contre des sucres produits par la photosynthèse, sans atteindre les cellules racinaires (Smith & Read, 2008).

b. la production de spores : après la symbiose, les champignons ectomycorhiziens produisent des sporophores (épigés ou hypogés) qui libèrent des spores. Ces spores se dispersent, germent, et colonisent de nouvelles plantes, complétant ainsi leur cycle de vie (Brundrett *et al.*, 1996).

3.2 Les endomycorhizes

Les endomycorhizes (du grec endon : à l'intérieur) se distinguent par l'absence de manchon mycélien externe et par l'infiltration des hyphes fongiques dans les cellules corticales (figure 1). Ce sont les mycorhizes les plus fréquemment rencontrées dans le monde végétal. Elles englobent presque toutes les espèces d'arbres fruitiers, certaines espèces forestières, les plantes arbustives et herbacées (Plenchette, 1982 ; Chevalier *et al.* 1990). D'après Strullu (1991), elles sont présentes tant chez les Gymnospermes que chez les Angiospermes. Elle concerne en effet 74 % des espèces de ces derniers.

La majorité des champignons endomycorhiziens sont des Zygomycètes appartenant à l'ordre des Glomales (Smith *et* Read, 2008).

Selon Davet (1996), les associations endomycorhiziennes sont subtiles, car le champignon se développe dans les cellules corticales des racines. La plante a accès à l'eau et aux minéraux grâce aux hyphes externes, tandis que les hyphes internes se propagent entre les cellules, créant des vésicules et des arbuscules. D'après Dallapé (2005), ces structures constituent une interface essentielle pour les échanges nutritifs entre le champignon et la plante. Il existe trois types d'endomycorhizes :

a. Les endomycorhizes arbutoides des Ericacées :

La structure des mycorhizes arbutoïdes, qui se rencontrent chez certaines espèces des Ericales, est similaire à celle des ectendomycorhizes, avec le manchon et le réseau de Hartig. Mais ce qui les distingue, c'est la limitation des hyphes intracellulaires à l'épiderme (Garbaye, 2013 ; Peterson *et* Massicotte, 2004) (figure 1.d).

b. Les endomycorhizes orichidoïdes des Orchidées

Chez les Orchidacées, les mycorhizes orchidoïdes se caractérisent par des pelotons d'hyphes formés dans les cellules corticales des racines, avec une ramification intracellulaire. Au fil du temps, les pelotons s'effondrent, et les cellules peuvent être colonisées plusieurs fois (Smith et Read, 2008)(figure 1c).

c. Les endomycorhizes à arbuscules

Ces espèces sont les plus courantes car elles se forment avec 80 à 90% des espèces végétales. Les champignons concernés font partie de la famille des Glomales (Zygomycètes). Les plantes endomycorhizées peuvent avoir des formes herbacées ou ligneuses. Les hyphes intercellulaires ont la possibilité de se développer en arbuscule (pour les échanges) ou de se dilater en vésicule (pour la réserve) (Smith & Read, 2008)(figure 1.b).

3.3 Les ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes constituent un ensemble spécifique qui regroupe à la fois les traits des ectomycorhizes et des endomycorhizes. Les hyphes mycéliens constituent généralement un manteau fongique très réduit autour de la racine, et les hyphes traversent les parois des cellules végétales. Les hyphes pénètrent dans les cellules racinaires. Le réseau de Hartig demeure extrêmement restreint (Boullard, 1968 ; Durrieu, 1993) (figure 1.e).

4. Processus d'infection mycorhizienne

Le processus commence par la germination et le développement des spores et des hyphes du champignon qui vit près de l'hôte. Il existe deux modes d'infections :

a. Infection primaire

Elle provient généralement des spores présentes dans le sol qui développent des hyphes mycéliens, suivi d'une stimulation des tubes germinatifs au contact avec les racines de l'hôte (Marks et Foster ,1973).

b. Infection secondaire

Selon Marks et Foster (1973), Elle est due aux hyphes étalés le long et entre les racines .Ils sont issus de la prolifération et la ramification des racines mycorhizées préexistante.

4.1 L'infection chez les ectomycorhizes

L'infection par les ectomycorhizes débute au niveau des racines courtes. Selon certaines études, la formation commence par la prolifération des cellules fongiques entre les cellules corticales, créant d'abord le réseau de Hartig, suivi par la formation du manteau (Boudarga, 1988).

D'autres recherches indiquent que le réseau de Hartig se développe à partir des couches profondes d'un manteau préexistant (Stullu, 1991). Selon Marks et Foster (1973), l'infection débute par une action mécanique des hyphes qui écartent les cellules, facilitée par l'hydrolyse enzymatique qui relâche la lamelle moyenne.

4.2 L'infection chez endomycorhizes

Dans les mycorhizes à vésicules et arbuscules, l'endophyte pénètre les racines par des points d'infection distincts et bien délimités (Boudarga et Dexheimer, 1988). Selon Boullard (1968) et Scannerini (1982), les hyphes externes pénètrent dans les racines soit par des poils absorbants, soit en créant des appressoriums. De plus, les hyphes pénètrent dans la première couche des cellules corticales en traversant les espaces intercellulaires.

D'autres hyphes constituent le réseau extra matriciel au niveau des points de pénétration (Hadley ,1975).

5. Rôle physiologique des mycorhizes et avantages tirés par les deux partenaires (plante et champignon)

La présence des mycorhizes modifie généralement plusieurs fonctions, quelle que soit la nature de la mycorhize : l'absorption de l'eau et des minéraux, les activités hormonales, l'agrégation des sols. la lutte contre les agents pathogènes.

5.1. Les avantages tirés par la plante

a. Absorption de l'eau

La première fonction attribuée aux mycorhizes est l'absorption de l'eau et des nutriments. La symbiose endomycorhizienne augmente également la concentration de cet élément dans la plante (Bolan, 1991 ; Smith & Read, 1997).

Cette efficacité vient d'abord par l'augmentation de la surface de contact entre le mycélium fongique et la solution du sol, ce qui entraîne une pénétration plus étendue des hyphes extraradiculaires minces des champignons dans le sol, (Duddridge et al. 1980) Brownlee *et al.* (1983) confortent cette hypothèse en constatant que la rupture des cordons mycéliens liés aux mycorhizes entraîne une baisse rapide du potentiel hydrique dans les feuilles de la plante-hôte.

Les champignons mycorhiziens ont la capacité de diminuer les conséquences des divers stress auxquels la plante peut être confrontée, y compris le stress hydrique. Le champignon jouera donc un rôle très important dans la préservation des plantes des zones arides et semi-arides, (Subramanian & Charest, 1997).

b. Amélioration de la nutrition minérale

Cela se manifeste par une augmentation de l'absorption des minéraux solubles qui se trouvent en faible concentration et peu mobiles dans le sol, comme les phosphates, l'ammonium, le cuivre et le zinc (Hatch, 1937 ; Bjorkman, 1949 ; Read & Woods, 1969 ; Strullu, 1991).

C'est plus particulièrement la nutrition phosphatée qui se trouve améliorée chez la plante mycorhizée (Hatch, 1937 ; Mousain, 1989). Globalement, les plantes mycorhizées accumulent davantage de phosphore que les plantes non mycorhizées, et selon Cress *et al* (1979), les racines mycorhizées présenteraient un système de transport d'orthophosphate plus performant que celui des racines non infectées, ce qui entraînerait une augmentation de l'affinité des sites d'absorption pour cet ion.

Les champignons ectomycorhiziens jouent aussi un rôle dans l'amélioration de la nutrition azotée chez la plante-hôte soit par la mise à la disposition de la plante par machinerie enzymatique certaines formes d'azote difficilement utilisables par elle seule ou par augmentation des quantités d'azote minéral (NO_3^- et NH_4^+) absorbé par le système mycorhizien.

c. Activités hormonale

L'action globale des hormones produites par le champignon affecte la structure générale de la plante, dont la croissance des parties aériennes est souvent favorisée par rapport à celles des parties souterraines, les champignons pour ainsi dire remplace partiellement les racines et cela à un moindre coût énergétique (Hamza, 2014).

Les recherches menées par Gay (1988) et Gay & Gea (1994) ont démontré une augmentation des niveaux d'hormones, comme les gibbérellines, les auxines et les cytokinines, chez les plantes mycorhizées ce qui permet le développement du système racinaire .

d. Agrégation des sols

Selon Fortin *et al*, (2008), la glomaline qui est une glycoprotéine produite par les champignons mycorhiziens arbusculaires joue le rôle d'une colle qui regroupe les particules les plus fines du sol pour en former des agrégats. Ces agrégats jouent un rôle essentiel dans la fertilité des sols en retenant l'eau et les éléments minéraux, tout en favorisant les échanges gazeux et l'aération pour la plante.

e. Protection contre les agents pathogènes

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

Les plantes inoculées avec des champignons mycorhiziens à arbuscules ont été démontré expérimentalement comme plus résistantes aux attaques de champignons pathogènes et à l'exposition aux toxines du sol (Fitter, 1991).

Les champignons mycorhiziens peuvent être exploités comme agents biologiques contre les maladies racinaires au niveau de pépinières (Hodge et al. 1995).

f. Tolérance aux températures extrêmes

La présence de certains champignons mycorhiziens au niveau des racines permet aux plants de mieux résister à des températures extrêmes. Marx et Brayon (1975) ont montré que les plantules de pins mycorhizées par *Pisolithus tinctorius* peuvent supporter des températures allant jusqu'à 47°C.

5.2. Avantages tirés par le champignon

a. Accès aux sucres et nutriments

Les sucres et autres nutriments carbonés produits par la photosynthèse de la plante constituent une source d'énergie indispensable pour le champignon (Smith & Read, 2008).

b. Environnement protégé

Le champignon bénéficie d'un environnement stable dans les racines de la plante, où il est protégé des conditions environnementales extrêmes, telles que la sécheresse ou les fluctuations de température (Harley *et al*, 1983).

c. Colonisation des sols

L'interaction avec la plante permet au champignon d'étendre son réseau mycélien dans le sol, ce qui accroît sa capacité à coloniser de nouveaux milieux et à trouver de nouvelles sources de nourriture (Brundrett, 2009).

CHAPITRE II :
Généralités sur le
Juniperus communis

CHAPITRE II : Généralités sur le *Juniperus communis***1. Historique**

Le genre *Juniperus* est originaire de l'hémisphère nord, avec des fossiles établis au Crétacé inférieur, il y a environ 140 millions d'années (Hill, R. S.1999). Avec le temps, et en particulier au Tertiaire, ce genre a développé une variété d'espèces en réponse aux variations climatiques, s'adaptant à des milieux différents, des zones arides aux montagnes (Brouillet *et al*, 2010). Le Quaternaire, caractérisé par les périodes glaciaires, a joué un rôle essentiel dans la distribution géographique actuelle des *Juniperus* (Harris *et al*, 2011). Les fossiles découverts dans différentes régions du monde, telles que l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie (Wang *et al*, 2006) témoignent cette progression constante. Ces fossiles, généralement composés de bois, de cônes et de pollens (Manoset *et al*, 2005), permettent de voir l'évolution morphologique et écologique de ce genre et de mieux appréhender son rôle dans l'évolution de l'environnement et dans les anciens écosystèmes terrestres.

2. Généralités sur le genre *Juniperus*

Le genre *Juniperus* L., appartient à la famille des Cupressacées qui comprend plusieurs espèces, selon Achak *et al* (2009), c'est le deuxième genre le plus diversifié des conifères. En Algérie, le genre *Juniperus* L. se trouve largement répandu (Quézel *et al*, 2003).

Le genre *Juniperus* est le plus répandu des autres genres de conifères, mais il est restreint dans l'hémisphère Nord, seulement en Afrique où certaines espèces traversent l'équateur (Mao *et al*, 2010 ; Farjon & Filer, 2013). Ils sont des espèces pionnières, jouant un rôle crucial dans l'évolution des groupements pré forestiers (Quézel et Médail, 2003 ; Quézel et Gast, 2011), capables de s'épanouir dans des environnements extrêmes (Quézel et Médail, 2003). Ce sont des arbustes dioïques, où les individus mâles et femelles sont distincts, et leur pollinisation est assurée par le vent, étant anémophiles (Thomas *et al*, 2007).

L'Algérie compte deux sections et cinq espèces du genre *Juniperus* : la section *Oxycedrus* (*J. communis* L., *J. oxycedrus* L.) et la section *Sabina* (*J. thurifera* L., *J. phoenicea* L., *J. sabina* L.) (Quézel et Santa, 1962 ; Maire, 1967).

3. Taxonomie

Le genre *Juniperus* appartient au sous embranchement des Gymnospermes ; la classe des Pinopsida (Conifères), famille des Cupressaceae et dans l'ordre des Pinales (Callen, 1976 ; Debazac, 1991).

Selon Debazac (1991), le genre *Juniperus communis* appartient à la systématique suivante :

Règne	Plantae
Sous règne	Trachiobionta
Division	Coniferopsides
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Gymnospermes
Ordre	Pinales
Famille	Cupressacées
Genre	<i>Juniperus</i>
Espèce	<i>Juniperuscommunis</i>

4. Description du Genévrier commun

C'est un arbrisseau, de forme buissonnante hémisphérique, est généralement bas et s'élève généralement à 1,50 m dans les zones protégées (Maire, 1952 ; Quezel et Santa, 1962), et peut s'élever exceptionnellement jusqu'à 2,50 m (Maire, 1952). Selon Quezel et Medail (2003), il a un port prostré, semi-dressé et dressé (figure 4).



Figure 4: *Juniperus communis* L.

Les aiguilles, courtes et denses, dépassent rarement 1 cm et se terminent par une pointe piquante (Quezel et Medail, 2003 ; Gaston et Douin, 1993). Elles présentent une bande blanchâtre unique sur leur face supérieure, surtout visible dans la partie haute (Quezel et Santa, 1962 ; Adams, 2011) (figure5), qui est en fait composée de deux bandes très proches l'une de l'autre et leur largeur varie entre 1 et 2 mm.



Figure 5: genévrier commun (P. Lieutaghi, in L. Portes, 1990).

C'est une espèce dioïque dont les fleurs mâles sont solitaires, ovoïdes et sont entourées de bractées courtes (Maire, 1952) et les fleurs femelles sont constituées de 03 feuilles ovulifères (Rameau et al., 2008).

Le fruit mûr est de couleur bleue ou noir-bleuâtre avec un diamètre qui varie de 5 à 7 mm, globuleux et charnu (Quezel et Santa, 1962 ; Adams, 2011) . Il est couvert d'une efflorescence glauque (Quézel et Santa, 1962).

Les baies de *Juniperus communis* sont des fruits en forme de cône riches en huiles essentielles et flavonoïdes, qui possèdent des propriétés antioxydantes et antiseptiques. Elles aromatisent notamment les viandes, telles que le gibier, et jouent un rôle essentiel dans la production du gin, où elles participent à des profils de saveur complexes.

Même si elles sont généralement perçues comme sécuritaires en petites quantités, leur consommation excessive peut entraîner des irritations gastro-intestinales, ce qui met en évidence l'importance de les utiliser avec prudence. Selon Mabry et Pohl (1999), l'analyse de ces baies ouvre des perspectives sur l'incorporation des plantes sauvages dans la cuisine contemporaine et la pharmacologie.



Figure 6: Les galbules de *Juniperus communis* (Mazza, 2020).

5. Aire de répartition de l'espèce

Le genévrier commun est parmi les gymnospermes largement distribué dans l'holarctique, s'étendant des montagnes circumméditerranéennes jusqu'à la toundra subarctique. Cette espèce montre une distribution nordique continue en Europe Centrale, mais les populations deviennent progressivement réduites en fragments dans les secteurs de hautes montagnes du Bassin méditerranéen (Garcia et al. 2000). Concernant, la sous espèce *hemisphaerica*, on la retrouve en Italie et en Grèce (Maire, 1952). Au Maroc, bien que toujours rare, il se trouve dans le Haut Rif calcaire, le Moyen Atlas oriental, et, de manière très éparse, dans le Haut Atlas oriental (Quézel et Gast, 2011).

En Algérie, on le trouve en grande quantité sur les sommets du Djurdjura, où le climat varie de l'humide froid à très humide froid (Yahi, 2007 ; Meddour, 2021). Il est, en revanche, plus rare dans les Aurès et les Babors, où il est principalement présent dans l'étage de la cédraie (Quézel et Santa, 1962). Barbero et al. (1990) ont montré par une approche multicritère que le genévrier rampant du Djurdjura appartient à la subsp. *Hemisphaerica*. Ce genévrier est très répandu et couvre plus de la moitié de la surface des parties sommitales asylvatiques de la chaîne du Djurdjura (Wojterski, 1988), depuis le djebel Haizer jusqu'au Lalla Khedidja, et il pénètre assez largement dans les cédraies claires, entre 1500 et 2200 m environ (Quézel et Barbero, 1989).

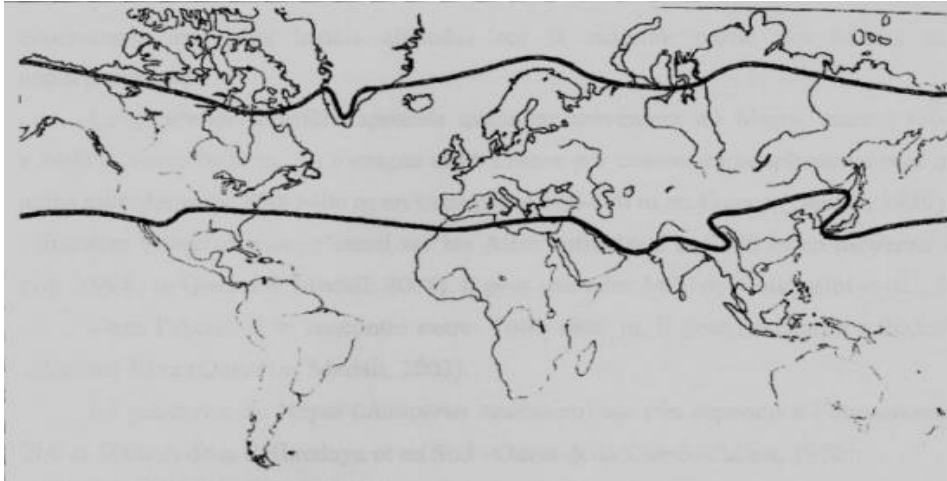


Figure 7 : Aire de répartition de *J. communis* dans le monde (Callen 1976).

6. L'utilisation du genévrier

Selon Bonnier et Douin (1993), le genévrier commun, est utilisé comme :

- Les jeunes pousses de feuilles sont employées dans le domaine de la gemmothérapie, une branche de la phytothérapie.
- Son huile essentielle est utilisée dans divers produits de beauté en raison de son efficacité exceptionnelle contre la cellulite.
- Les baies et les jeunes pousses, préparées en infusion, ont des effets diurétiques, stomachiques et digestifs. Ils sont efficaces contre l'asthme et contre les problèmes de ballonnements.
- Son bois compact et durable, sert à fabriquer les échelas , les manches, et il est utilisé aussi pour le chauffage.
- Le fruit est diurétique, stomachique (favorise la digestion), tonique, fortifiant et stimulant.
- L'utilisation excessive du genévrier peut entraîner des problèmes rénaux ; par conséquent, il est déconseillé de l'utiliser pendant la grossesse.

7. Rôles écologiques

Le *Juniperus communis* joue un rôle très important dans la dynamique de la végétation. Selon Negre (1950), il s'agit d'un bon fixateur de sol grâce à son architecture enchevêtrée de branches. Cela facilite l'accumulation de poussières et de nombreux débris végétaux, tout en préservant l'installation de nouveaux semis vers les pâturages.

Selon Quezel et Barbero (1989), le genévrier rampant est très actif dans la reconstruction de la cédraie, car les touffes qu'il forme sont de véritables refuges pour les espèces sciaphiles et permettent l'installation d'autres essences à labris du bétail.

Le *Juniperus communis* favorise le développement des jeunes semis de cèdre, et stimule leur croissance en créant un microclimat favorable à leur maintien (Mediouni et Yahi, 1989).

CHAPITRE III :

Matériel et Méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail est l'étude de la communauté ectomycorhizienne d'une population de *Juniperus communis*.

2. Le cadre d'étude

Ce travail a été réalisé dans le laboratoire de mycorhize de la faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

3. Présentation de la station d'étude : station Tigounatine

La station de Tigounatine est située dans le parc national de Djurdjura (figure 7) à une altitude de 1566 mètres et avec une orientation Nord – Ouest, la flore du massif montagneux est variée, avec des conifères tels que le pin d'Alep, le cèdre de l'Atlas, les chênes, les hêtres et surtout les genévriers. Le climat, marqué par des hivers froids et neigeux et des étés doux et secs, influence l'adaptation des espèces végétales aux variations saisonnières. Les caractéristiques de la station sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 2 : La localisation de la station Tigounatine

	Altitude	pente	Orientation	coordonnées GPS	nature du sol
Tigounatine	1566 m	50%	Nord ouest	36°27'24,03,4 N 04°06'37,43'7 E	Sol calcaire

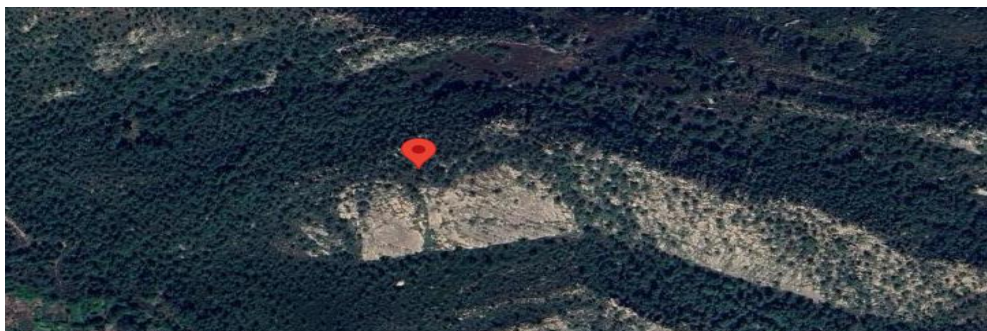


Figure 8 : La géolocalisation de la station Tigounatine, Akerrou (Google earth, 2024).

4. L'échantillonnage

Un échantillonnage aléatoire spécifique , effectué en mois de novembre 2023 pour le *Juniperus communis* , permettant de prélever des échantillons autour de quatres arbres au niveau de la station : Tigounatine , Akerrou . Autour de chaque arbre, plusieurs échantillons de sol et de racine ont été prélevés sous le houppier de l'arbre à une profondeur de 20 à 30 centimètres. Les agrégats du sol contenant les fragments racinaire sont placés et conservés dans des sachets en plastiques étiquetés , puis conservés au réfrigérateur à une température de 4°C avant de les conserver dans des buccaux remplis de FPA .

5. Matériel

Le matériel biologique utilisé est les racines du genevrier

6. Paramètres d'étude

6.1 Mesure du la température du sol

La température du sol lors des prélèvements est enregistrée sous le houppier de chaque arbre à 10 centimètres de profondeur à l'aide d'un thermomètres de terrain.

6.2 Mesure du pH du sol

On prend 10g de terre fine tamisée est mise dans un bécher mélangé à 25ml d'eau distillé. Le tout agité pendant 10 minutes sur un agitateur à l'aide d'un baromètre puis laissé reposer pendant deux heures comme illustré dans la figure 9 .

Les mesures sont effectuées par un pH-mètre de marque PHS-W .

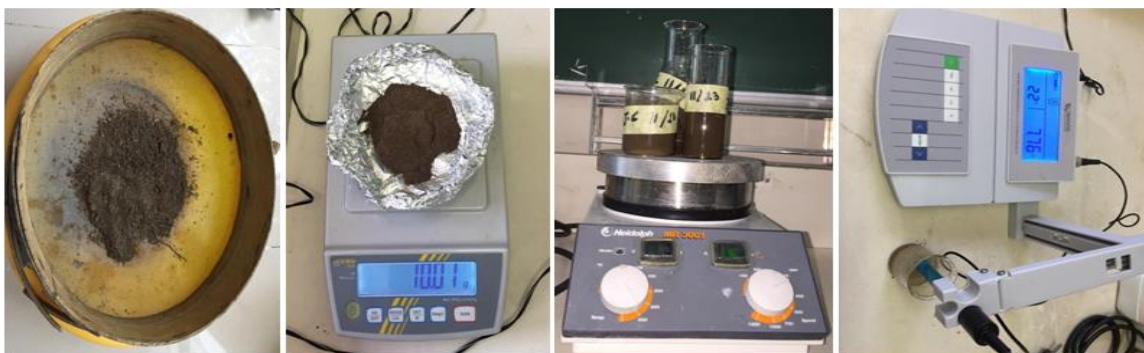


Figure 9 : Les différentes étapes de mesure du pH.

6.3 Description des ectomycorhizes

La méthode utilisée est celle décrite par AGERER (1995).

Les racines prélevées sont lavées avec de l'eau du robinet afin de les débarrasser des particules du sol. Elles sont observées à l'aide d'une loupe binoculaire (G×20, G×40), ce qui a permis de décrire la couleur, la répartition, la forme, la longueur, la présence ou l'absence de mycélium extra matriciel et de rhizomorphes, ainsi que le type d'exploration du sol (contact-courte- moyenne- et longue distance).

Toutes les mycorhizes isolées sont conservées dans des piluliers contenant du FPA qui est constitué de: Formol (3%), Acide propénoïque (5%) et Ethanol à 70° (96%).

6.4 Description anatomique des ectomycorhizes

L'étude anatomique des ectomycorhizes se concentre sur le manteau fongique et le réseau de Hartig. Le manteau fongique, qui entoure les racines, est décrit en termes de composition, d'épaisseur et de texture à l'aide de microscopie et de colorations avec du bleu de lactophénol. Le réseau de Hartig, constitué de hyphes qui pénètrent entre les cellules racinaires, est analysé pour sa densité, sa distribution et sa pénétration dans les racines.

Pour chaque arbre, nous avons recensé les différents morphotypes ectomycorhiziens puis effectué des coupes dans le but d'une description anatomique comme indiqué ci-dessous :

- Réalisation des coupes à main levée.
- Coloration au bleu de lactophénol.
- Montage entre lame et lamelle.
- Observation au microscope optique Leica, grossissement x 400.

6.5 Estimation de la colonisation mycorhizienne

Un comptage a été réalisé selon la Grid line intersect méthode de Giovannetti et Mosse (1980) (figure 10). Des fragments racinaires des ectomycorhizes de 2cm sont répartis de façon aléatoire dans une boîte de pétri quadrillée comme illustré dans la Figure 11. Le comptage a été réalisé 3 fois pour chaque arbre, la moyenne obtenue exprime le taux de mycorhization pour les 4 arbres.

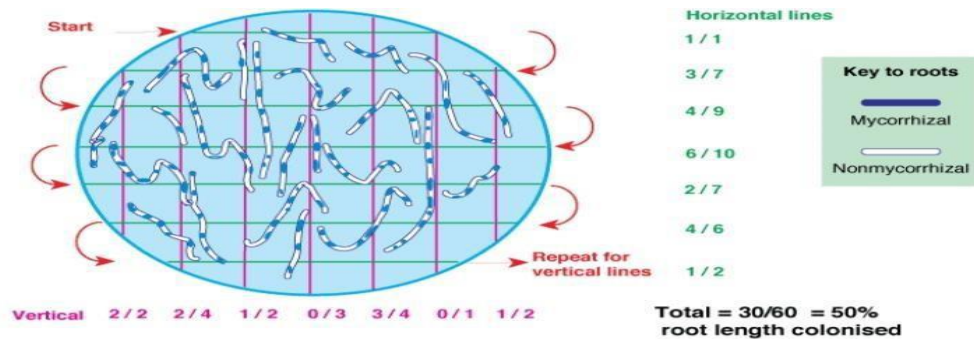


Figure 10 : Photo illustrant la méthode de la GridlineIntersect.



Figure 11 : photo représentant des fragments racinaires dans une boîte de pétri quadrillée.

6.6 Analyses statistiques

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel R.

CHAPITRE IV :

Résultats et Discussion

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

1. Paramètre du sol de la station de Tigounatine

Le potentiel hydrogène enregistré au niveau de la station révèle que le sol est légèrement alcalin d'une valeur de 7.75 selon les normes de Calvet et Villemin (1986).

2. L'étude morphologique des ectomycorhizes de *J.communis*

Le tableau 2 présente le nombre de morphotypes spécifiques et communs de la station d'étude.

Tableau 2: la richesse morphotypique de la station d'étude

	EcMs « C »	EcMs « CD »	EcMs « MLD »	Total
Tigounatine	10	8	8	26

L'observation des racines du Genévrier commun des quatre arbres de la station de Tigounatine révèle la présence de vingt-six (26) morphotypes ectomycorhiziens avec dix morphotypes contact, huit morphotypes de type courte distance et huit morphotypes de type exploratoire moyenne et longue distance.

3. Description des ectomycorhizes de *Juniperus communis* dans la station de Tigounatine

3.1 Description des ectomycorhizes fréquentes

Morphotype 2

La mycorhize est de couleur orange, simple, bombée avec une phase extra-matricielle lisse et la stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C). La coupe anatomique montre un manteau fongique assez épais et un réseau de Hartig (Rh) qui s'étend jusqu'au cylindre central (figure.12.a.b).

Morphotype 3

La mycorhize est de couleur marron, simple et courbée. La phase extramatricielle est en feutrage et la stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C) (figure 12.c).

Morphotype 4

La mycorhize est de couleur orange, simple bombée et la phase extramatricielle est lisse. La stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C) (figure 12.d).

Morphotype 5

La mycorhize est simple, de couleur marron orangé, courbée avec une phase extramatricielle en feutrage. La stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C).

La coupe anatomique montre un manteau fongique marron assez épais et un réseau de Hartig qui s'étale sur six couches de cellules corticales (figure 12.f).

Morphotype 6

La mycorhize est simple, lisse, de couleur marron orangé avec une forme droite. La stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C).

La coupe transversale de cette mycorhize révèle un manteau fongique fin et un réseau de Hartig de type G qui s'étend jusqu'au cylindre central (figure 13.a.b).

Morphotype 7

La mycorhize est simple de couleur noire et courbée. La phase extramatricielle montre la présence d'hyphes. La stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD).

La coupe anatomique montre un manteau fongique noire relativement épais et un réseau de Hartig qui s'étend jusqu'au cylindre central (figure 13.c.d).

Morphotype 8

La mycorhize est simple, de couleur orange avec une forme bombée. La phase extramatricielle est en feutrage. La stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD) (figure 13.e).

Morphotype 9

La mycorhize est simple de couleur noire, granuleuse avec une forme courbée et présence de quelques hyphes. La stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD) (figure 13.f).

Morphotype 11

La mycorhize est simple, droite, de couleur marron orangé , légèrement granuleuse et présente des rhizomorphes. La stratégie d'exploration du sol est de type *moyenne et ou longue distance* (MLD). La coupe anatomique montre un manteau fongique sombre peu épais et un réseau de Hartig qui s'étale jusqu'au cylindre central (figure 14.a.b).

Morphotype 15

La mycorhize est simple , de couleur orange, courbée. Elle présente des hyphes et la stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD).

La coupe anatomique présente un manteau fongique très fin et un réseau de Hartig sur quatre couches de cellules corticales (figure 14.c.d).

Morphotype 18

La mycorhize est simple, droite, de couleur marron orangé et la phase extramatrielle présente des rhizomorphes et la stratégie d'exploration du sol est de type *moyenne longue distance* (MLD) (figure 14.e).

Morphotype 20

La mycorhize est simple, bombée, orange avec une phase extramatrielle cotonneuse. Elle présente un rhizomorphe de type phlegmacioide et la stratégie d'exploration du sol est de type *moyenne longue distance* (MLD) (figure 14.f.g).

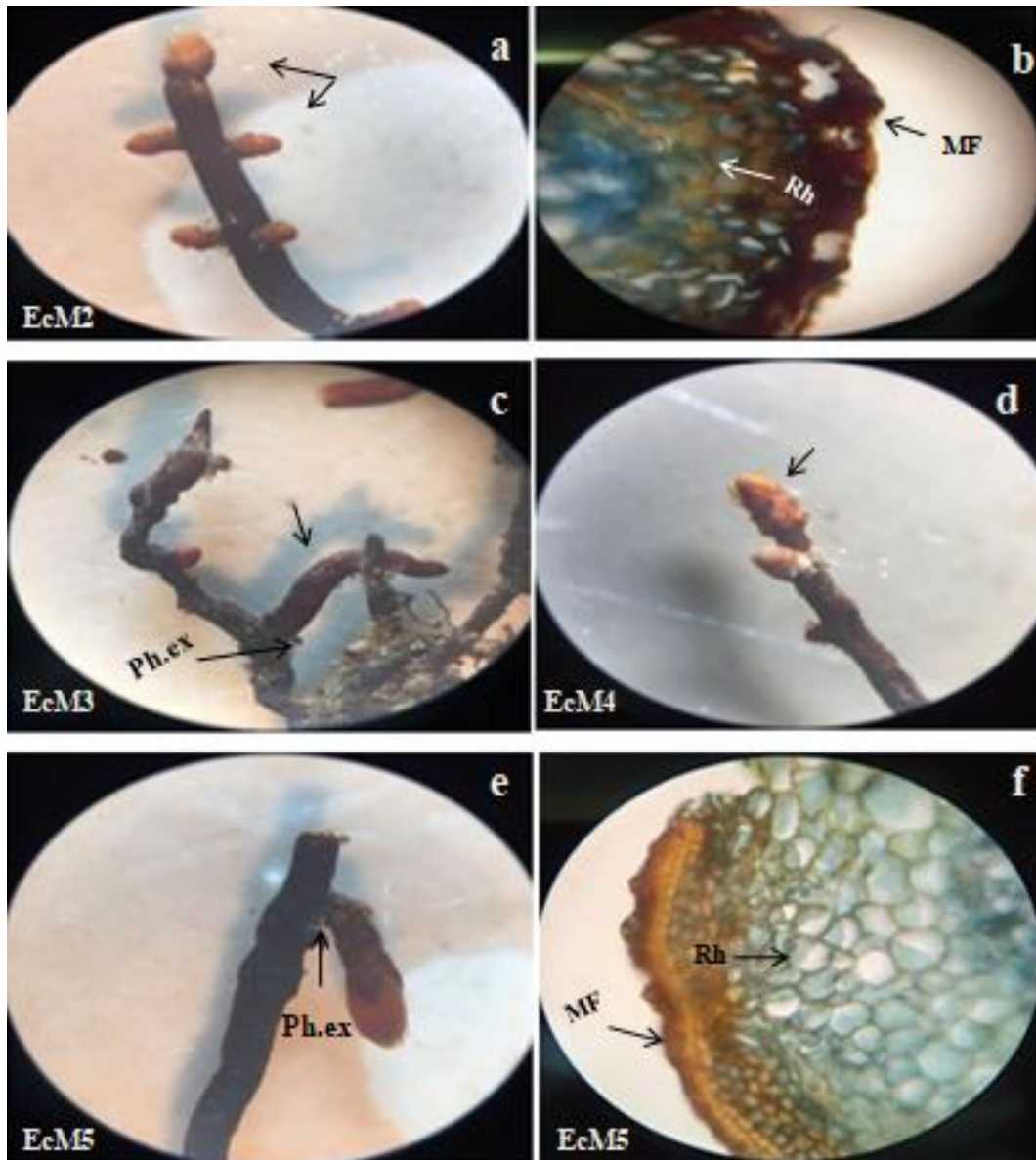


Figure 12: Ectomycorhizes fréquentes de *Juniperus communis* dans la station de Tigounatine.

(a) : observation de l'EcM2 de type contact à la loupe binoculaire G×4. (b) : coupe anatomique transversale de l'EcM2 observé au microscope G×400. (c) : observation de l'EcM3 à la loupe binoculaire G×4. (d) : observation de l'EcM4 à la loupe binoculaire G×4. (e) : observation de l'EcM5 à la loupe binoculaire G×4. (f) : coupe anatomique transversale de l'EcM5 observé au microscope G×400. (EcM :ectomycorhize ; MF : manteau fongique ; Rh :réseau de Hartig ; ph.ex : phase extramatricielle).

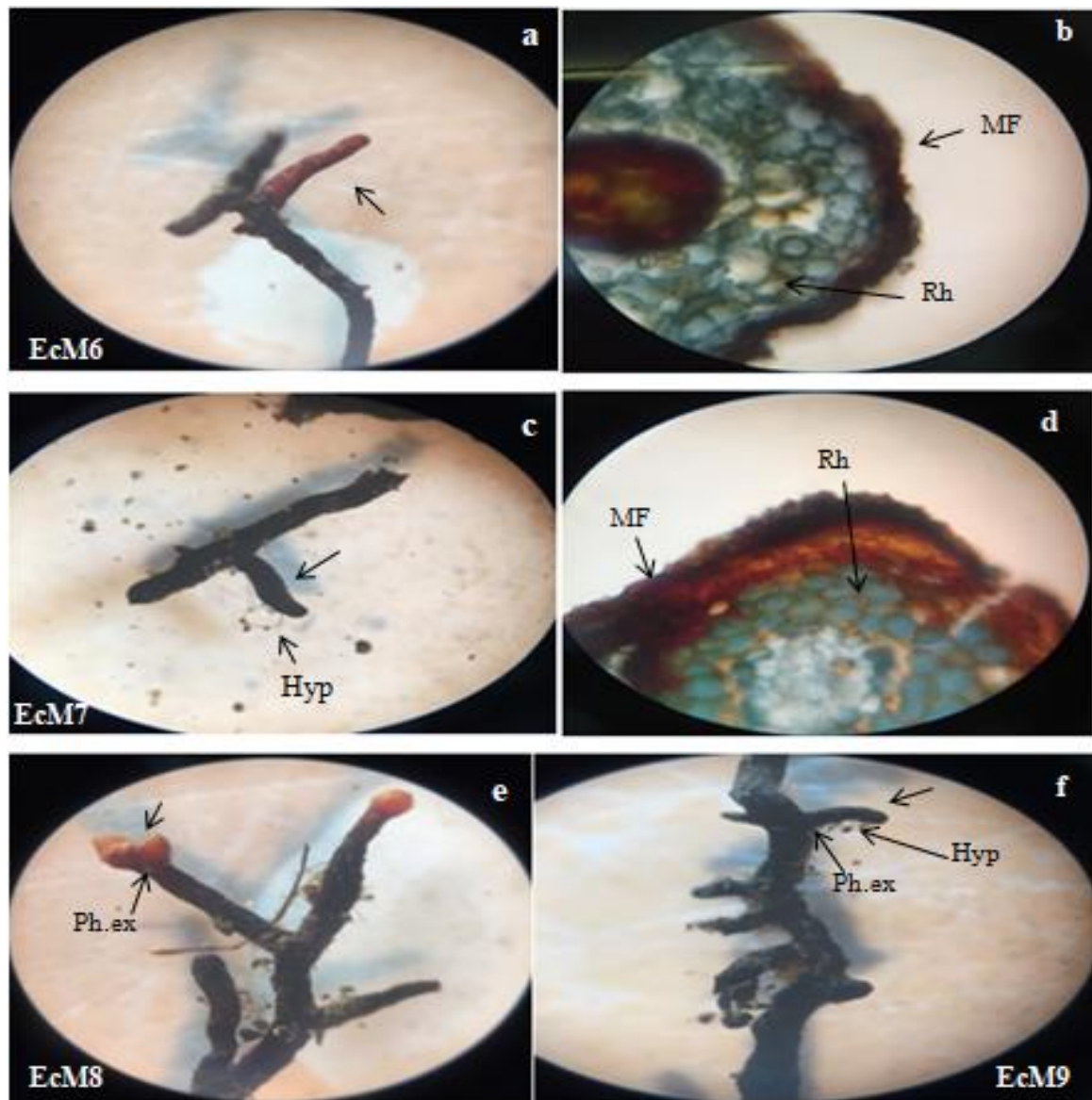


Figure 13: Ectomycorhizes fréquentes de *Juniperus communis* dans la station Tigounatine.

- (a) : observation de l'EcM6 à la loupe binoculaire G×4. (b) : coupe anatomique transversale de l'EcM6 observé au microscope G×400. (c) : observation de l'EcM7 la loupe binoculaire G×4. (d) : coupe anatomique transversale de l'EcM7 observé au microscope G×400. (e) : observation de l'EcM8 à la loupe binoculaire G×4. (f) : observation de l'EcM9 à la loupe binoculaire G×4. (EcM : ectomycorhize ; MF : manteau fongique ; Rh : réseau de Hartig ; ph.ex : phase extramatricielle).

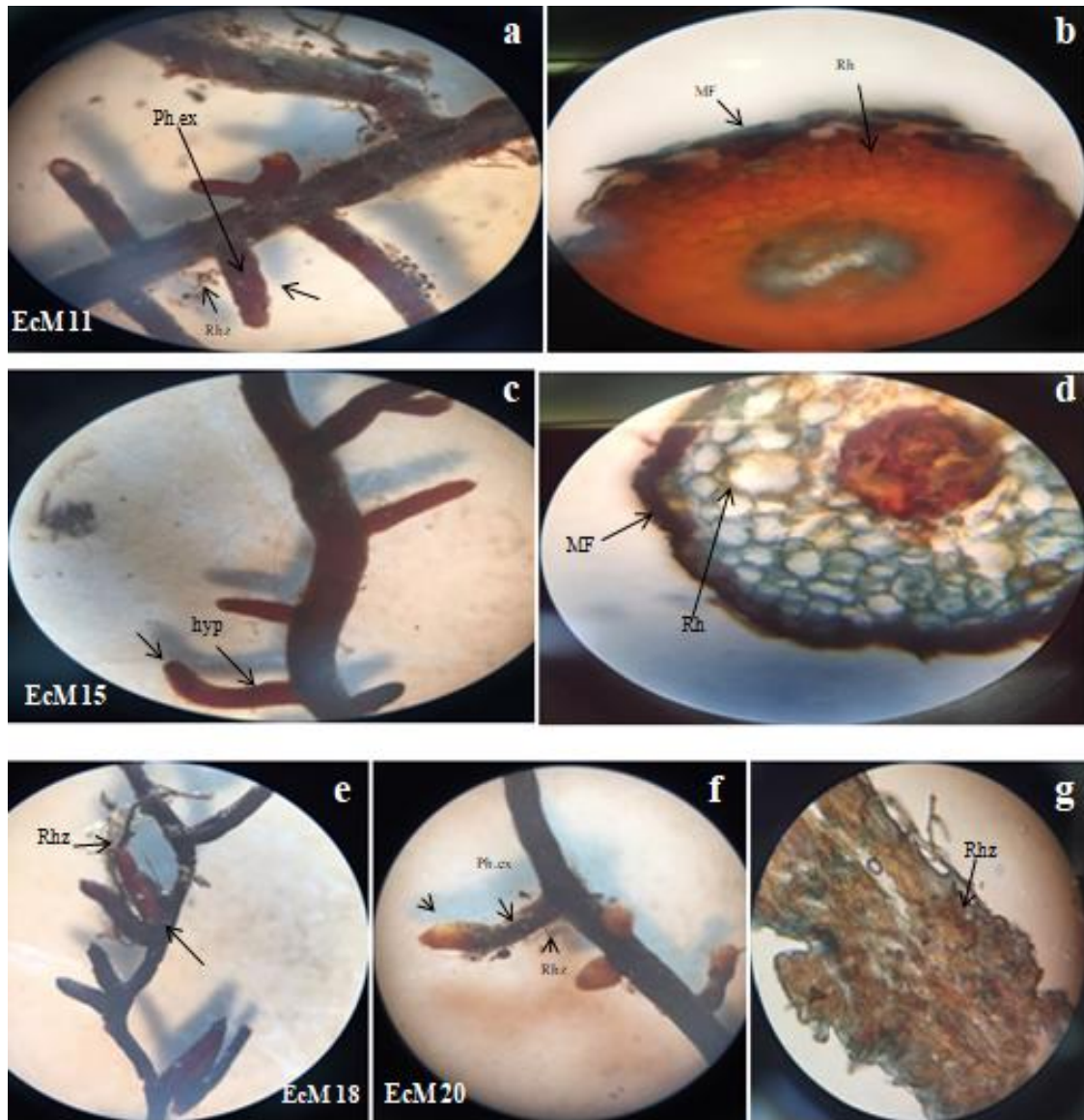


Figure 14: Ectomycorhizes fréquentes de *Juniperus communis* dans la station de Tigounatine.

(a) : observation du morphotype 11 à la loupe binoculaire G×4. (b) : coupe anatomique transversale du morphotype 11 observé au microscope G×400. (c) : observation du morphotype 15 à la loupe binoculaire G×4. (d) : coupe anatomique transversale du morphotype 15 observé au microscope G×400. (e) : observation du morphotype 18 à la loupe binoculaire G×4. (f) : observation du morphotype 20 à la loupe binoculaire G×4.

(a) (g) : observation du rhizomorphe de l'Ecm20 au microscope G×400. (EcM : ectomycorhize ; MF : manteau fongique ; Rh : réseau de Hartig ; ph.ex : phase extramatriceielle ; Rhz : rhizomorphe).

3.2 Description des ectomycorhizes rares

a. Arbre 1

Morphotype 1

la mycorhize est simple, bombée, orange avec une phase extramatricielle lisse. La stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C).

la coupe anatomique de cette mycorhize montre un manteau fongique fin et un réseau de Hartig qui s'étend jusqu'au cylindre central (figure 15.a.b).

Morphotype 10

La mycorhize est ramifiée, courbée, de couleur marron. La phase extramatricielle est granuleuse avec présence de rhizomorphes. La stratégie d'exploration du sol est de type *moyenne longue distance* (MLD). La coupe anatomique montre un manteau fongique noir plectenchymateux et un réseau de Hartig de type E qui s'étend jusqu'au cylindre central (figure 15.c.d.e).

Morphotype 12

La mycorhize est de couleur noire, simple et courbée. La phase extramatricielle est granuleuse et présente des rhizomorphes de type uniforme lâche. la stratégie d'exploration du sol est de type moyenne longue distance (MLD) (figure 15.f.g).

b. Arbre 2

Morphotype 13

La mycorhize est simple, courbée de couleur orange avec une phase extramatricielle en feutrage. La stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C) (figure 15.h).

Morphotype 14

C'est une mycorhize simple, droite de couleur marron. La phase extramatricielle est en feutrage et la stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD) (figure 16.a).

Morphotype 16

La mycorhize est simple, courbée de couleur orange foncé avec une phase extramatricielle granuleuse. Elle présente quelques hyphes et la stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD).

la coupe anatomique montre un manteau fongique fin et un réseau de Hartig de type G qui s'étend jusqu'au cylindre central (figure 16.c.d).

Morphotype 17

La mycorhize est simple, droite, de couleur marron orangé. la phase extramatricielle est cotonneuse avec la présence de rhizomorphes. La stratégie d'exploration du sol est de type *moyenne longue distance* (MLD) (figure 16.b).

Morphotype 19

La mycorhize est simple, courbée, de couleur noire avec une phase extramatricielle laineuse. Elle présente des rhizomorphes de type uniforme lâche. La stratégie d'exploration du sol est de type *moyenne distance* (MD) (figure 16.e.f).

c. Arbre 3 :

Morphotype 21

La mycorhize est ramifiée, courbée de couleur noire. La phase extramatricielle est granuleuse. La stratégie d'exploration du sol est de type *contact* (C) (figure 16.g).

Morphotype 22

La mycorhize est simple, bombée, de couleur noire avec une phase extramatricielle cotonneuse. La stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD) (figure 17.a).

Morphotype 23

La mycorhize est simple, bombée, de couleur noire avec une phase extramatricielle laineuse et présente des hyphes. La stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD).

La coupe anatomique montre un manteau fongique épais noir pseudoparenchymateux et un réseau de Hartig qui s'étend jusqu'au cylindre central. Ces caractéristiques descriptives semblent indiquer qu'il s'agirait du genre *Cenococcum* (figure 17.c.d).

Morphotype 24

La mycorhize est simple, bombée, de couleur marron orangé avec une phase extramatricielle granuleuse. Elle présente des rhizomorphes de type thalophoroïde et la stratégie d'exploration du sol est de type *moyenne distance* (MLD) (figure 17.b).

d. Arbre 4**Morphotype 25**

La mycorhize est simple, bombée, de couleur noire avec une phase extramatrice en feutrage. La stratégie d'exploration du sol est de type *contact*(C) (figure 17.e).

Morphotype 26

La mycorhize est simple, droite, marron foncé avec une phase extramatrice légèrement cotonneuse. Elle présente des hyphes et la stratégie d'exploration du sol est de type *courte distance* (CD)(figure 17.f).

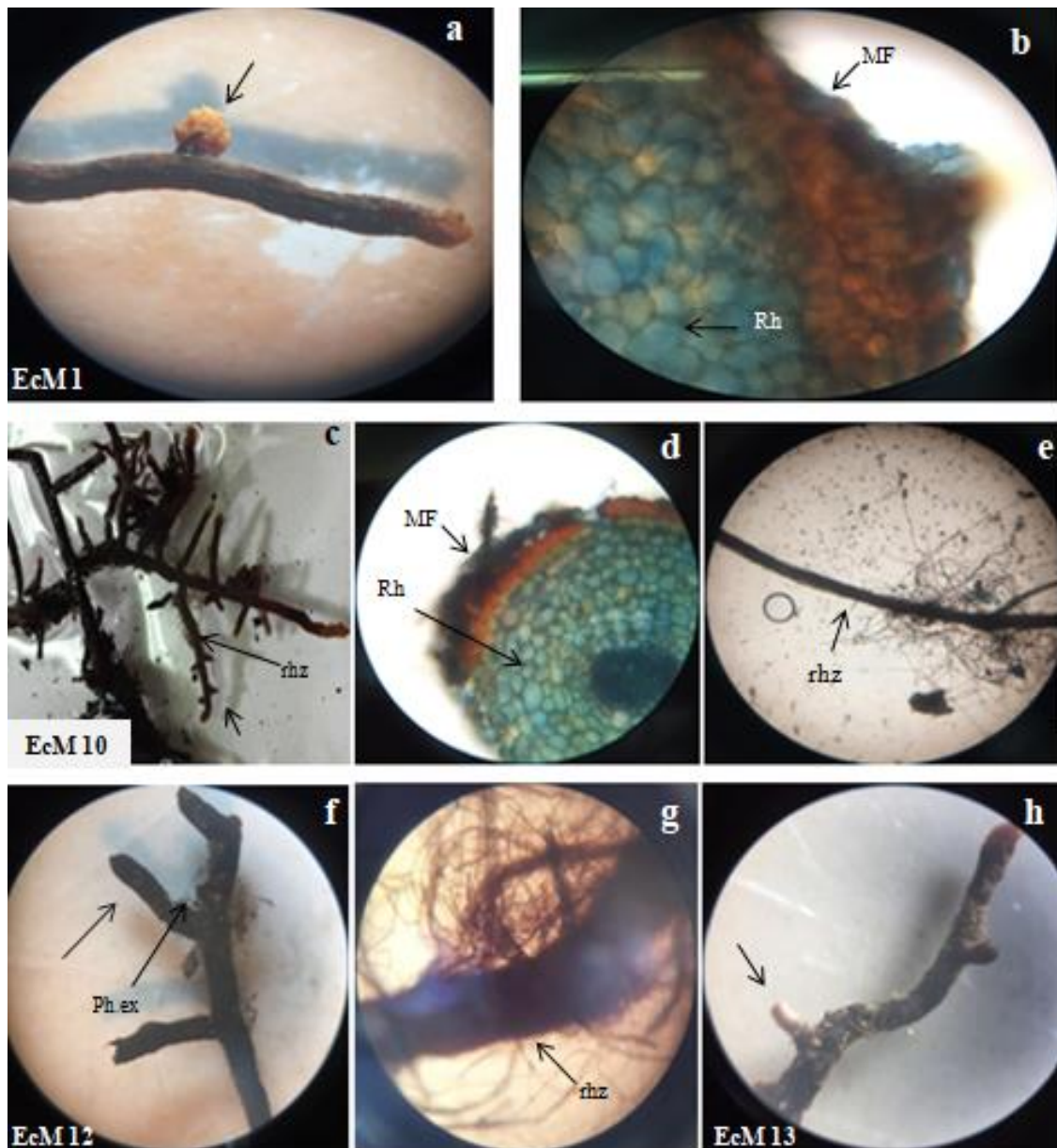


Figure 15: Ectomycorhizes rares de *Juniperus communis* dans la station de Tigounatine.

- (a) (a) : observation de l'EcM1 à la loupe binoculaire G×4. (b) : coupe anatomique transversale de l'EcM1 observé au microscope G×400. (c) : observation de l'EcM10 à la loupe binoculaire G×4. (d) : coupe anatomique transversale de l'EcM10 observé au microscope G×400. (e) : observation du rhizomorphes de l'EcM10 au microscope G×400. (f) : observation de l'EcM12 à la loupe binoculaire G×4. (g) : observation du rhizomorphes de l'EcM12 au microscope G×400. (h) : observation de l'EcM13 à la loupe binoculaire G×4. (EcM : ectomycorhize ; MF : manteau fongique ; Rh : réseau de Hartig ; ph.ex : phase extramatricielle ; Rhz : rhizomorphe).

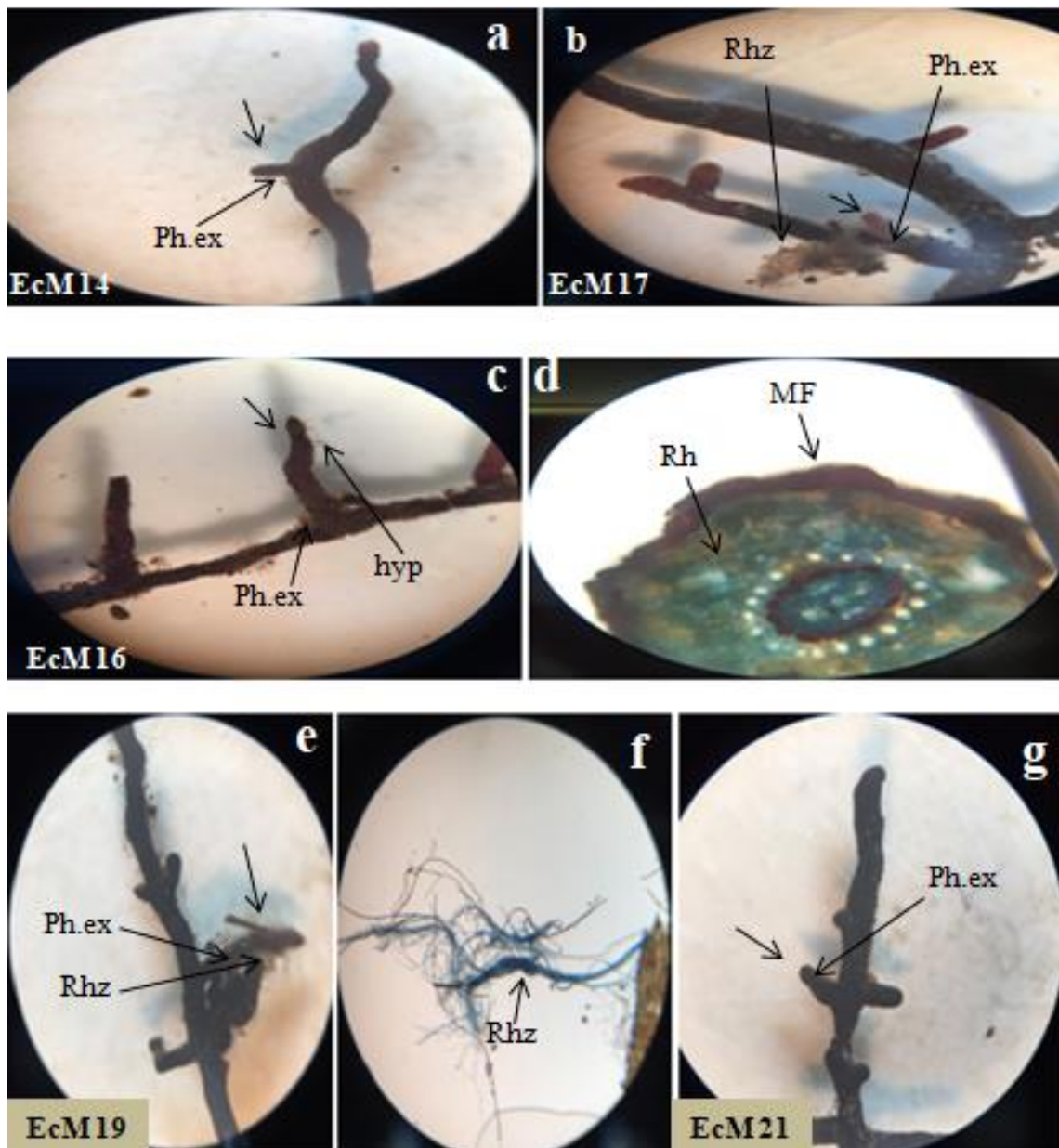


Figure 16: Ectomycorhizes rares de *Juniperus communis* dans la station de Tigounatine.

(a) : observation de l'EcM 14 à la loupe binoculaire G×4. (b) : observation de l'EcM 17 à la loupe binoculaire G×4. (c) : observation de l'EcM 16 à la loupe binoculaire G×4. (d) : coupe anatomique transversale de l'EcM 16 observé au microscope G×400. (e) : observation de l'EcM 19 à la loupe binoculaire G×4. (f) : observation du rhizomorphes de l'EcM 19 au microscope optique. (g) : observation de l'EcM 21 à la loupe binoculaire G×4. (EcM :ectomycorhize ; MF: manteau fongique ; Rh :réseau de Hartig ; Ph.ex : phase extramatricielle ;Rhz : rhizomorphe).

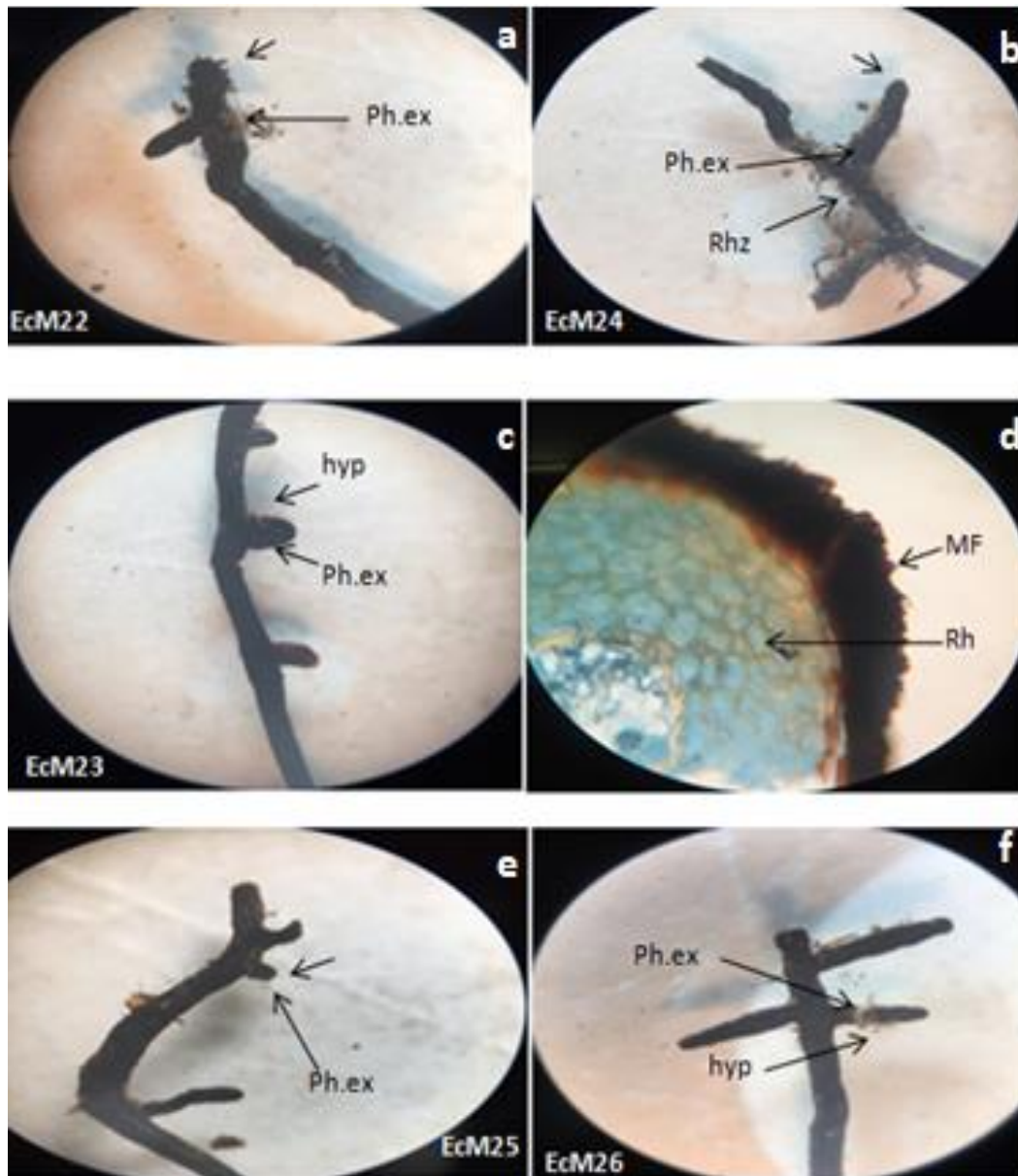


Figure 17: Ectomycorhizes rares de *Juniperus communis* dans la station de Tigounatine.

(b) : observation de l'EcM 22 à la loupe binoculaire G×4. (b) : observation de l'EcM 24 à la loupe binoculaire G×4. (c) : observation de l'EcM 23 à la loupe binoculaire G×4. (d) : coupe anatomique transversale de l'EcM 23 observé au microscope G×400. (e) : observation de l'EcM 25 à la loupe binoculaire G×4. (f) : observation de l'EcM 26 à la loupe binoculaire G×4. (EcM :ectomycorhize ; MF : manteau fongique ; Rh :réseau de Hartig ; Ph.ex : phase extramatricielle ;Rhz : rhizomorphe).

4. Estimation de la colonisation mycorhizienne de *J.communis* de la station de Tigounatine

4.1 Estimation du taux de mycorhization total et par arbre

Le tableau 3 et la figure 18 suivants représentent le pourcentage d'ectomycorhization total et par arbre de *Juniperus communis* de la station de Tigounatine.

Tableau 3 : pourcentage de mycorhization total et par arbre
(EcM : ectomycorhize ; t : total)

Tigounatine	M%	Ecart type
EcM t	21.62	2.06
Arbre 1	17,86	0.03
Arbre 2	26,47	4.10
Arbre 3	23,33	3.02
Arbre 4	18,61	1.09

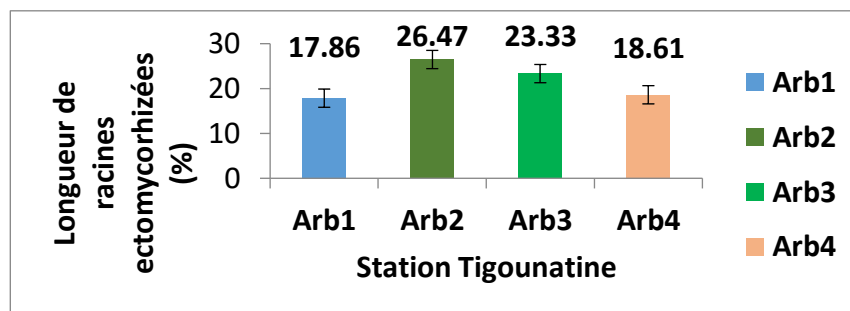


Figure 18 : taux de mycorhization par arbre

Le tableau 4 suivant résume le taux d'ectomycorhization de la station selon le type d'exploration :

Tableau 4: Taux d'EcM selon le type exploratoire (EcM : ectomycorhize ; C : contact ; CD : courte distance ; MLD : moyenne et longue distance)

Tigounatine	Taux d'EcMs
EcM C	13.11%
EcM CD	4.52%
EcM MLD	4.07%

L'analyse des données sur la colonisation mycorhizienne des arbres de *Juniperus communis* à la station de Tigounatine montre un gradient de mycorhization en ordre croissant. L'arbre 1 présente le taux le plus faible de 17,86 %, suivi de l'arbre 4 avec 18,61 %. L'arbre 3 a un taux de 23,33 %, tandis que l'arbre 2 affiche le taux le plus élevé à 26,47 %. Ces résultats sont illustrés dans le tableau 4 et la figure 18.

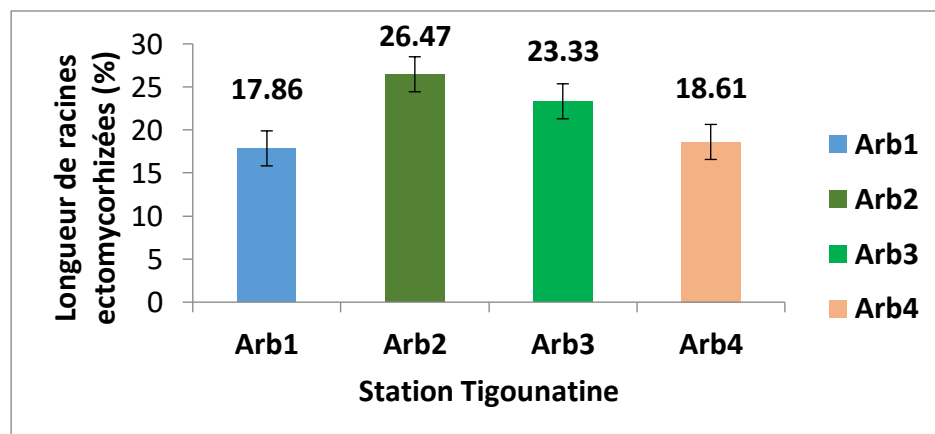


Figure 18 : taux de mycorhization par arbre

4.1 Estimation de l'ectomycorhization selon les types d'exploration du sol

Le tableau 5 et la figure 19 permettent d'annoncer le pourcentage de l'ectomycorhization de chaque arbre en fonction du type d'exploration du sol.

Tableau 5: Taux de mycorhization de *J.communis* des différents types d'exploration. (C : contact ; CD : courte distance ; MLD : moyenne et longue distance).

Tigounatine	EcMs %		
	C	CD	MLD
Arbre 1	10.71±0.01	3.93±0.01	3.19±0
Arbre 2	18.51±0.02	5.53±0.02	2.47±0.01
Arbre 3	13.59±3.18	3.44±0.30	6.86±0.32
Arbre 4	9.64±1.03	5.20±0.50	3.77±0.28

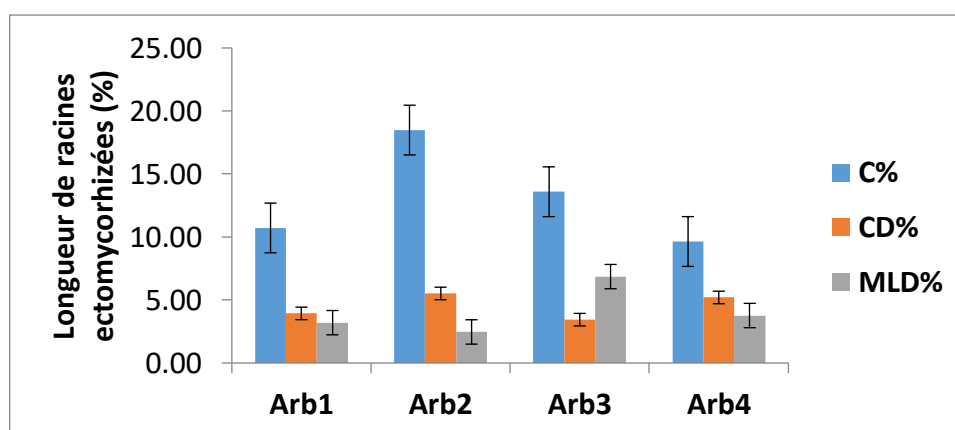


Figure 19: pourcentage des différents types d'exploration au niveau de chaque arbre de la station. (C: contact ; CD: courte distance ; MLD: moyenne et longue distance).

Le pourcentage d'ectomycorhization selon les stratégies d'exploration du sol au niveau de chaque arbre a mis en évidence un pourcentage élevé pour le TE Contact de 18,51% au niveau de l'arbre 2, en comparaison avec les autres arbres. Concernant le TE à courte distance, l'arbre 2 enregistre également un pourcentage plus important, s'élevant à 5,53%, tandis que pour le TE à moyenne et longue distance, c'est l'arbre 3 qui présente le taux le plus important, avec 6,86% (tableau 5)(figure 19).

5. Analyses statistiques

Les tableaux 6 et 7 représentent les résultats obtenus du test de l'ANOVA du taux d'ectomycorhization des arbres de *Juniperus communis* de la station de Tigounatine en fonction du type exploratoire et en fonction du sexe des arbres.

Tableau 6: Résultats du test ANOVA en fonction du type exploratoire (EcM : ectomycorhize ; TE : type exploratoire ; C : contact ; CD : courte distance ; MLD : moyenne et longue distance).

	Arbre1	Arbre2	Arbre3	Arbre4	P value
EcM%	31.66±5.03	46.33±8.08*	29.33±4.04	26.33±5.51	0.0131*
TE.C	19±2.64	32.33±4.16***	17±3.60	13.66±3.21	0.000804***
TE.CD	7±2.64	9.66±3.21	4.33±0.57	7.33±1.52	0.104
TE.MLD	5.66±0.57	4.33±1.52	8.66±2.08*	5.33±1.15	0.0340*

L'analyse statistique de l'ANOVA à l'aide du logiciel R en fonction du type exploratoire à révèlé une différence significative de ($p=0.0131$) en taux de mycorhization entre les quatres arbres en faveur de l'arbre 2 avec un taux de mycorhization de 33,41%.

Une différence très hautement significative ($p=0.000804$) pour le type exploratoire contact en faveur de l'arbre 2 . Cependant aucune différence n'est enregistrée pour le type exploratoire courte distance

Une différence significative de ($p=0.0304$) pour le type exploratoire moyenne et longue distance en faveur de l'arbre 3.

Tableau 7 : Résultats d'un test ANOVA en fonction du sexe des arbres et en fonction du type exploratoire (EcM : ectomycorhize ; rich : richesse ; C : contact ; CD : courte distance ; MLD : moyenne et longue distance).

	Femelle	Mâle	P value
Rich EcM%	12±0.00*	10.5±1.64	0.0493*
Rich C %	5±1.09	4±0	0.0493*
Rich CD %	3.5±0.54	4±0	0.0493*
Rich MLD %	3.5±0.54	2.5±1.64	0.188
EcM%	30.5±4.27	36.33±12.58	0.307
TE.C	18±3.03	23±10.75	0.299
TE.CD	5.66±2.25	8.5±2.58	0.0706
TE.MLD	7.16±2.13*	4.83±1.32	0.0465*

Les résultats de l'analyse de l'ANOVA à l'aide du logiciel R en fonction du sexe et en fonction du type exploratoire mettent en évidence les conclusions suivantes :

Une différence significative a été observée dans les valeurs de richesse ectomycorhizienne ($p=0.0493$), en faveur des arbres femelles (arbres 1 et 3).

Une différence significative ($p=0.0493$) de la richesse morphotypique du type exploratoire courte distance en faveur des arbres mâles (arbre 2 et 4). Cependant pour le type exploratoire moyenne et longue distance aucune différence n'est enregistrée.

Aucune différence n'est enregistrée en longueur racinaire ectomycorhizée entre les arbres femelles et mâles.

Concernant les types exploratoires, la seule différence significative observée est pour le type exploratoire moyenne et longue distance en faveur des arbres femelles ($p=0.0465$).

6. Discussion

L'étude de la communauté ectomycorhizienne de *Juniperus communis* de la région de Tigounatine révèle la présence effective des ectomycorhizes. Ce résultat a été également rapporté par Zeggane en 2022 sur trois populations de *J.communis* et par Guessoum en 2023 sur la même population de Genévrier de Tigounatine.

Conformément aux résultats de Sanguin H. *et al.* (2013), qui ont démontré l'existence d'un statut mycorhizien ectotrophe chez les espèces étudiées, cette recherche confirme également la présence de ce type de mycorhizes de *Juniperus communis* dans notre station .

La richesse morphotypique a permis d'identifier vingt-six (26) morphotypes ectomycorhiziens. Une étude menée par Guessoum en été 2022 dans la même station de Tigounatine a révélé vingt(20) morphotypes, soit un nombre inférieur à notre observation.

La différence observée pourrait être attribuée aux conditions climatiques (Tedersoo *et al.*, 2010): en automne, les pluies renforcent la résistance des plantes face aux changements climatiques , contrairement aux périodes d'été .Cela favorise une plus grande complémentarité et diversité des ectomycorhizes.

Les morphotypes observés sont de différentes couleurs : noires, marrons, oranges et marrons orangés ; ont des distributions soit simples soit ramifiées, contrairement aux distributions observées dans les travaux de Guessoum et Zeggane en été 2022 sur le *Juniperus communis* ou la diversité est plus importante.

La phase extramatricielle présente de multiples aspects : lisse, en feutrage, cotonneuse ou bien granuleuse. Certains morphotypes présentent des hyphes mycéliens et des rhizomorphes.

Selon Courty *et al.*, 2010, la phase extramatricielle des ectomycorhizes est plus active en été, avec une extension des hyphes pour capter l'eau et les nutriments, essentiels à la croissance des plantes . En automne, bien que l'activité diminue avec la baisse des températures, les hyphes continuent à absorber les nutriments issus de la décomposition de la matière organique et à préparer la plante à l'hiver en stockant ces ressources dans les racines.

L'analyse anatomique des ectomycorhizes a mis en évidence la présence des manteau fongique épais, qui optimisent l'absorption des nutriments, protègent les racines des pathogènes, renforcent la structure du sol et soutient les échanges symbiotiques (Tedersoo, May, & Smith, 2010) ainsi que la présence des réseaux de Hartig de type E et G qui s'étendent jusqu'au cylindre central. Selon Dexheimer (1997), ces réseaux sont essentiels pour les échanges nutritionnels entre la racine et le champignon. Ils facilitent le transfert de nutriments comme le phosphore et l'azote de la mycorhize à la plante, tout en fournissant au champignon les sucres produits par la photosynthèse. C'est le siège d'échanges nutritionnels entre la racine et le champignon.

Le réseau de Hartig souvent s'étend jusqu'au cylindre central des racines, améliorant les échanges de nutriments et d'eau entre le champignon et la plante, bien que cela soit plus rare et spécifique à certaines espèces (Smith & Read, 2008). Cette caractéristique est principalement observée chez certaines espèces de gymnospermes, où les hyphes du réseau de Hartig pénètrent profondément dans le cortex des racines (Kottke et Oberwinkler, 1986).

Sur les 26 morphotypes identifiés, 12 sont classifiés comme étant fréquents et 14 comme étant rares, dont un morphotype du genre *Cenococcum* a été identifié dans notre étude et celle de Guessoum en été (2022).

Cenococcum geophilum est un champignon ectomycorhizien résistant aux stress environnementaux comme la sécheresse, le gel et la salinité. Il s'adapte à divers types de sols, y compris ceux contaminés, et forme des associations symbiotiques avec de nombreux arbres et arbustes, tels que le *Juniperus communis*, contribuant à l'absorption des nutriments et à la résilience des plantes (Courty, P et al, 2005). Sa capacité à s'adapter aux différentes conditions environnementales expliquerait sa persistance en été et en automne.

La richesse morphotypique selon les types exploratoires dans notre station en automne 2023 a révélé une forte prédominance du type exploratoire contact, suivi des types exploratoires à courte distance et MLD, qui présentent des valeurs équivalentes. Cependant les résultats obtenus par Guessoum à l'été 2022, montrent une dominance du type exploratoire MLD, suivi du type courte distance et enfin du type contact, nos observations révèlent une tendance différente.

Cette différence peut être attribuée aux conditions climatiques: en automne, les périodes pluvieuses permettent à la plante de ne pas avoir à rechercher de l'eau dans les sols profonds contrairement en période d'été mettant en évidence une complémentarité et diversité ectomycorhizienne.

Selon les travaux d'Agerer, 2006, les ectomycorhizes développent une stratégie d'exploration *Contact* présentant un manteau lisse alors que les ectomycorhizes possédants un type exploratoire *Courte Distance* ou *Moyenne Longue Distance* possèdent respectivement des hyphes et des rhizomorphes qui se développent sur une distance profonde dans le sol à la recherche de l'eau et les nutriments.

Il est à signaler également que nous avons mené des recherches sur la présence d'endomycorhization chez *Juniperus communis*, un travail qui a nécessité un effort considérable. Cependant, nous avons rencontré des difficultés liées à la décoloration des racines, qui ne se fait pas facilement. Lorsque nous tentons de forcer cette décoloration, cela peut endommager les structures internes des racines, compliquant ainsi notre analyse.

Malgré ces défis, il est important de souligner que l'absence de résultats concluants ne signifie pas que cette espèce ne présente pas d'endomycorhization. Cette forme de symbiose est courante chez de nombreuses plantes, et il est tout à fait possible que *Juniperus communis* en fasse partie. Nos efforts pour explorer cette hypothèse témoignent de notre engagement envers la recherche. Pour confirmer cette présence, des études futures devront être réalisées dans des conditions adaptées et avec des méthodes qui préservent l'intégrité des racines. Cela nous permettra de mieux comprendre le rôle écologique de cette symbiose et son impact sur la santé et la croissance de l'espèce dans son habitat naturel.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude du statut mycorhizien de *Juniperus communis* de la région de Tigounatine dans le parc National de Djurdjura menée en automne 2023 révèle la présence d'une association mycorhizienne: l'ectomycorhization.

L'étude a mis en évidence une diversité morphotypique de vingt-six (26) morphotypes d'ectomycorhizes. Sur les 26 morphotypes identifiés, 12 sont classifiés comme étant fréquents et 14 comme étant rares.

d'autre part, selon le type d'exploration nous avons enregistré 10 morphotype de type contact, 8 morphotype de type courte distance et 8 morphotype de type moyenne et longue distance. L'estimation du taux de mycorhization a révélé un pourcentage de 33.41%. Quant à l'estimation de la colonisation mycorhizienne en fonction des types exploratoires nous avons noté la longueur racinaire la plus élevée en faveur du type contact.

En perspective, il serait pertinent d'intensifier les recherches sur cette espèce, essentielle pour l'établissement du cèdre d'Atlas. Il serait utile aussi d'identifier les partenaires fongiques de cette symbiose.

En outre, approfondir l'étude en dehors de la saison automnale permettrait de compléter les données. Enfin, des études futures devraient explorer l'influence des facteurs climatiques et édaphiques sur la mycorhization du genévrier.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- ❖ **Adams R., 2011:** Junipers of the world: The genus *Juniperus* 3rd Edition. Trafford rev, Ouvrage. 426 p.
- ❖ **Agerer R. 2001.** Exploration types of ectomycorrhizae. *Mycorrhiza*. Jun 1; 11(2):107-14.
- ❖ **Agerer R., 1988-1990.** Colour atlas of ectomycorrhizae, Agerer (ed.). einhorn-Verlag, Schwabish Gmund.
- ❖ **Agerer R., Iosifidou P. 2004.** Rhizomorph structure of hymenomycetes: a possibility to test DNA-based phylogenetic hypotheses? In: Agerer R, Piepenbring M, Blanz P (Eds) *Frontiers in basidiomycote mycology*. IHW-Verlag, Eching, pp 249–302
- ❖ **Agerer R., Rambold G. 2004–2016** [first posted on 2004-06-01; most recent update: 2011- 01-10]. DEEMY – An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. www.deemy.de – München, Germany.
- ❖ **Barbero M., Bayet C., Hammoud A., Laracine-Pittet C. & Lebreton Ph., 1990.** Diversité biologique du genévrier commun, espèce collective flavoniquement polymorphe. *Ecol. Medit.* 16 : 13-39.
- ❖ **Bjorkman E., 1949.** The ecological significance of the ectotrophic mycorrhizal association in forest trees. *Sven. Bot. Tidskr.*, 43, 223p.
- ❖ **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.
- ❖ **Bonfante P, Genre A. 2008.** Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. *Trends in Plant Science* 13: 492–498.
- ❖ **Bonnier G., Douin R., 1993.** La grande flore en couleur de Gaston Bonnier. Edition Belin, Paris, 1990. : 1354-1355.
- ❖ **Bouderga K ; Dexheimer J ; 1988.** Etude ultra structurale des endomycorhizes vésicules et arbuscules de jeunes plants d'*Eucalyptus camaldulensis* .but soc blot Fe .135(2) :111-121.
- ❖ **Bouderga K ; Dexheimer J ; 1988.** Etude ultra structurale des endomycorhizes vésicules et arbuscules de jeunes plants d'*Eucalyptus camaldulensis* .but soc blot Fe .135(2) :111-121.

- ❖ **Boullard B ; 1968.** Les mycorhizes .Ed Masson et cie, paris .135p
- ❖ **Boullard B., 1968.** Les mycorhizes. Ed Masson et cie. Paris., 135p.
- ❖ **Boullard B., 1968.** Les mycorhizes. Editions MASSON et Cie. Paris, 130p.
- ❖ **Boullard B.1968.** Les mycorhizes .Ed Masson et cie, paris .135p .
- ❖ **Brouillet, L., & Chmura, G. (2010).** Adaptation of the Juniperus genus to varying climates. *Journal of Paleobotany and Climate Change*, 45(2), 100-115.
- ❖ **Brownlée C., Duddridge J. A., Malibari A., Read D. J., 1983.** The the structure and function of mycelial system ofectomycorrhizal roots with special reference to their role in forming interplants connections and providing pathways for assimilate and water transport. *Pl. soil* : 71,433-443.
- ❖ **Brundrett, M. C. (2009).** Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*, 320(1-2), 37-77.
- ❖ **Brundrett, M.C., Bougher, N., Dell, B., Grove, T.S., & Malajczuk, N. (1996).***Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture.*ACIAR Monograph 32. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.
- ❖ **Chevalier G., Garbaye J., Gianinazi S., Mousain D., Olivier J.M. Et Dunez., 1990.** Fascicule : Les mycorhizes. La symbiose mycorhizienne,11p.
- ❖ **Cress W.A., Throneberry G.O. & Lindsey D.L., 1979.** Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non-mycorrhizal tomato roots. *Plant Physiol.*, 64 : 484-487.
- ❖ **Dalpé Yolande.** L'écologie des champignons. 2005.
- ❖ **Davet P ; 1996.** Vie microbienne du sol et production végétale. Ed. INRA, Paris. 383p.
- ❖ **Davet P.** Vie microbienne du sol et production végétale. 1ère édition, INRA, Paris. 1996.
- ❖ **Dexheimer J.** Etude structurale et fonctionnelle des interfaces entre le champignon et la plante-hôte. *Revue forestière française*, AgroParisTech,. 1997.
- ❖ **Drenou C ; Bonneau M ; Charnet F ; Cruiziat P ; Frochot H ; Garbaye J ; Girard S ; Larrieu L ; Levy G ; Marcais Moore W ; Rossignol J.P ; 2006.** Les Racines. Face cachée des arbres. Institut Pour le développement forestier CNPPF. 335p.

- ❖ **Duddridge J.A., Malibari A. & Read D.J., 1980.** structure and function of mycorrhizal rhizomorphs with special reference to their role in water transport. *Nature*, 287 : 834-836.
- ❖ **Duponnois .R & T. Gauquelin, 2013.** Rôles potentiels de la symbiose mycorhizienne dans la conservation des populations méditerranéennes de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.). *Ecologia mediterranea* – Vol. 39 (1) – 2013.
- ❖ **Duponnois, R., Founoune, H., Masse, D. & Pontanier, R. (2005)** Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semi-arid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management*, 207: 351-362.
- ❖ **Durrieu G., 1993.** *Ecologie des champignons*. Edition Paris Masson coll. D'écologie, 196-207.
- ❖ **Egli S. & Brunner I., 2002.** Les mycorhizes .Une fascinante biocénose en forêt .Institut fédéral de Recherches wsl.<http://www.wsl.ch/Im/publications.8p>.
- ❖ **Farjon, A. & Filer, D. (2013).** An atlas of the world's conifers: An analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status. Brill, Boston & Leiden.
- ❖ **Fitter A.H., 1991.** Implication for functioning under natural conditions. *Experientia* 47(1991) 350- 355. Fontana
- ❖ **Fortin J. A., Plenchette C. and Piché Y., 2008.** Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. MultiMonde Quac. (Eds.), Quebecs, 131 p.
- ❖ **Garbaye J. (2013)** La Symbiose Mycorhizienne Une Association Entre Les Plantes et Les Champignons . Ed Quae.p.48,49,56,57,62
- ❖ **Garbaye J. (2013).** La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. Paris. Edition Quae. P : 1-219.
- ❖ **Garbaye J. (2013).** La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. Paris. Edition Quae. P : 1-219.
- ❖ **Garcia D., Zamora A., Goamez, J., Jordano P. et Hoadar J., 2000** :Géographical variation in seed production. Predation and abordation in *Juniperus communis* throughout its range in Europe, *Jornal of Ecology* 2000.88. pp 436-446.
- ❖ **Gay G. & Gea L., 1994.** Rôle de l'auxine fongique dans la formation des ectomycorhizes. *Acta. Bot. Gall.* 141 : 1-6.
- ❖ **Gay G., 1988.** Rôle des hormanes fongiques dans les associations des ectomycorhizes. *Cryptogam. Mycol.*, 9 (3) : 211-219.

- ❖ **Gobat, J.M., Aragno, M. & Matthey, W. (2003).** Le sol vivant, 2e Edition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne. 568 p.
- ❖ **Hadley J ; 1975.** Endomycorhizes. Eds.sanders F.E.T, Mosse b.Tinker.P.D,Academic Press, London. P.334-351.
- ❖ **Hamza N., 2014.** Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*). Thèse de Magister, Université Ferhat Abbas Sétif. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie., 54 p.
- ❖ **Harley, J. L., & Smith, S. E. (1983).***Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press.
- ❖ **Harris, A. J. (2011).** Glacial cycles and their influence on the geographic distribution of *Juniperus* species. *Quaternary Science Reviews*, 30(9), 1126-1140.
- ❖ **Hatch A. B., 1937.** The physical basis of mycotrophy in the genus *Pinus*. *Black Rock For. Bull.*, 6 : 1- 168.
- ❖ **Hill, R. S. (1999).** Fossil evidence for the early history of *Juniperus* in the northern hemisphere. *Botanical Review*, 65(1), 27-50.
- ❖ **Hodge A., Alixander I. J. & Gooday G. W., 1995.** Chitinolytic activitie of *Eucalyptus pilularis* and *Pinus sylvestris* root systems challenged with mycorrhizal and pathogenic fungi. *New phytol.*, 131 : 255-261.
- ❖ **Honrubia M. 2009** Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 66S1: 133-144
- ❖ **Hopkins, W.G (2003)** Physiologie végétale. Bruxelles, De Boeck Supérieur, 532p.
- ❖ **Johnson, D., Leake, J.R., Ostle, N., Ineson, P. & Read, D.J. (2002).**In situ (CO₂)-C-13 pulselabelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscularmycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist*, 153: 327-334
- ❖ **Kottke, I., & Oberwinkler, F. (1986).** The mycorrhiza of *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra*. *New Phytologist*, 103(1), 65-78.
- ❖ **Lambers, H., Raven, J.A., Shaver, G.R. & Smith, S.E. (2008).** Plant nutrientacquisitionstrategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution*, 23: 95-103.
- ❖ **Lanier L ; Joly P Et Bellemeere A ; 1976.**Mycologie et pathologie forestière I : Mycologie forestière .Ed .Masson 478p.
- ❖ **Le Tacon, F. (1985).** Les mycorhizes : une cooperation entre plantes et champignons. *La Recherche*, 166: 624–632
- ❖ **Lieutaghi, P. (1990).** Écologie des genévriers en Méditerranée. In L. Portes (Ed.), *Flore et végétation méditerranéenne* (pp. 123-145). Éditions Scientifiques.

- ❖ **Linderman R. G. 1988.** VA (vesicular-arbuscular) mycorrhizal symbiosis. ISI atlas of science: Animal and plant sciences (USA).
- ❖ **Mabry, T. J., & Pohl, R. W. (1999).** *Juniperus communis L. (Cupressaceae): Ethnobotany, chemistry and pharmacology.* In *Ethnobotany of the Americas* (pp. 75-88).
- ❖ **Maire R., 1952 :** Flore de l'Afrique du Nord. Encyclopédie biologique. Volume 01. Ed. Paul Lechevalier, Paris, 366 p.
- ❖ **Maire, R. (1967).** Flore de l'Afrique du Nord . Éditions Paul Lec.
- ❖ **Manos, P. S. (2005).** Morphological evolution of the *Juniperus* genus as revealed by fossils. *Paleobiology*, 31(3), 465-478.
- ❖ **Mao, K., Hao G., Liu, J., Adams, R.P. & Milne, R.I. (2010).** Diversification and biogeography of *Juniperus* (Cupressaceae): variable diversification rates and multiple intercontinental dispersals. *New Phytol.*, 188: 254-272.
- ❖ **Marks G ; Foster G ;1973.** Structure morphogénèse et ultrastructure of ectomycorhizae.in. Their ecology. Acad. Press, New Yourk and London.1-41p.
- ❖ **Marx D. H., & Brayn W.C., 1975.** Growth and ectomycorrhizal développement of loblolly pine seedlings in funigated soil infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*. *For. Sci.*, 21 : 245-254.
- ❖ **Meddour R., Sahar O., Bitam L. et Belhacene D., 2021.** Rôle facilitateur d'une plante nurse (*Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* (C. Presl) Nyman dans la reconstitution de la cédraie anthropisée du Parc national du Djurdjura (Algérie) - *Evaxiana* 8, 25 – 36.
- ❖ **Mosse, B. 1956** Fructifications of an Endogone species causing endotrophic mycorrhiza in fruit plants. *Annals of Botany*, 20(2), 349-362.
- ❖ **Mousain D., 1989.** Etude de nutrition phosphatée de symbiotes ectomycorhiziens. Thèse de Doctorat d'Etatès Sciences, USTL, Montpellier, 24p. *Actual bot.* 2 : 41-46.
- ❖ **Negre R., 1950.** Contribution à l'étude phytosociologique de l'Oisans: La Haute vallée du Vénéon (Massif Meije-Ecrins-Pelvoux), *Phyton*, V. 2: 23-50.
- ❖ **Petterson, L.R. et Massicotte, H.B (2004)** Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Canadian Journal of Botany*, 82: 1074–1088.
- ❖ **Planchette C., 1982.** Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules. Un potentiel à exploiter en agriculture. *Phytoprotection*, 63 (2), 86-108

- ❖ **Quézel P. & Barbero M., 1989.** Les formations à genévriers rampants du Djurdjura (Algérie). Leur signification écologique, dynamique et syntaxonomique dans une approche globale des cédraies Kabyles. *Lazaroa* 11 : 85-99.
- ❖ **Quezel P. et Gast M. (2011).** Genévrier. *Encyclopédie Berbère*, Vol. 20 : 3016-3023.
- ❖ **Quézel, P. et Gast, A. (2011).** Flore des montagnes de l'Algérie . Éditions Paul Lechevalier.
- ❖ **Quézel, P. et Santa, S. (1962).** Flore de l'Algérie . Éditions Paul Lechevalie.
- ❖ **Quézel, P., & Médail, F. (2003).***Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen* .
- ❖ **Reid C.P.P. & Woods F.W., 1969.** Translocation of C14-labelled compounds in mycorrhiza and its implications in interpreting nutrient cycling. *Ecology*, 50 : 179-181.
- ❖ **Ricklefs, R.E. Et Miller, G.L. (2005)** *Ecologie* 4e édition. Bruxelles, De Boeck Superiur,858p.
- ❖ **Scannerni S ; Bonfant-Fasola P ; 1982.** Donnée actuelles sur la cytologie des mycorhizes .les mycorhizes : biologie et utilisation.les colloques de L'INRA.P.24-36.
- ❖ **Selosse, A., and le Tacon, F. (1997).** Des mycorhizes à l'origine de la flore terrestre. *J. Bot. Soc. bot. Fr.*, 3 : 21-25
- ❖ **Simon, L., Bousquet, J., Levesque R.C., and Lafonde M, 1993** Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*, 363 : 67-69
- ❖ **Smith S. E, Read D J. 2008** *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed, p.815). Clarendon Press, Oxford.
- ❖ **Smith S. E, Read D J. 2008** *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed, p.815). Clarendon Press, Oxford.
- ❖ **Smith S.E. & Read DJ., 1997.** *Mycorrhizal symbiosis*. Second edition. Academic Press ; Harcourt Brace and Compan y Publishers, 605p.
- ❖ **Smith S.E.,etReadD.J., 2008.***Mycorrhizal symbiosis*.3rd Edition Academic Press. San Diego, USA.
- ❖ **Smith SE, Read DJ.** *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edition. London, UK: Academic Press. 2008.
- ❖ **Smith, S. E., & Read, D. J. (2008).***Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press.
- ❖ **Smith, S.E., & Read, D.J. (2008).***Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edition. Academic Press.

- ❖ **Strullu D.G, Garbaye J., Perrin R., Plenchedt C., 1991.** Les mycorhizes des arbres et des plantes Cultivés. Technique et documentation, Lavoisier, Paris. P.36- 250.
- ❖ **Strullu D.G.** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Lavoisier (eds.). Paris, 250p. 1991.
- ❖ **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.
- ❖ **Thomas, D., Busti, J. et Mandin, J.-P. (2010).** Étude sur la répartition des conifères en Algérie. *Revue des Sciences Naturelles*, 45(2), 215-230.
- ❖ **Wang, Q., & Li, Z. (2006).** Juniperus fossils from the Cretaceous to the Quaternary: A global perspective. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 240(1-2), 233-242.
- ❖ **Yahi N., 2007 :** Les cédraies d'Algérie : Phytoecologie, Phytosociologie, Dynamique et Conservation des peuplements. Thèse Doc. Univ. Houari Boumediene. Alger. 265p.
- ❖ **Zoulim S. 2017** Etude de la réponse de deux variétés de blé dur (*Triticum turgidum*) soumises à un stress salin en présence d'un inoculum mycorhizien. Thèse Master. UMMTO TIZI-OUZOU. Département des Sciences Agronomiques.

Webographie :






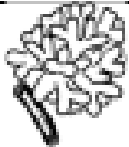

- ❖ Determination of EctoMYcorrhizae. www.Deemy.de .

Annexes

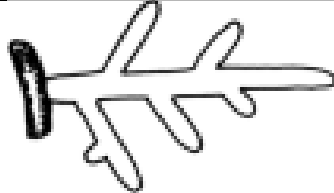


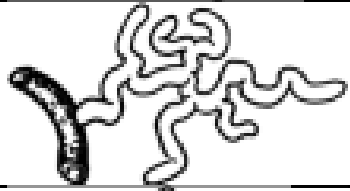
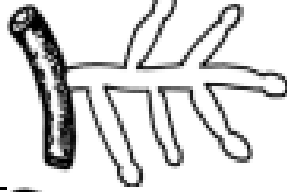

Annexe 1: tableau récapitulative des types d'associations mycorhizienne (Garbaye, 2013)

Types de symbiose mycorhizienne	Groupes de plantes concernés	Groupe de champignons dominants	Présence d'un manteau fongique	Morphologie du mycélium externe	Présence d'un réseau de Hartig	Colonisation intracellulaire
Ectomycorhizes	Certaines Gymnospermes et Angiospermes	Ascomycètes et Basidiomycètes	Oui	Très diverse : filaments isolés, mèches, cordons, rhizomorphes	Oui	Non
Ectendomycorhizes	Certaines Pinacées (Gymnospermes)	Ascomycètes	Facultatif	Filaments isolés	Oui	Oui (filaments ramifiés)
Mycorhizes arbutoïdes	Ericacées (tribus des <i>Arbutoideae</i> et <i>Pyroloideae</i>)	Basidiomycètes	Facultatif	Filaments isolés ou mèches	Oui	Oui (spires)
Mycorhizes monotropoïdes	Ericacées (tribus des Basidiomycètes <i>Monotropoideae</i>)	Basidiomycètes	Oui	Filaments isolés ou mèches	Oui	Oui (doigts)
Mycorhizes orchidoïdes	Toutes les orchidées	Basidiomycètes	Non	Filaments isolés	Non	Oui (peletons)
Mycorhizes éricoïdes	Autres Ericacées et certaines Bryophytes	Ascomycètes	Non	Filaments isolés	Non	Oui (peletons)
Pseudo mycorhizes à endophytes brun cloisonné	Tous les groupes de plantes terrestre	Ascomycètes	Non	Filaments isolés	Non	Oui
Endomycorhizes arbusculaires	Presque tous les groupes de plantes terrestres	Gloméromycètes	Non	Filaments isolés	Non	Oui (arbuscules, spires, vésicules)

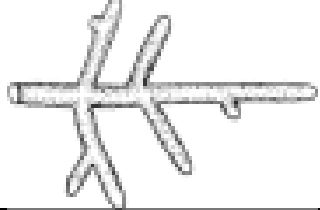

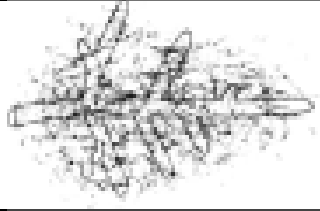
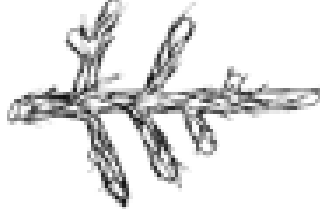
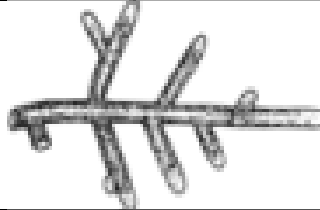

Annexe 2 : Différentes forme de distributions des ectomycorhizes, (www.Deemy.de).

	Simple	<input type="checkbox"/> La mycorrhize possède un axe qui est dépourvue de ramification
	Monopodiale-penné	<input type="checkbox"/> Système mycorrhizien possédant un long axe. <input type="checkbox"/> Les ramifications latérales sont situées sur le même plan
	Monopodiale-pyramidale	<input type="checkbox"/> Les mycorrhizes sont de plus en plus développés en s'éloignant de l'apex de la racine longue qui les porte.
	Irrégulière, pennée à dichotomique	<input type="checkbox"/> Mycorrhizes naissant çà et là. <input type="checkbox"/> Echelonnées de part et d'autre le long de la racine longue, rappelant les fleurs sur une grappe
	Dichotomique	<input type="checkbox"/> Les mycorrhizes sont très vite divisés en deux d'une façon répétée le long de la racine longue.
	Coralloïde	<input type="checkbox"/> Ensemble de dichotomies successives et rapprochées, dont l'ensemble rappelle l'aspect d'un arbre
	Noduleuse	<input type="checkbox"/> Elle caractérise des racines courtes, dichotomiques ou coralloïdes. <input type="checkbox"/> Les racines sont regroupées sous un voile fongique faisant disparaître toute organisation, dont l'ensemble donne l'aspect d'une nodosité.

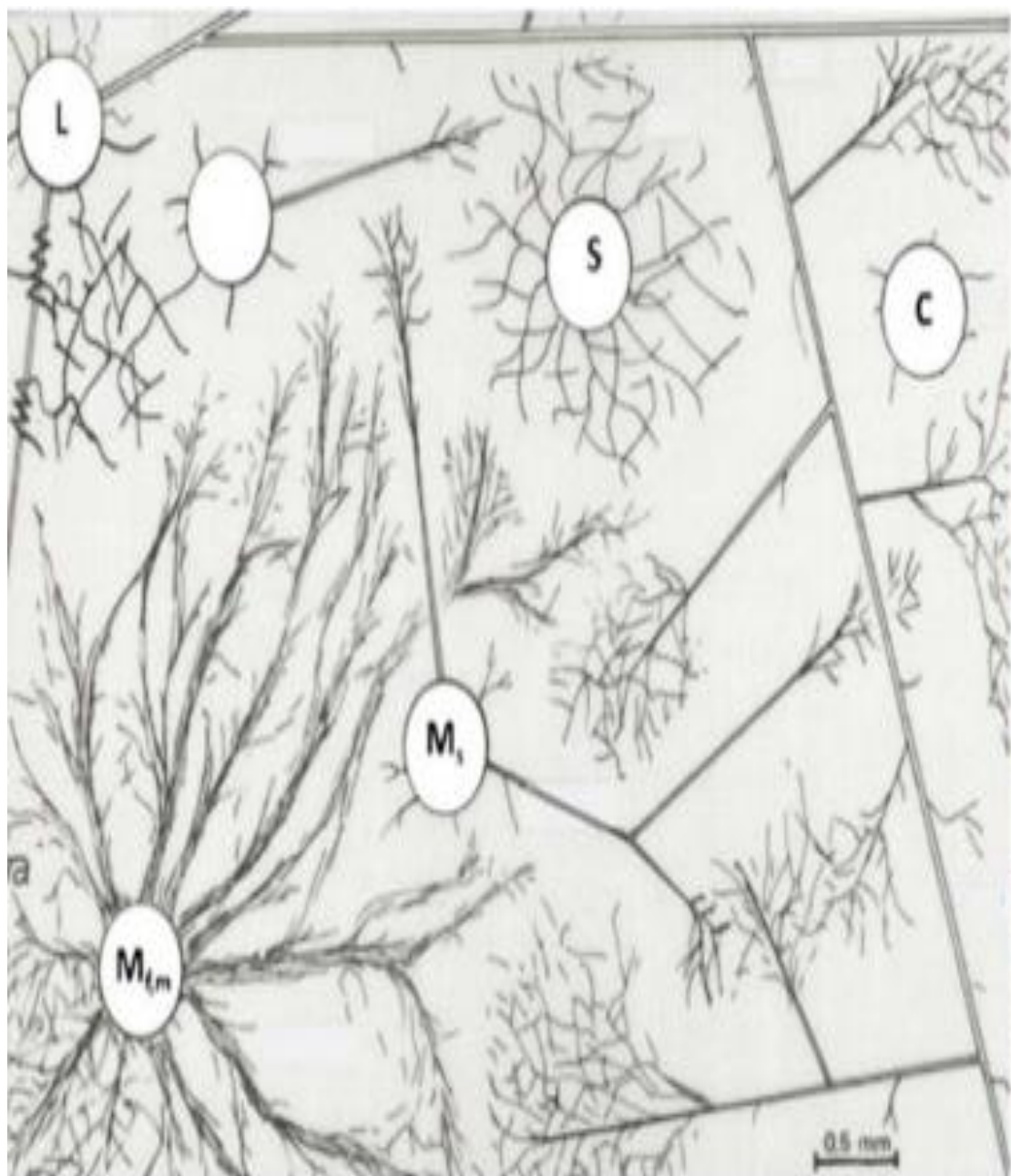
Annexe 3 : Différentes formes des pointes des ectomycorhizes (www.Deemy.de).

	Droite
	Courbée
	Sinueuse
	Tortueuse
	Apex plus large que la base
	Perlée

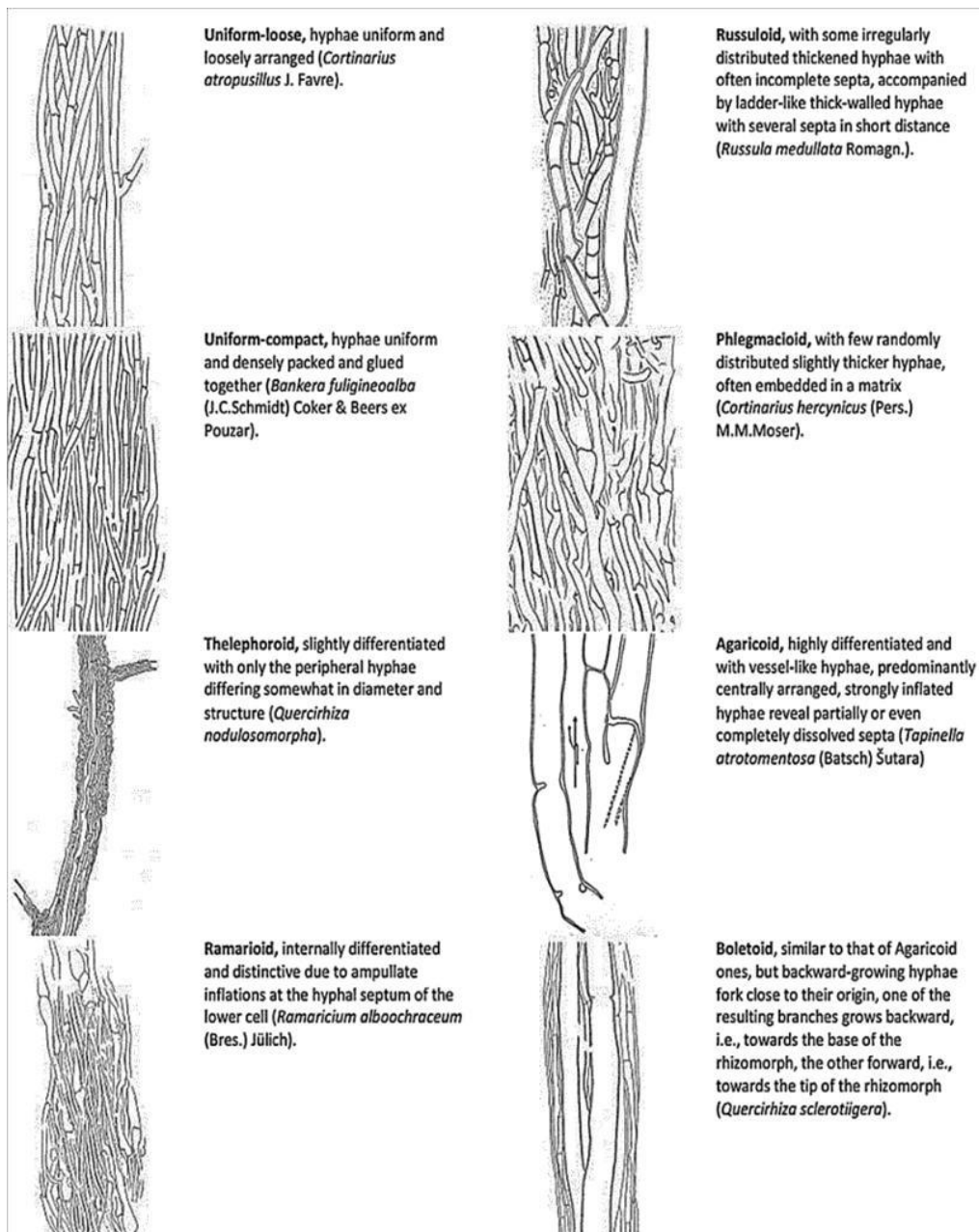
Annexe 4 : Différentes textures de la phase extra matricielle des ectomycorhizes
(www.Deemy.de)

	Granuleuse
	Laineuse
	Cotonneuse
	Denses ficelles
	En feutrage
	Lisse

Annexe 5: Différents types exploratoires selon Agerer (2001). C. contact, S. courte distance, M. moyenne distance et L. longue distance.



Annexe 6 : Différents types de rhizomorphes selon Agerer (1999-2006).



Annexe 7 : Classe des pH d'après Calvet Et Villemin (1986).

pH	Qualification des sols
pH < 5	Fortement acide
5 < pH < 6	Franchement acide
6 < pH < 6.5	Légèrement acide
6.6 < pH < 7.3	Neutre
7.4 < pH < 7.7	Légèrement alcalin
pH > 7.8	Alcalin

Résumé

Résumé

Dans le cadre d'une meilleure compréhension du statut mycorhizien de *Juniperus communis* dans la région de Tigounatine, une étude a été conduite sur une population de Genévrier commun au sein du Parc National du Djurdjura.

Au cours de l'automne 2023, un échantillonnage a été effectué, permettant, grâce à l'observation et à l'analyse morphoanatomique de la population de Genévrier commun à Tigounatine, d'identifier 26 morphotypes ectomycorhiziens.

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse ANOVA, laquelle a mis en évidence des différences significatives liées au sexe des arbres et aux types exploratoires. Les arbres femelles affichent une richesse ectomycorhizienne et morphotypique supérieure pour le type exploratoire contact. En revanche, pour le type courte distance, les arbres mâles présentent une richesse morphotypique plus élevée. Aucune différence n'est observée concernant le taux de mycorhization total entre les sexes.

De plus, les arbres femelles se distinguent également pour les types exploratoires moyenne et longue distance, tandis que les types contact et courte distance ne montrent pas de différences significatives.

Mots clés : *Juniperus communis*, ectomycorhizes, symbiose mycorhizienne, Tigounatine.

Abstract

Abstract

To better understand the mycorrhizal status of *Juniperus communis* in the Tigounatine region, a study was conducted on a population of Common Juniper within the Djurdjura National Park.

Sampling was performed in the autumn of 2023, allowing for the identification of 26 ectomycorrhizal morphotypes through the observation and morphoanatomical analysis of the Common Juniper population in Tigounatine.

The results of the ANOVA analysis reveal significant differences related to the sex of the trees and the exploratory types. Female trees show higher ectomycorrhizal and morphotypic richness for the contact exploratory type, while male trees display greater morphotypic richness in the short-distance category. No differences are observed in the mycorrhization rate between the sexes. Additionally, female trees stand out in the medium and long-distance exploratory types, whereas the contact and short-distance types show no significant differences.

Keywords: *Juniperus communis*, ectomycorrhizae, mycorrhizal symbiosis, Tigounatine.