

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



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master II

En sciences Agronomiques

Spécialité : Gestion des Forêts et des Espaces Naturels

THEME

**Contribution à l'étude des mycorhizes du cèdre
(*Cedrus atlantica*) dans une plantation cas des arbres de l'espace vert de
l'UMMT.O.**

Proposé et encadré par:

M^r SMAIL ADEL

Présenté par :

M^r SAOUDI ALI

M^r DRAOUI FARID

Devant le jury d'examen composé de :

- **Présidente: M^{me} MEDDOUR SAHAR O.– M.C.A. à l'UMMT.O.**
- **Promoteur : M^r SMAIL A. – M.A.A. à l'UMMT.O.**
- **Examineur: M^r MEDJEBEUR D.- M.A.A. à l'UMMT.O.**
- **Examinatrice : M^{me} NAIT KACI M.- M.C.A. à l'UMMT.O.**

2016/2017

Remerciements

Nous remercions « Dieu Tout Puissant » de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

*Un merci tout particulier à notre promoteur **M^r SMAIL A.***

*Nous remercions **M^{me} MEDDOUR-SAHAR O.** qui, malgré sa lourde charge, elle a acceptée présider le jury.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à l'égard de membre de jury **Mme NAIT KACI M.** et **Mr MEDJEBEUR D.** pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Nous remercions **M^r BOUKHAROUB M.** et toute l'équipe de laboratoire de mécanique des sols (M.D.S.) de département génie civil.*

Nous remercions l'équipe du laboratoire commun de département biologie et l'équipe de laboratoire pédologie de département agronomie pour leur accueil, leur collaboration et leur disponibilité.

A tous ceux qui ont contribué à notre formation, particulièrement les enseignants de département d'Agronomie de Tizi-Ouzou, qu'ils trouvent tous, notre profonde reconnaissance, pour son aide précieuse et son soutien durant la phase finale de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer tout au fond de nos cœurs, nos reconnaissances à nos familles pour toute leur aide morale et financière.

Enfin, un grand merci pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACES

À nos parents et nos frères ;

À nos amis(es) et à tous ceux qui nous sont chers ;

À moi.

Je dédie ce travail.

Farid & Ali

Figure 1 : Répartition géographique du genre <i>Cédrus</i> dans le monde	3
Figure 2 : Répartition naturelle du cèdre de l'Atlas en Algérie	4
Figure 3: Dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le Parc national du Belezma	10
Figure 4: Principaux types mycorhiziens actuels représentés sur une coupe transversale de la racine.	12
Figure 5 : Représentation schématique des structures morphologiques des mycorhizes.	15
Figure 6: La situation géographique de la station d'étude dans l'université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzou..	16
Figure 7 : Climagramme pluviothermique d'Emberger	18
Figure 8 : Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la ville de Tizi Ouzou (2015).	18
Figure 9 : Distribution des ectomycorhizes selon la classification Garbaye , 2013.	36

Tableau 1: Données de la station météorologique de la ville de Tizi ousou(2015).	17
Tableau 2: caractéristiques physique du sol étudié.	22
Tableau 3 : caractéristiques chimique du sol étudié.	22

SOMMAIRE

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

Chapitre I : Données bibliographiques

I . Généralité sur cèdre de L’Atlas

1. Historique du cèdre.....	3
2. Le genre <i>Cèdrus</i> dans le monde.....	3
3. Le cèdre de l’Atlas en Algérie	4
4. Systématique du Cèdre de l’Atlas	4
5. Les facteurs de répartition du cèdre de l’Atlas.....	5
5.1. Exigence altitudinale du Cèdre de l’Atlas	5
5.2.Exigences climatiques	5
5.2.1. Les températures.....	6
5.2.2. Les précipitations	6
5.3. Exigences édaphiques.....	6
5.4. Autres facteurs	7
6. Problèmes de régénération naturelle du Cèdre de l’Atlas	8

II . Le cèdre dans le contexte de changement climatique

1. Le concept du changement climatique.....	8
2. Le dépérissement forestier	8
2.1. Historique du dépérissement.....	8
2.2. Le dépérissement forestier en Algérie - La cédraie du Belezma-	9

III. La symbiose mycorhizienne

1. Généralité sur la symbiose mycorhizienne.....	11
2. Bénéfices de la mycorhization	11
3. Les différents types d’association mycorhiziennes.....	12
3.1. Les endomycorhize	12
3.2. Les ectendomycorhizes	12
3.3. Les ectomycorhizes.....	13
4. La morphologie des ectomycorhizes.....	13

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Description de la station d'étude	16
2. Origine des plants et plantation	19
3. Echantillonnage.....	19
4. La récolte des échantillons.....	19
5. Analyse physique et chimique du sol.....	20
6. Etude des racines mycorhizées.....	20
6.1. Etude morphologique	20
6.2. Etude anatomique.....	21

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultats	
1.1. Caractéristique physique et chimique du sol	22
1.2. Descriptions des ectomycorhizes observées.....	23
1.3. Classification des ectomycorhizes	35
2. Discussion	37
Conclusion	39
Références bibliographiques	41

Annexes

Introduction

Le Cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica*, (Elarz El Atlas) ou (Inguel), est une espèce forestière endémique des montagnes de l'Afrique du Nord (Algérie, Maroc). C'est une essence qui a toujours suscité un intérêt important en raison de ses nombreuses qualités forestières, comme le maintien d'un équilibre biologique, sa faible inflammabilité, sa production de bois de qualité, un port remarquable et esthétique (Lanier, 1976 et Ferrandes, 1986), une croissance juvénile pouvant être rapide et une tolérance face aux stress climatiques (Boudy, 1950). Il est devenue, la première essence de reboisement particulièrement dans les pays situés au sud de la méditerranée (Toth, 1980). En Algérie, les cédraies les plus importantes se trouvent dans l'Aurès et le Djurdjura, elles constituent une grande richesse du point de vue écologique, économique et esthétique.

D'après Quézel (1998), la surface du cèdre, qui ne dépassait guère les 30 000 hectares en Algérie, à diminué pour ne représenter à l'heure actuelle que seulement 20 000 hectares et selon Harfouche et Nedjahi, (2003), plus de 1 260 hectares est perdue.

Le maintien en équilibre de ces peuplements est devenu cependant problématique ces dernières années. Des milliers d'hectares de cèdre ont déjà dépéris au Maroc (région d'Ifrane) et d'autres sont en voie de dépérissement (Ghaioule et Lieutier, 2015).

Le dépérissement du cèdre n'est pas nouveau, les premiers signalements ont été observés en 1982, l'état des cédraies s'est aggravé ces dernières années par le phénomène des changements climatiques, c'est-à-dire l'élévation de la température, et de la modification des régimes pluviométriques. Ils entraînent une détérioration générale, qui se termine souvent par la mort des arbres (Landmann, 1994). Ils se manifestent d'abord par un affaiblissement des fonctions physiologiques des pieds souffrants, ce phénomène touche des jeunes comme les vieux sujets, en peuplement séré ou en bordure des clairières. Enfin survient la mortalité, stade ultime de ce processus (Beghami, 2010). La cédraie de Belezma est un exemple type de ce phénomène (Belloula, 2010).

C'est depuis le début des années 1980, que la cédraie algérienne et plus particulièrement la cédraie aurassienne la plus méridionale du pays réputée par sa résistance à la sécheresse, connaissent un grave dépérissement qui atteint dans certains endroits des taux très importants. Il est évalué à plus de 80% à Dj Touggourt voire à Bumerzoug (Bentouati et Bariteau, 2006).

En outre il est admis que le dépérissement des essences forestières affecte le dynamisme de la forêt en, changeant sa structure et ses ressources physiques à une quelconque échelle spatiale et temporaire (DE Dios et *al.* 2007).

La régénération du cèdre est soumise à des contraintes étroites, déterminées par les exigences de la plante vis-à-vis de l'eau, du sol et du froid (Lecompte et Lepoutre, 1975). Pour pallier à d'éventuels problèmes nutritifs, les plantes ont développé, il y a plusieurs millions d'années, une stratégie leur permettant, entre autre, d'accroître leur accès aux ressources du sol: la symbiose mycorhizienne (Morel, 2005). En effet, Les ectomycorhizes jouent un rôle important dans la tolérance des arbres aux conditions défavorables. Elles entraînent une amélioration de la nutrition minérale surtout en sols pauvres, augmente l'alimentation hydrique et également la résistance de la plante aux stress biotiques et abiotiques (Chevalier et *al.* 1990).

Le but de ce travail consiste à l'étude des ectomycorhizes du cèdre de l'Atlas hors de son milieu naturel.

Le travail comporte trois parties :

- ✓ La première partie : Données bibliographiques.
- ✓ La deuxième partie : Matériels et méthodes.
- ✓ La troisième partie : Résultats et discussions.

Données bibliographiques

I. Généralité sur cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas, constitue indiscutablement l'essence noble des forêts du Maroc et de l'Algérie (Benabid, 1994). En Algérie, l'aire de distribution du cèdre de l'Atlas est moins importante qu'au Maroc. Les cédraies s'individualisent en ilot plus ou moins importants observés d'ouest en est (Slimani, 2014).

1. Historique du cèdre

Le genre *Cedrus*, appartenant à la famille des *pinacées*, est considéré comme étant le plus ancien après le genre *Pinus* (Gaussen, 1967). Sur le plan paléontologique, l'aire du Cèdre était, jadis, beaucoup plus vaste et le genre *Cedrus* existait au tertiaire et occupait des régions où il a complètement disparu (Derridj, 1990).

Des fossiles de Cèdre furent découverts dans les formations du Pléistocène en Europe et dans le massif du Hoggar au Sahara, mais il n'est pas certain que le Cèdre n'ait jamais eu une aire continue (Gaussen, 1967).

2. Le genre *Cedrus* dans le monde

Derridj (1990), a établie une carte sur la répartition géographique du genre *Cedrus* dans le monde (Figure 1):

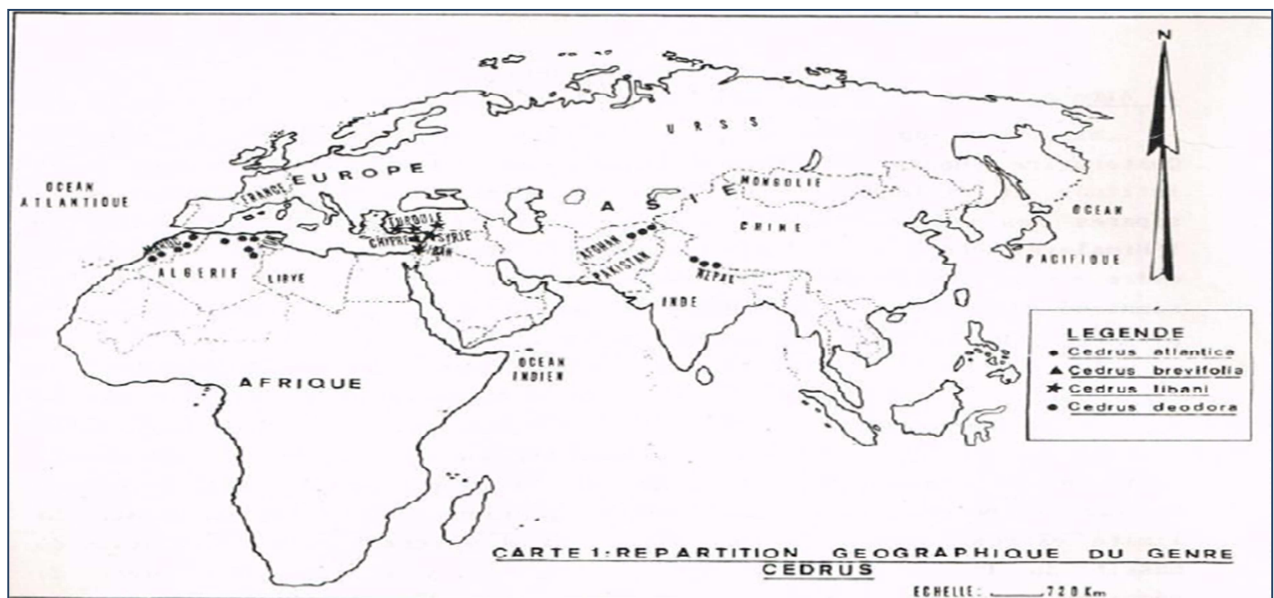


Fig. 1: Répartition géographique du genre *Cedrus* dans le monde (Derridj, 1990).

3. Le cèdre de l'Atlas en Algérie

Cedrus atlantica est également endémique des montagnes de l'Algérie. Les cédraies se rencontrent au centre nord et à l'est du pays. Elles sont morcelées en plusieurs îlots plus ou moins importants qui couvrent une superficie d'environ 27.000 ha (Benabid, 1994).

La carte que Roche (2006) utilise (Fig.2) donne une bonne idée de la localisation de ces îlots d'est en ouest.

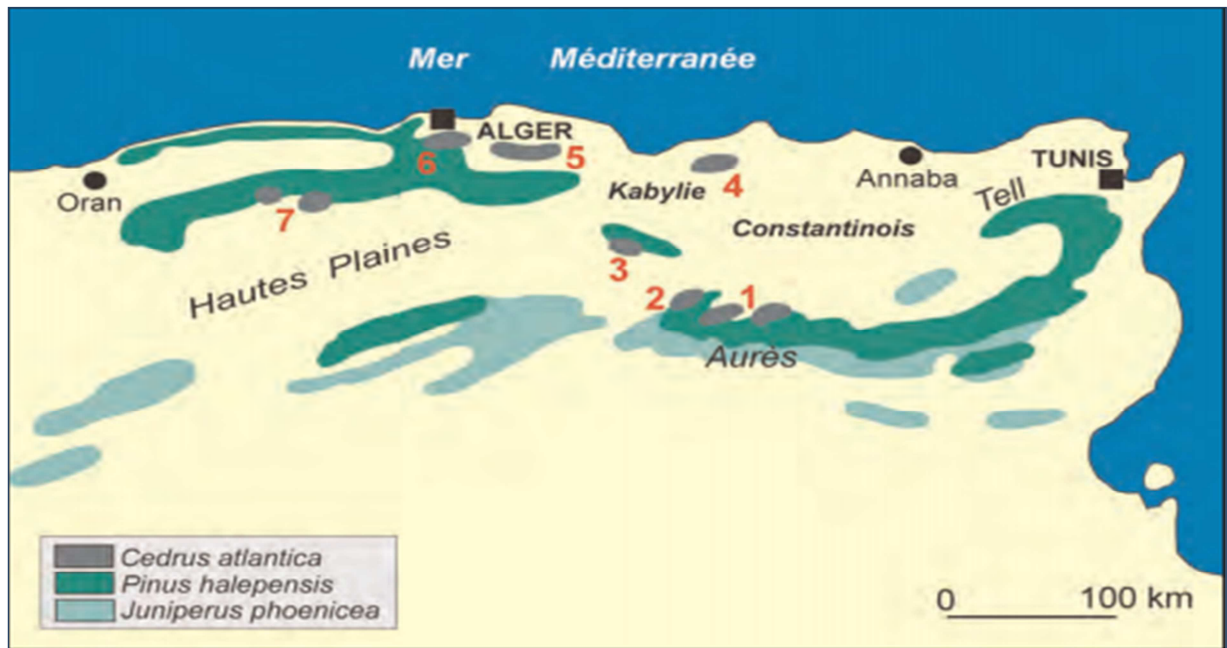


Fig. 2: localisation de *Cedrus atlantica* en Algérie (E.Roche; modifié) 1. Massif de l'Aurès; 2. Monts de Belezma; 3. Monts de Hodna; 4. Jbel Babor 5. Massif de Djurdjura; 6. Monts de Blida; 7. Massif de l'Ouarsenis.

4. Systématique du Cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas (*cedrus atlantica* Manetti), est l'une des quatre espèces du genre *cedrus*. Sa systématique est la suivante :

Embranchement : Spermaphytes.

Sous-embranchement : Gymnospermes.

Classe : Vectrices.

Ordre : Coniférales.

Sous-ordre : Abiétales

Famille : *Pinacées*.

Sous-famille : *Abiétées*.

Genre: *Cedrus*.

Espèce: *Cedrus atlantica*.

5. Les facteurs de répartition du cèdre de l'Atlas :

5.1. Exigence altitudinale du Cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas est un arbre essentiellement montagnard (Quézel, 1978). Il se trouve en Algérie et au Maroc généralement entre 1200 et 2000 m d'altitude, bien qu'au Maroc, il peut atteindre 2700-2800 m d'altitude (Emberger, 1935). Mais au-delà de 2300 m d'altitude, le cèdre est toujours dominé ou remplacé par le Genévrier thurifère (Emberger, 1930 ; M'hirit, 1982).

En Algérie, il apparaît à partir 1300 m d'altitude en versant nord et vers 1400 m en versant sud ; mais il peut descendre plus bas (jusqu'à 900 à 1000 m) le long des ravins, ou existe des conditions pédo-microclimatiques propices (Harfouche et Nedjahi, 2003).

Achal et *al.*(1980) et Benabid (1982) l'associent à l'horizon supérieur de l'étage méditerranéen, au montagnard méditerranéen et à l'euro méditerranéen. Cela correspond à des altitude comprise entre plus au moins 1300 et 2600 m.

Les cédraies comportent trois types altitudinaux, d'où les limite inférieures ou supérieure diffèrent d'une cédraie à l'autre (Pujos, 1966), ces trois type de cédraies se distinguent en fonction de l'altitude sont :

- Les cédraies basses : inférieures à 1800 et 1900 m.
- Les cédraies moyennes : comprises entre 1900 et 2100 m.
- Les cédraies hautes : supérieures à 2100 m.

L'altitude influence le cèdre par les condition climatique, plus l'altitude est élevée, plus les précipitations moyennes sont élevées et les températures sont basses (Belloula, 2011).

5.2. Exigences climatiques

Le cèdre peut s'accommoder à différents climats : montagnes littorales humides (RIF), montagnes continentales sèches (Aurès) et les montagnes continentales humides (moyen Atlas). En effet, Il prospère surtout en climat méditerranéen humide et froid. Il résiste très bien aux basses températures. Grâce à sa ramure étalée et flexible, il lui est plus facile de résister à l'enneigement (Zemirli, 2006).

5.2.1. Les températures

Par rapport aux températures, le Cèdre de l'Atlas est une espèce qui peut vivre entre -20°C et +30°C (Boudy, 1950), avec des moyennes des minima du mois le plus froid entre -1°C et 8°C (Benabid, 1994). Bien qu'il s'accommode à des températures extrême de +35°C, il peut bien aussi supporter les grands froids hivernaux avec des températures de -25°C (Lanier, 1986).

5.2.2. Les précipitations

Du point de vue précipitation, les cédraies Algériennes reçoivent un minimum de 440 à 500 mm/an aux Aurès et un optimum pluviométrique de 700 à 900 mm /an. Quant à celles de l'étage bioclimatique per-humide, elles reçoivent 1100 et 2100 mm/an (Quezel et Medail, 2003).

5.3. Exigences édaphiques

Selon Boudy (1952) et Lepoutre (1963), le cèdre s'accommode à toutes les compositions chimiques du sol c'est la composition physique qui joue le rôle prépondérant. Ce qui le rend apte à coloniser presque tous les types de sol (Toth ; 1971). Les textures légères semblent prisées par les jeunes semis (Pradal, 1979).

Le cèdre de l'Atlas donne un meilleur rendement sur les sols profonds, meubles et caillouteux, car la jeune plantule arrive à développer un système racinaire vigoureux et profond lui permettant d'échapper à la sécheresse estivale (BOUDY, 1950 ; SCHORENBERGER, 1970 ; TOTH, 1971 et 1981 ; MALKI, 1992). En Algérie, on le retrouve sur les sols gréseux, sur les schistes et les sols calcaires (Bariteau et al, 1990 in Khanfouci, 2005).

Il redoute les sols mal drainés, asphyxiants et hydromorphes; la structure argileuse lui est défavorable également (Schoenberger, 1970 ; Toth, 1971,1981 et Anonyme, 1971 in Belloula, 2010).

Le cèdre peut croître aussi bien sur sol acide (pH 4) que sur sol basique (pH 8) (Alexandrain, 1992, in Belloula,2010).

5.4. Autres facteurs

L'humidité de l'air

L'humidité relative constitue par ses écarts brutaux, l'un des caractères climatiques les plus importants des montagnes de l'Afrique du nord (Quezel, 1980). Elle joue un rôle très important sur l'ensemble du processus de la régénération du cèdre de l'Atlas surtout durant la phase de la désarticulation naturelle. En effet, c'est durant cette phase qu'elle atteint les taux les plus élevés, permettant une humidification importante des cônes. En suite, son évolution journalière associée aux températures basse permettra aux écailles de se détacher du rachis (Khanfouci, 2005).

L'enneigement

Quand l'altitude augmente, une part importante des précipitations hivernales tombent sous forme de neige suite à une diminution des températures. La durée et l'intensité des précipitations neigeuses sont irrégulières. Le nombre de jours de neige par année est de l'ordre de 20 à 30. L'épaisseur est peu importante sauf exception. Elle peut persister sur les expositions nord au-delà du mois d'avril. Notons que la neige joue un rôle positif sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas : désarticulation des cônes, levée de dormance des graines, protection des semis contre les basses températures et l'alimentation en eau des semis (Khanfouci, 2005)

Les vents

Les vents peuvent avoir des effets multiples sur le cèdre, selon leur origine :

Le vent du sud, (Sirocco) chaud et sec qui peut souffler durant toute l'année. Ses effets se font sentir pendant la période estival où il accentue l'aridité. Il est considéré par Boudy (1950), comme étant le facteur le plus néfaste de la régénération du cèdre de l'Atlas en provoquant la mortalité des jeunes plantules.

Les vents d'Est, rare et moins humides, soufflent surtout en hiver provoquant la fonte des neiges (Khanfouci, 2005).

6. Problèmes de régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas

Selon Derridj (1985), la régénération du cèdre de l'Atlas a été et demeure toujours un problème important pour le renouvellement et la pérennité des cédraies en Afrique du nord.

La régénération naturelle de cet arbre en Afrique du nord reste tributaire du sol, de la végétation, de la fructification, des facteurs physiques et biotique. Elle reste un phénomène éco-physiologique complexe, aggravé par les déférentes perturbations causé par le parcours, les coupes irrationnelles et les attaques parasitaires et fongique (Derridj, 1990 ; Lamhamedi et Chbouki, 1994).

Actuellement le cèdre est très vulnérable en Algérie, voire menacé de disparition en raison de son habitat très morcelé et de son aire de répartition en nette régression. Cette situation est aggravée par une régénération de plus en plus compromise. De nombreux facteurs sont mis en cause, notamment les changements climatiques. En effet, le cèdre présente depuis trois décennies un dépérissement que la plus part des auteurs associent à la sécheresse induite par les changements climatiques (Addar, 2012).

II. Le cèdre dans le contexte de changement climatique

1. Le concept du changement climatique

Le changement climatique est tout changement significatif de mesures climatiques (comme la température et les précipitations) qui s'étend sur une longue période de temps (en générale plusieurs décennies à des milliers d'années). (Meddour, 2015).

La convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC in Meddour, 2015) définit les changements climatiques comme « des modifications des climats qui sont attribuées directement ou indirectement à des activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère mondiale »

2. Le dépérissement forestier

2.1. Historique du dépérissement

Le dépérissement des essences forestière n'est pas récent, depuis la fin des années 1970, ce problème a eu une préoccupation mondiales (Roy, 1998 ; Tremblay, 1999).

Selon Drihem (2008), le dépérissement du cèdre au Maroc est un phénomène ancien. Il a été observé depuis les années 1940 et il s'est étendu et amplifié progressivement à partir du début des années 1990, avec consultation des symptômes massifs durant l'été 2001. En Algérie, ce phénomène massif a été constaté au niveau des Aurès en 1982 (Bentouati, 2008). Des écrits rapportés par Boudy (1950) (cité par Abdessemed, 1981) indiquent que des sécheresses exceptionnelles de 1875 à 1888 auraient, déjà, occasionné d'importants dégâts sur les peuplements de Cèdres au Belezma.

Le dépérissement des forêts, est détecté le plus récemment dans les régions semi-arides, où les arbres se trouvent sur des limites physiologiques de la sécheresse pour leurs croissances (Allen, 2010).

2.2. Le dépérissement forestier en Algérie - La cédraie du Belezma

Parmi les principales espèces forestières du pourtour méditerranéen concernées ces dernières décennies par ce phénomène, on note le cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (Benabid, 1994 ; Bentouati, 2008).

Le dépérissement actuel touche l'ensemble des cédraies des Aurès, mais à des degrés différents. Les plus affectées sont celles du Bélezma, soumises aux influences sahariennes, (Taghda et Djebel Lazreg). Notant que la cause principale de la disposition et de déclenchement du dépérissement est le stress climatique que se soit hydrique ou thermique (Halitim, 2006 ; Allen, 2010).

Dans le Bélezma, le dépérissement est massif en certains endroits (Djebel Boumerzoug et une partie de Tuggurt). Il correspond à des stations où le Cèdre est en mélange avec une forte proportion de Chêne vert. Ces stations sont souvent localisées sur des pentes assez fortes, essentiellement sur substrat marneux, et se caractérisent par un sol superficiel à litière peu épaisse. Dans ce milieu, des rejets de Chêne vert, associés à d'autres arbustes, présentent un léger dessèchement, mais sans gravité apparente (Bentouati et Bariteau, 2006).

La figure ci-dessous montre le dépérissement massif du cèdre de l'Atlas au Belezma :



Fig. 3 : Dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le Parc national du Belezma. Cliché : D. Kherchouche (2010)

La cédraie reste soumise à des pressions multiples conduisant à une évolution régressive des écosystèmes (Moussafir, 2007). Ce sont des forêts qui ne se régénèrent plus, et elles sont actuellement dans un état de survie (Beloula, 2010).

La sécheresse prolongée des ces dernières années, ainsi que l'âge avancé des peuplements seraient les principaux facteurs ayant prédisposé le cèdre au dépérissement. L'exposition de ces massifs aux influences sahariennes a accéléré la mortalité des arbres (Bentouati, 2007).

III. La symbiose mycorhizienne

Il y a de cela environ 400 millions d'années, les premières plantes quittaient les milieux aquatiques pour venir coloniser la terre ferme. Toutefois, ce changement ne s'est pas fait d'un seul coup et sans aide. Au contraire, les plantes ont eu besoin d'alliés pour réussir ce tour de force et parmi ceux-ci, il y a eu des champignons. C'est grâce à leur association avec certains champignons que les plantes ont réussi à survivre dans des milieux offrant peu d'humidité et de nutriments. Cette association, ou symbiose, se nomme mycorhize (Dechamplain et Gosselin, 2002).

1. Généralités sur la symbiose mycorhizienne

Depuis le 19^{ème} siècle, plusieurs recherches ont mise à jour l'existence, dans le sol d'un grand nombre de champignons associés aux racines des végétaux. Cette association symbiotique a été désignée par Frank dès 1885 sous le terme de mycorhize.

Strullu dès 1985 comme étant un organe d'origine mixte, résultant d'une union durable et impliquant des échanges bénéfiques entre les mycéliums d'un champignon et les racines d'une plante.

Les mycorhizes sont une symbiose mutualiste de caractère biotrophes dans laquelle l'hôte autotrophe fournit des composés carbonés, fruits de la photosynthèse, au symbiote hétérotrophe, le champignon, au sein d'un micro-habitat protégé. En échange, le champignon apporte des nutriments minéraux, principalement le phosphore, et de l'eau grâce à un système ramifié d'hyphes extra-racinaires capables d'explorer le sol au-delà de la zone d'influence de la racine (Barea et al., 1980). Le monde des champignons est extrêmement diversifié : on estime à 1.5 million le nombre d'espèces fongiques existant actuellement sur la planète mais guère plus de 100 000 (soit à peine 7%) ont jusqu'alors été décrites et nommées. Cependant, seuls trois groupes de champignons sont concernés par l'association symbiotique avec les plantes : les Basidiomycètes, les Ascomycètes et les Gloméromycètes (Garbaye, 2013).

2. Bénéfices de la mycorhization

Selon Rougemont, 2007 et Redon, 2009. les bénéfices se traduisent par :

- Une augmentation de la capacité d'absorption des éléments minéraux surtout les peu mobiles dans le sol, et la teneur en matière organique par l'exploitation des débris végétaux.
- joue un rôle majeur dans l'agrégation des particules du sol par la libération de glomaline dans le sol environnant.
- Augmentation de la résistance envers les stress abiotique ou biotique, maladies, sécheresse, salinité, chocs de transplantations.
- Amélioration de la croissance, le rendement, la vigueur et l'établissement des végétaux.
- Stimulation de l'activité macrobienne.

3. Les différents types d'association mycorhiziennes

Peyronnel et *al.*, (1969) ont classé les mycorhizes en trois groupes principaux : les endomycorhizes, les ectendomycorhizes et les ectomycorhizes (Fig.3).

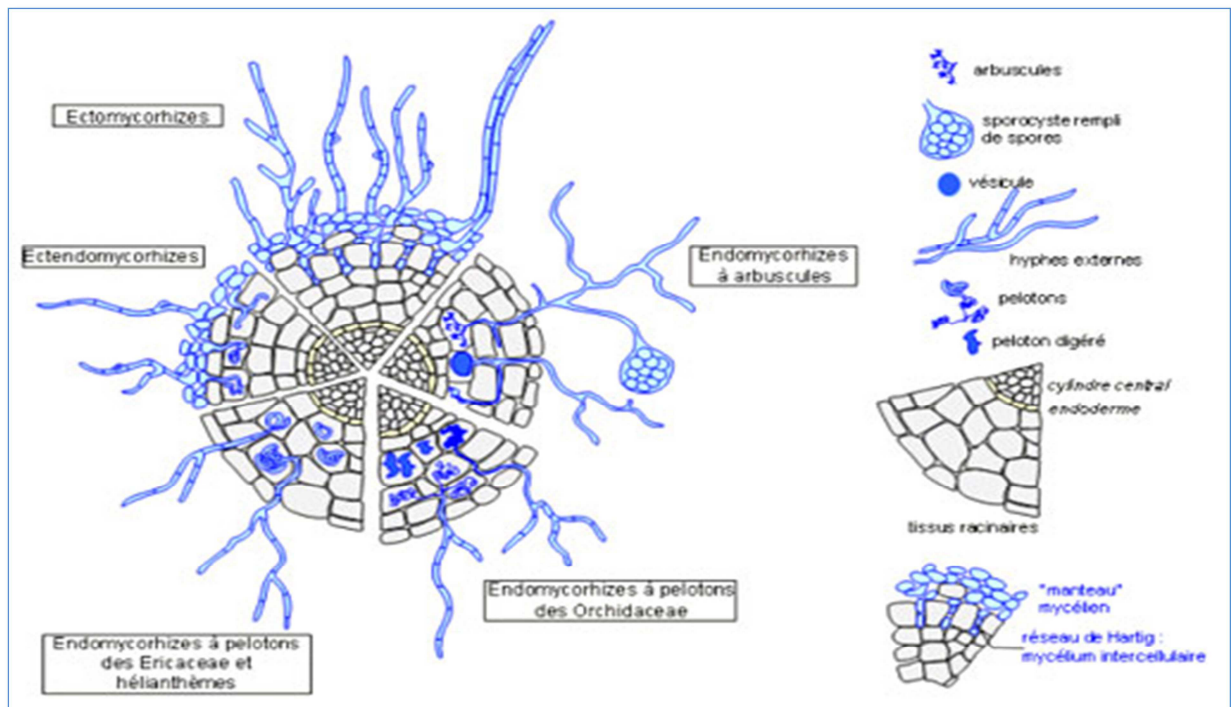


Fig.4 :Principaux types mycorhiziens actuels représentés sur une coupe transversale de la racine (Hallen et Lieutaghi, 2008).

3.1. Les endomycorhize

Les endomycorhizes sont les mycorhizes les plus répandus dans le règne végétal. Elle concerne la quasi-totalité des arbres fruitiers, certain essences forestières, les plantes arbustives et herbacées (Plenchette, 1982 ; Chevalier et *al.*1990).

Les champignons endomycorhiziens ne forment pas de manteau fongique ni de réseau de Hartig, il existe cependant deux réseau mycéliens, l'un interne, l'autre externe (Fig.3). Le mycélium pénètre dans la racine ensuite à l'intérieur des cellules racinaires (cellules corticales) et forme des structures intracellulaires (Strullu, 1991).

3.2. Les ectendomycorhizes

Ce sont des formations intermédiaires entre les complexes ectotrophes et endotrophes ; mais elles ont l'apparence des ectomycorhizes. Le manteau fongique reste médiocre et se prolonge en générale simultanément par un réseau de Hartig et des pénétrations intracellulaires des hyphes fongiques.

Ce type de mycorhize est relativement rare dans la nature et ne se rencontre que chez un petit nombre des végétaux (Boullard, 1968 ; Durrieu, 1993).

3.3. Les ectomycorhizes

Selon Ratel (1999), l'ectomycorhizes est beaucoup plus récente par rapport à l'endomycorhize. Ce sont des formations superficielles importantes, elles sont faciles à observer chez les arbres forestiers à l'œil nu (Lanier et *al.* , 1976).

Elle est Caractérisées par un manteau fongique qui engaine la racine, peuvent se prolonger dans le sol par un mycélium extramatriciel.les hyphes de la partie interne de manteau s'insinuent entre les cellules corticales racinaires et forment un réseau dense appelé « réseau de Hartig » (Jacquiot, 1978).

4. La morphologie des éctomycorhizes

La morphologie peut se présenter sous forme de grappe (racémeuse), dichotomique, pyramidale, simple, coralloïdes et noduleuse (Boullard, 1990).

- ✓ La structure simple : (Fig.5 :A).

La mycorhize possède un axe qui est dépourvue de ramification

- ✓ La structure monopodiale : (Fig.5 :B)

C'est un système mycorhizien possédant un long axe avec des ramifications latérales situées sur le même plant.

- ✓ La structure pyramidale : (Fig.5 :C)

Les mycorhizes sont de plus en plus développées en s'éloignant de l'apex de la racine longue qui les portent.

- ✓ La structure dichotomique : (Fig.5 :D)

Les mycorhizes sont très vite divisés en deux d'une façon répétée le long de la racine longue.

- ✓ La structure coralloïde : (Fig.5 :E)

C'est un ensemble de dichotomies répétées.

- ✓ La structure racémeuse : (Fig.5 :F)

Les mycorhizes sont échelonnés de part et d'autre le long de la racine comme les fleurs sur une grappe

- ✓ La structure noduleuse : (Fig.5 :G)

Les mycorhizes dichotomiques ou coralloïdes sont regroupées dans un voile fongique qui donne l'aspect d'un nodule.



A : Mycorhize simple



B : Mycorhize monopodiale



C : Mycorhize pyramidale



D : Mycorhize dichotomique



E : Mycorhize coralloïde



F : Mycorhize racémeuse



G : Mycorhize noduleuse

Fig. 5: Représentation schématique des structures morphologiques des mycorhizes.

Matériel et méthodes

II-MATERIELS ET METHODES:

1. Description de la station d'étude

La zone de notre étude est située à l'est de la ville de Tizi-Ouzou, dans l'espace vert de l'université Mouloud Mammeri (Hasnaoua II), avec des coordonnées géographiques comme suite :

Nord : $36^{\circ}41'47,9''$.

Est : $4^{\circ}03'26,8''$.

La figure ci-dessous montre la localisation de notre station d'étude :

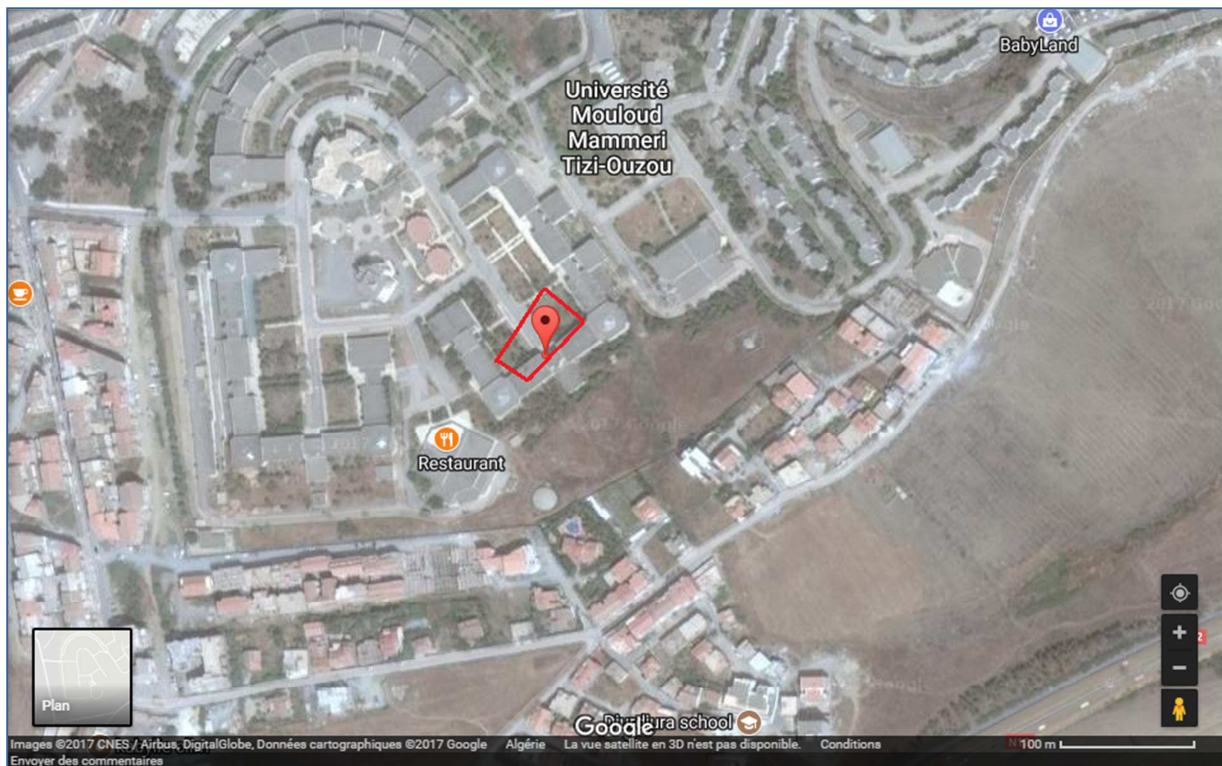


Fig 6: La situation géographique de la station d'étude dans l'université de mouloud mammeri Tizi OUZOU.

Selon la station météorologique de TIZI OUZOU les données climatiques sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : données de la station météorologique de TIZI OUZOU (2015).

Année												
2015	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$(M+m)/2$ (°C)	9,9	9,8	13,1	17,3	21,4	24,7	29,7	28,8	24,4	20,2	14,9	12,2
m (°C)	6,0	6,5	8,4	11,7	15,2	17,9	22,2	23,2	19,7	16,0	10,8	7,2
M (°C)	15,6	13,9	19,3	24,4	28,7	32,0	38,4	35,8	30,5	26,2	21,0	19,3
P (mm)	200,9	181,5	70,2	0,0	10,4	15,3	4,1	2,6	41,1	81,7	102,7	0,0

m : température moyenne minimale mensuelle en °C.

M : température moyenne maximale mensuelle en °C.

$(M+m)/2$: Température moyenne mensuelle en °C.

P : précipitations mensuelle en mm.

D'après le tableau 1, nous constatons que le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température de 38,4 °C. En période froide (hiver), le minimum est enregistré en mois de janvier avec une température de 6,0 °C.

Le Tableau 1 décrit que le mois d'Avril et décembre est les mois le plus sec (0,0 mm) et le mois de Janvier est le plus pluvieux (avec 200,9 mm). La pluviométrie moyenne annuel enregistrée dans la zone d'étude pour l'année 2015 est de l'ordre de : 710,5 mm/an.

✓ Quotient pluviothermique d'Emberger

Emberger (1955) a établi une formule simple, valable pour la région méditerranéenne. Qui permet de classer les étages bioclimatiques

Selon la classification d'Emberger notre zone est caractérisé par un climat subhumide avec une valeur de $Q_2 = 74,16$.

Le climagramme pluviothermique d'Emberger ci-dessous permet de situer la ville de Tizi-Ouzou dans son étage bioclimatique subhumide tempéré (Fig.6).

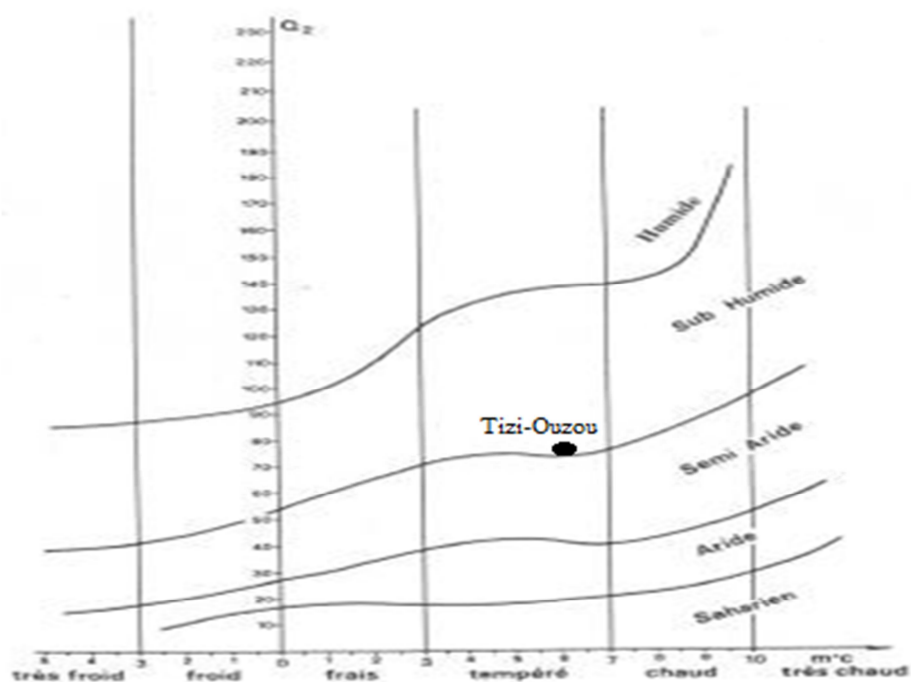


Fig.7: Climagramme pluviométrique d'Emberger

✓ Diagramme ombrothermique de Gaussen de la ville de Tizi Ouzou (2015)

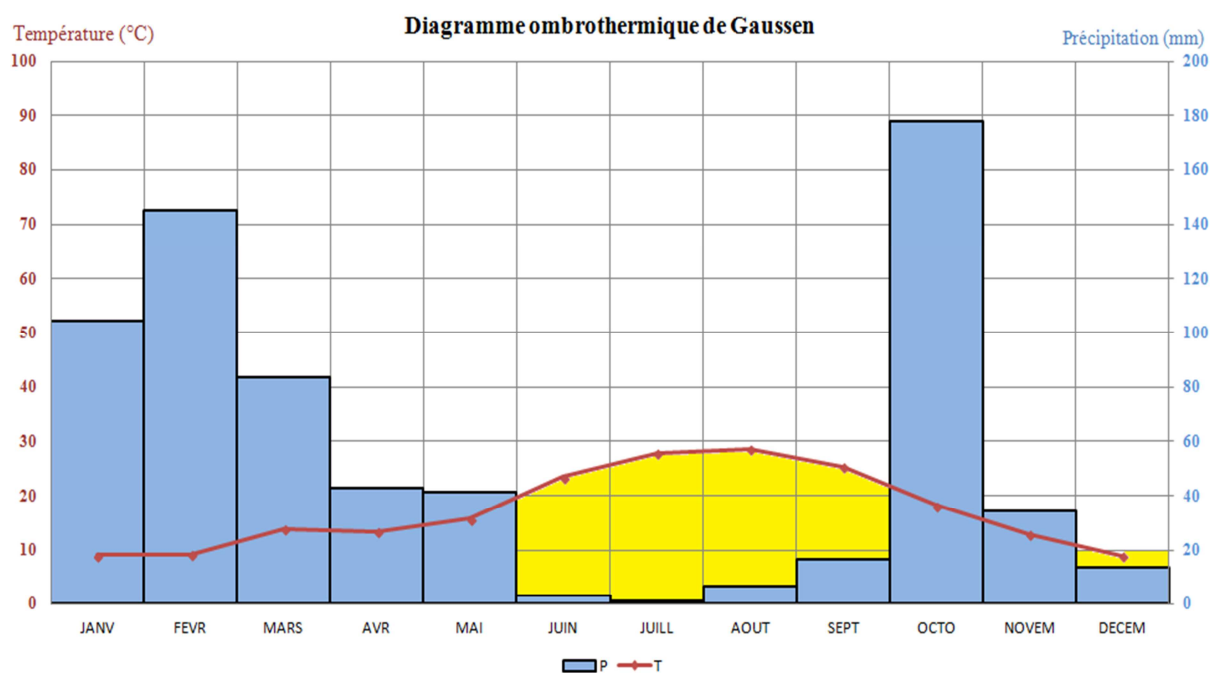


Fig.8: Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la ville de Tizi Ouzou (2015).

Ce diagramme (Fig.8) établie une relation entre les précipitations moyennes mensuelles et la température moyenne du mois, Gaussen considèrent qu'un mois est sec quant le total des précipitations (en mm) est inférieur au double de la température (en °C), c'est-à-dire lorsque le rapport: $P/T \leq 2$ (Bagnouls et Gaussen, 1953).

L'examen de diagrammes ombrothermique indique que le climat de la région d'étude ce caractéristique par une période sèche qui dure 5 mois.

2. Origine des plants et plantation

Les plants de cèdre ont été produits dans une pépinière privée, située à Draa ben khedda. Les cônes ont été récoltés au niveau de la cédraie de Tikjda en décembre 2006. Une fois les cônes ouverts et après un traitement des semences au froid pendant 4 semaine, les graines sont semés dans des sachets noirs en polyéthylène perforé (4 kg) en mars 2007. Le substrat utilisé est un mélange de sol argileux et de sable dans les proportions (3V, 1V) stérilisé au soleil pendant 10 jours. Le jour du semis, dans chaque sachet nous avons ajouté du sol provenant des arbres âgés de cèdre de Tikjda, contenant l'inoculum naturel mycorhizien (spores, mycorhizes, rhizomorphes etc.), dans le quel la graines sont semés.

Agés de 3 ans (Avril 2010), des plants de cèdre ont été transplantés dans une parcelle au niveau du l'espace vert de l'UMM T.O.

3. Echantillonnage

Nous avons récolté des échantillons de terre et de racines sous quatre arbres au hasard. La récolte des échantillons a été effectuée au mois de mai de l'année 2016 :

4. La récolte des échantillons

Le prélèvement à été réalisé de la manière suivante :

Autour de chaque arbre nous avons éliminé les hybrides végétaux et suivi les racines repérées à une distance de 1 mètre du tronc de l'arbre. Nous avons effectué des prélèvements à une profondeur de 15 à 30 cm. Les mottes de terre contenant les racines sont prélevées à l'aide d'une pioche au tour de chaque arbre.

Ces échantillons sont ensuite transportés au laboratoire dans des sachets en plastique.

5. Analyse physique et chimique du sol

Les analyses au laboratoire permettent la détermination des propriétés physiques et chimiques des sols

- ✓ Le pH du sol : est mesuré à l'aide d'un pH mètre selon la méthode 1/5.
- ✓ La matière organique du sol : elle a été effectuée par la méthode d'Anne (1945).elle consiste en une oxydation sulfato-chromique en milieu acide, puis dosage de l'excès de bichromate de potassium avec le sel de mohrs.
- ✓ Dosage du calcaire total : le taux de carbonates de calcium a été déterminé par la méthode volumétrique, qui consiste titrer l'excès d'acide chlorhydrique par de la soudre.
- ✓ La granulométrie : deux méthodes sont utilisée pour la description et à la classification du sol :

La 1^{ère} dite méthode par tamis.

La 2^{ème} est la méthode hydrométrique.

6. Etude des racines mycorhizées

Au laboratoire les mottes de terre contenant des racines sont trempées dans de l'eau pour les débarrasser des particules de sol, les racines sont ensuite récupérées et rincée abondamment à l'eau. Quand les racines sont bien propre nous avons procéder a leur observation a la loupe binoculaire puis au microscope photonique au grossissement (GX400).

6.1. Etude morphologique

Les racines sont mises dans des boites de Pétri, puis immergées dans de l'eau. L'observation est effectuée à la loupe binoculaire. Les ectomycorhizes sont décrites selon les caractères morphologiques suivant : La couleur, la forme, la taille, la présence ou l'absence de mycélium extramatriciel ainsi que sont abondance.

A la fin de chaque observation les types morphologiques trouvés ont été conservé dans un mélange Formol-acide acétique-alcool éthylique dont les proportions 5 :5 :90 pour qu'on observe leur anatomie au microscope photonique.

6.2. Etude anatomique

Des coupes transversales des racines sont réalisées à main levée, en suite elles sont montées entre lame et lamelle puis observer au microscope optique. Cette étape permet d'observer les caractères suivants :

- ✓ La structure du manteau fongique (plectenchymaeux, pseudoparenchymateux).
- ✓ Le réseau de Hartig (Paraepidermal ou periepidermal) et son importance.
- ✓ La couche tanifère.

Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Caractéristique physique et chimique du sol

Les résultats des analyses physico-chimiques sont motionnés dans le tableau (2et 3) :

Tab. 2 : Caractéristiques physique du sol étudié.

P r o f e n d e u r (cm)	Granulométrie(%)				texture
	Class	A	L	S	
	Tamis	< 2 μ	2 μ - 200 μ	200 μ - 2cm	
0-20		23%	31%	46%	limoneuse

Tab.3 : caractéristique chimique du sol étudié.

CaCO ₃ (%)	pH	Mo (%)	C (%)
31	8.33	3.31	1.92

D'après le tableau (2 et 3) le sol de la station étudié présente un pH alcalin, c'est un sol fortement calcaire et il est pauvre en matière organique avec un taux de 3,31%. D'après le triangle Américain USDA la texture du sol étudié est limoneuse.

1.2. Description des ectomycorhizes observés :

Les ectomycorhizes rencontrées dans les différents prélèvements présentent des aspects morphologiques et anatomiques différents :

Mycorhize 1: Cette mycorhize est simple, courte de couleur blanchâtre. Elle possède un mycélium extramatriciel abondant de couleur blanchâtre, sous forme d'hyphes fins. Elle présente des cordons blancs (Planche Ia). Le manteau fongique est très épais. Le réseau de Hartig est paraepidermal et s'étend sur une à deux couches de cellules corticales, l'observation a révélé beaucoup de tanins. (Planche Ib).

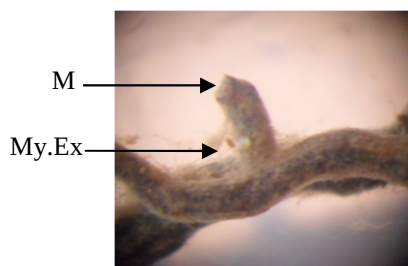
Mycorhize 2: Elle est simple, de couleur noir, elle possède un mycélium extramatriciel peu abondant de couleur blanchâtre et elle ne présente pas de cordon (Planche Ic). L'observation de la coupe anatomique a révélé un manteau fongique assez épais. Le réseau de Hartig peut s'étendre jusqu'à la quatrième couche de cortex. L'observation a révélé la présence de beaucoup de tanins. (Planche Id).

Mycorhize 3: Cette mycorhize est simple. Elle est de couleur orange et longue, le mycélium extramatriciel est assez abondant, de couleur blanchâtre, il présente des cordons de même couleur qui sont peu abondant (Planche Ie). L'observation de cette mycorhize a montré un manteau fongique très mince de nature plectenchymateux. Le réseau de Hartig est profond arrivant jusqu'à la dernière couche du cortex (Planche If).

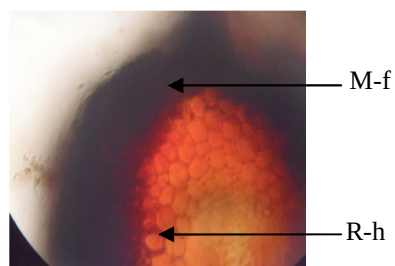
Mycorhize 4: Elle est racémeuse, de couleur noire. Le mycélium extramatriciel est peu abondant, de couleur blanchâtre. Elle est munie de quelques cordons mycéliens de même couleur (Planche Ig). L'observation de la coupe anatomique a révélé un manteau fongique peu épais. Le réseau de Hartig est Paraepidermal, l'observation a révélé peu de tanins (Planche Ih).

Mycorhize 5: Cette mycorhize est simple, de couleur orange. Elle est longue. Le mycélium extramatriciel est peu abondant. Il est sous forme d'hyphes fins et courts, de couleur blanchâtre (Planche Ii). En coupe transversale, le manteau fongique apparaît peu épais. Le réseau de Hartig se situe sur les quatre premières couches du cortex. L'observation nous a révélé la présence de tanins (Planche Ij).

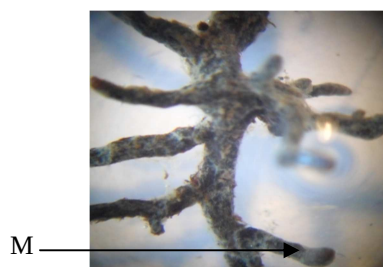
PLANCHE I



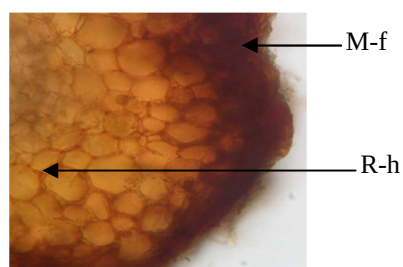
Ia: Mycorrhize noire simple (M1)



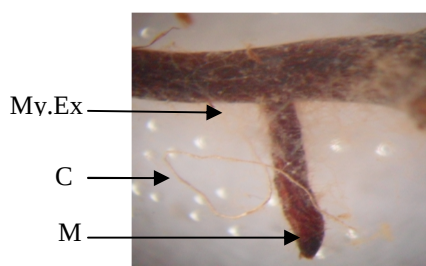
Ib : Coupe transversale de la (M1)



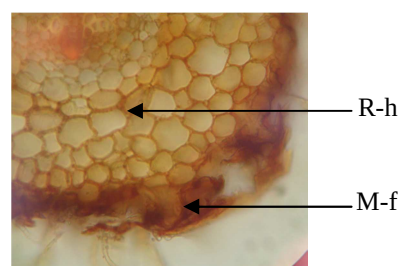
Ic: Mycorrhize noire simple (M2)



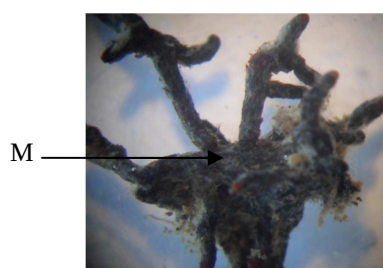
Id : Coupe transversale de la (M2)



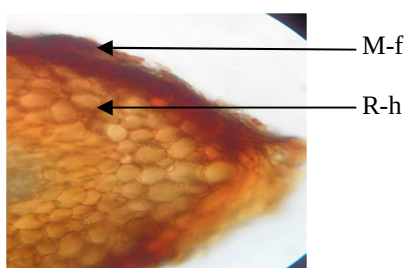
Ie : Mycorrhize orange simple (M3)



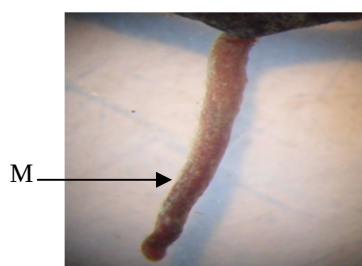
If : Coupe transversale de la (M3)



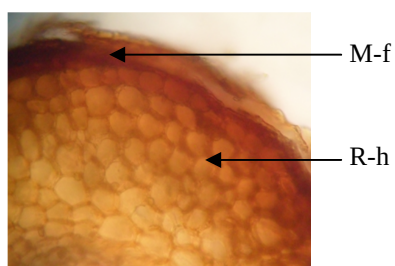
Ig: Mycorrhize noire racémeuse (M4)



Ih : Coupe transversale de la (M4)



Ii: Mycorrhize orange simple (M5)



Ij : Coupe transversale de la (M5)

Mycorhize 6: Elle est simple, de couleur orange et elle est longue. Le mycélium extramatriciel est peu abondant (Planche IIa). En coupe transversale, le manteau fongique est mince, de structure pseudo parenchymateux. Le réseau de Hartig s'étend jusqu'à la troisième couche de cellules corticales (Planche IIb).

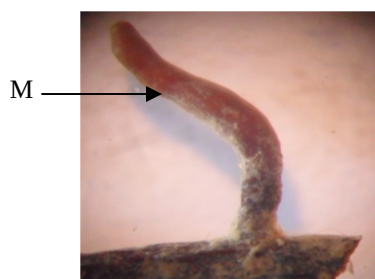
Mycorhize 7: Elle est simple et courte de couleur noire. Le mycélium extramatriciel est abondant. Il est constitué d'hyphes fins de couleur jaunâtre (Planche IIc). La coupe anatomique nous a montré un manteau fongique peu épais, qui présente une structure pseudo parenchymateux. Le réseau de Hartig atteint la troisième couche de cellules corticales (Planche IId).

Mycorhize 8: Elle est simple, noire et très longue. Le mycélium extramatriciel est très abondant. Il est formé d'hyphes fins formant un voile, de couleur orange. Cette mycorhize présente quelques cordons de même couleur (Planche IIe). En coupe anatomique, le manteau fongique apparaît mince, de nature plectenchymateux. Le réseau de Hartig arrivant jusqu'à la dernière couche de cellule corticale (Planche II f).

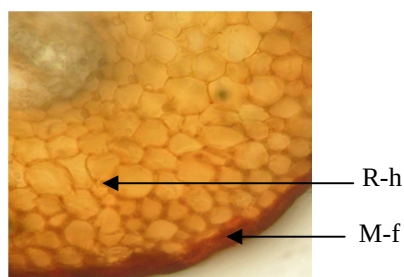
Mycorhize 9: Elle est simple, de couleur noire, le mycélium extramatriciel est abondant, formé d'hyphes fins longs, de couleur blanchâtre. Elle est munie de quelques cordons hyphaux, et elle présente un rhizomorphe court de même couleur (Planche IIg). En coupe anatomique, le manteau fongique apparaît peu épais. Le réseau de Hartig ne dépassant pas la 2^{ème} couche de cellules corticales (Planche IIh).

Mycorhize 10: Cette mycorhize est simple, de couleur noire et elle présente un mycélium extramatriciel très abondant, de couleur jaunâtre. On a noté la présence d'un rhizomorphe très développé qui est long, de couleur jaune. Elle est munie aussi de quelques cordons mycéliens de même couleur. (Planche Ili). La coupe transversale a révélé un manteau fongique épais, qui présente une structure pseudoparenchymateux. Le réseau de Hartig atteint la quatrième couche de cellules corticales (Planche IIj).

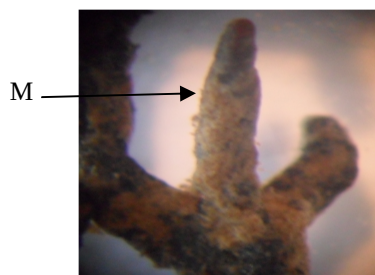
PLANCHE II



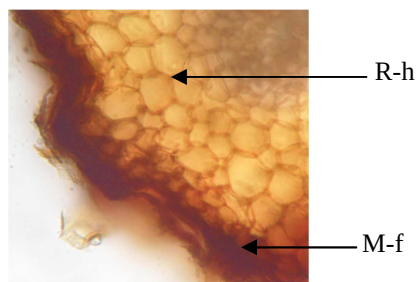
IIa: Mycorhize orange simple (M6)



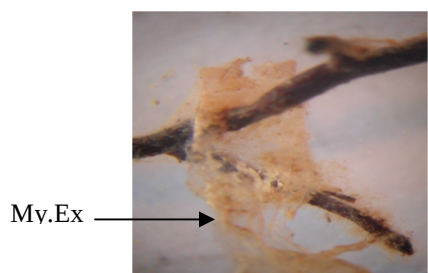
IIb : Coupe transversale de la (M6)



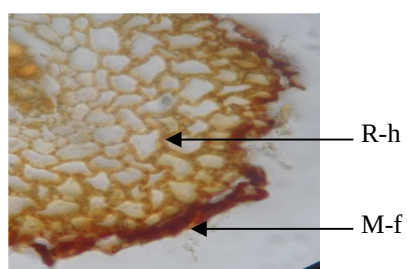
IIc : Mycorhize noire simple (M7)



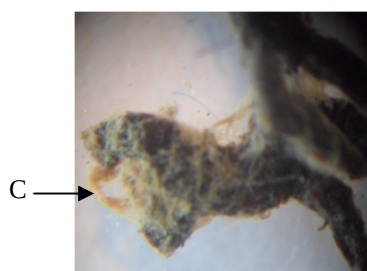
IId : Coupe transversale de la (M7)



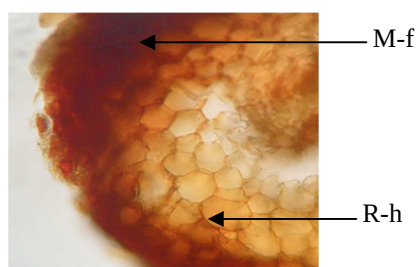
IIe : Mycorhize noire simple (M8)



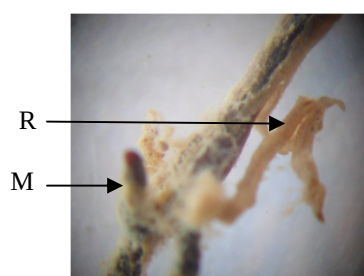
IIf: Coupe transversale de la (M8)



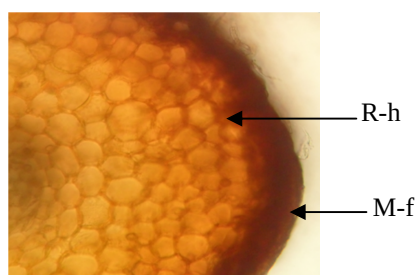
IIg : Mycorhize noire simple (M9)



IIh: Coupe transversale de la (M9)



IIi : Mycorhize noire simple (M10)



IIj: Coupe transversale de la (M10)

Mycorhize 11: Elle est simple, de couleur orange et courte, le mycélium extramatriciel est abondant, de couleur blanchâtre, et il est sous forme d'hyphes fins courts. Cette mycorhize présente des cordons de couleur jaune, ainsi qu'un rhizomorphe de la même couleur (Planche IIIa). La coupe anatomique a montré un manteau fongique mince, et le réseau de Hartig de limite à la première couche de cortex (Planche IIIb).

Mycorhize 12 : Cette mycorhize est simple, de couleur noire. Le mycélium extramatriciel est abondant, de couleur blanchâtre. Elle ne présente pas de Rhizomorphe, mais elle est menée de quelques cordons qui sont peu abondants (Planche IIIc). La coupe à main levée montre sous microscope photonique que le manteau fongique est épais, présente une structure plectenchymateuse. Le réseau de Hartig arrivant à la 4^{ème} couche des cellules corticales. L'observation a révélé la présence de tanins (Planche IIId).

Mycorhize 13: Elle est simple, couleur noire, et elle est courte. Le mycélium extramatriciel est abondant, de couleur blanchâtre. Elle présente un cordon court de la même couleur. (Planche IIIe). La coupe transversale a révélé un manteau fongique épais, qui présente une structure plectenchymateux. Le réseau de Hartig arrivant jusqu'à la 4^{ème} couche de cellule corticale. L'observation a montré la présence de grosse quantité de tanins (Planche IIIf).

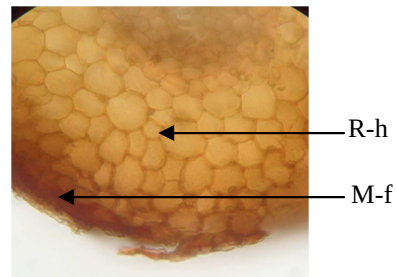
Mycorhize 14: Cette mycorhize est simple, de couleur noire. Elle est longue. Le mycélium extramatriciel est très abondant, de couleur jaunâtre, et il est sous forme d'hyphes fins très longs (Planche IIIg). L'observation de cette mycorhize a révélé un manteau fongique très épais, qui présente une structure plectenchymateuse. Le réseau de Hartig arrivant à la dernière couche de cortex et les cellules corticales présente une couche importante de tanins (Planche IIIh).

Mycorhize 15: Elle est simple, noire et courte. Le mycélium extramatriciel est très abondant, de couleur orange et formé d'hyphes. Elle présente un rhizomorphe long, et des cordons de la même couleur (Planche IIIi).). La coupe anatomique a révélé un manteau fongique épais, de nature plectenchymateux. Le réseau de Hartig est profond, arrivant jusqu'à la dernière couche des cellules corticales (Planche IIIj).

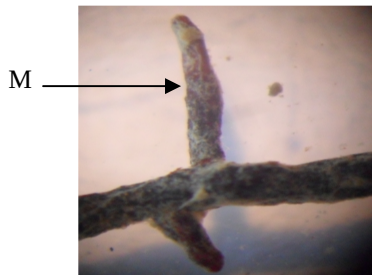
PLANCHE III



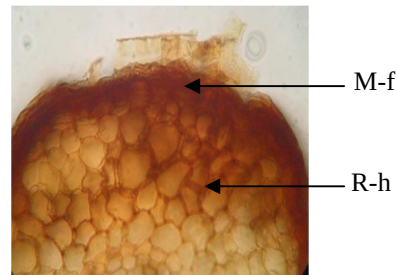
IIIa: Mycorrhize orange simple (M11)



IIIb: Coupe transversale de la (M11)



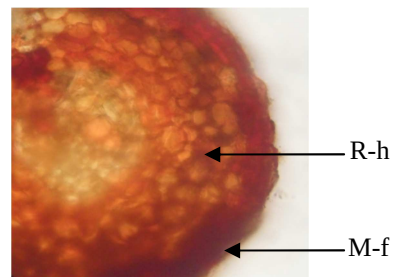
IIIc: Mycorrhize noire simple (M12)



IIIId: Coupe transversale de la (M12)



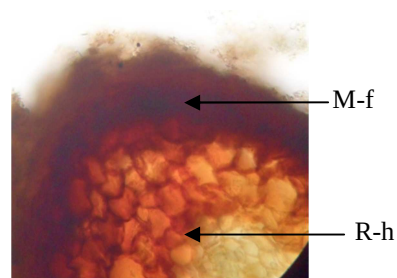
IIIe : Mycorrhize noire simple (M13)



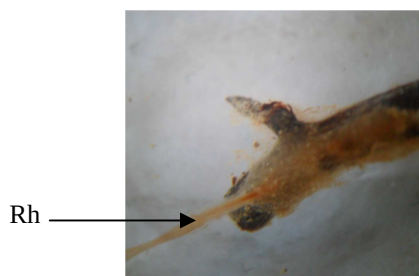
IIIf : Coupe transversale de la (M13)



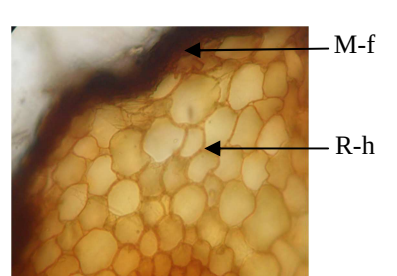
IIIg: Mycorrhize noire simple (M14)



IIIh: Coupe transversale de la (M14)



IIIi : Mycorrhize noire simple (M15)



IIIj: Coupe transversale de la (M15)

Mycorhize 16: Cette mycorhize est simple et de couleur orange, Le mycélium extramatriciel est peu abondant, de couleur jaunâtre, et il est dépourvue de rhizomorphe et de cordon. (Planche IVa). Sa coupe transversale a révélé un manteau fongique épais. Le réseau de Hartig arrivant jusqu'à la 3^{ème} couche de cortex. La couche tanifère de cette mycorhize est bien visible (Planche IVb).

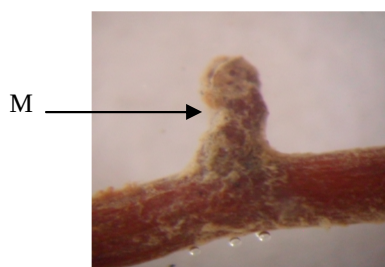
Mycorhize 17: Elle est monopodiale et de couleur noire. Le mycélium extramatriciel est très abondant. Il est sous forme d'hyphes fins très longs. Elle ne présente ni de rhizomorphe ni de cordon (Planche IVc). Sa coupe anatomique a révélé un manteau fongique épais, qui présente une structure lâche. Le réseau de Hartig arrivant jusqu'à la dernière couche de cortex. L'observation sous le microscope photonique nous a montré aussi la présence de tanins en quantité importante (Planche IVd).

Mycorhize 18: Elle est simple, de couleur orange et courte. Elle couverte d'un mycélium extramatriciel très abondant, de couleur jaunâtre, et présente aussi un rhizomorphe très longue, et de quelques cordons hyphaux de la même couleur (Planche IVe). La coupe anatomique de cette mycorhize a révélé un manteau fongique épais de nature plectenchymateux. Le réseau de Hartig arrivant jusqu'à la dernière couche de cortex. L'observation a révélé aussi une couche tanifère très épais (Planche IVf).

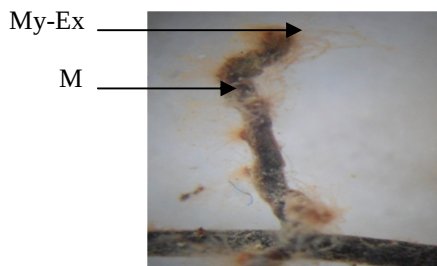
Mycorhize 19: Elle est simple de couleur orange. Le mycélium extramatriciel est très abondant. Il est sous forme d'hyphes fins longs de la même couleur. Elle ne présente ni de rhizomorphe, ni de cordon (Planche IVg). Sa coupe transversale montre un manteau fongique, peu épais, de nature plectenchymateux. Le réseau de Hartig arrivant jusqu'à l'endoderme (Planche IVh).

Mycorhize 20: Elle est simple, courte et de couleur orange. Le mycélium extramatriciel est abondant, de couleur jaunâtre. (Planche IVi). En coupe anatomique le manteau fongique apparaît très mince, il présente une structure lâche. Le réseau de Hartig arrivant à la dernière couche de cellule corticale. L'observation a révélé la présence de tanins qui est en quantité moyenne. (Planche IVj).

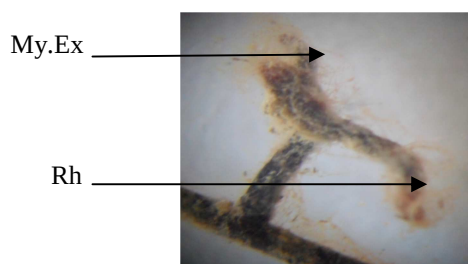
PLANCHE IV



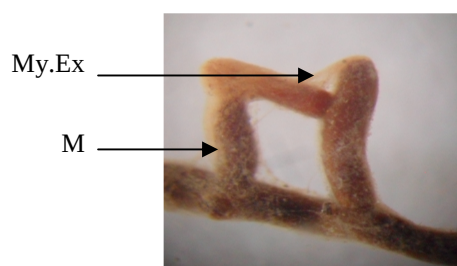
IVa: Mycorrhize orange simple (M16)



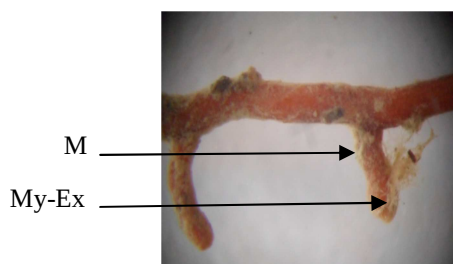
IVc : Mycorrhize noire monopodiale (M17)



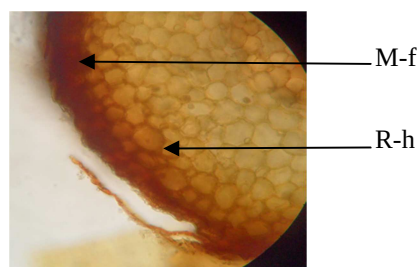
IVe : Mycorrhize noire simple (M18)



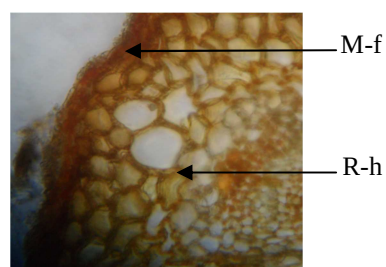
IVg: Mycorrhize orange simple (M19)



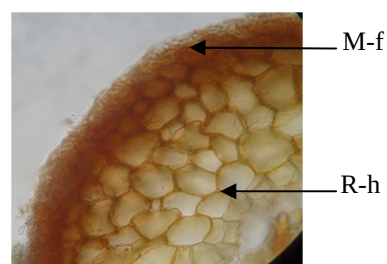
IVi: Mycorrhize orange simple (M20)



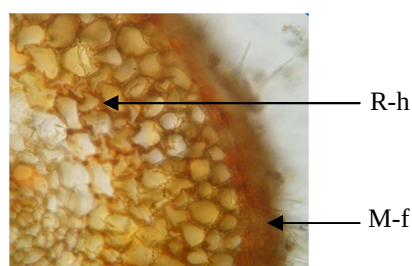
IVb: Coupe transversale de la (M16)



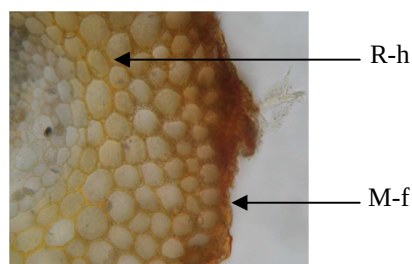
IVd: Coupe transversale de la (M17)



IVf: Coupe transversale de la (M18)



IVh : Coupe transversale de la (M19)



IVj: Coupe transversale de la (M20)

Mycorhize 21: Elle est simple de couleur noire et de petite taille. Le mycélium extramatriciel est abondant, de couleur jaunâtre, il est sous forme d'hyphes fins bien tendue, de la même couleur (Planche Va). En coupe anatomique le manteau fongique apparaît peu épais, de nature pseudo parenchymateux. Le réseau de Hartig est profond arrivant jusqu'à l'endoderme. L'observation a révélé une couche de tanins de très grande importance (Planche Vb).

Mycorhize 22: Cette mycorhize est simple, courte et de couleur orange. Le mycélium extramatriciel est peu abondant de couleur blanchâtre, formé d'hyphes fins courts et bien serrés. (Planche Vc).

Mycorhize 23: Cette mycorhize est simple, longue et de couleur orange. Le mycélium extramatriciel est peu abondant de couleur blanchâtre, il est formé d'hyphes fins et court. Elle est dépourvue de rhizomorphe et de cordon (Planche Vd).

Mycorhize 24: Elle est simple, noire et courte. Le mycélium extramatriciel est abondant de couleur orange. Cette mycorhize présente des rhizomorphe très longs (Planche Ve).

Mycorhize 25: Elle est simple, de couleur noire. Elle présente un mycélium extramatriciel abondant, de couleur blanchâtre. Présente un Rhizomorphe très développé de même couleur (Planche Vf).

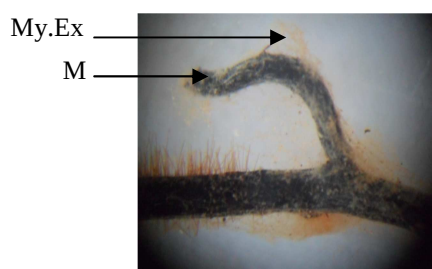
Mycorhize 26: Cette mycorhize est simple, noire et de taille moyenne. Le mycélium extramatriciel est abondant formé d'hyphes épais de couleur orange. Elle présente des rhizomorphe très longs (Planche Vg).

Mycorhize 27: Elle est simple, orange et courte. Elle présente un mycélium extramatriciel abondant de couleur jaunâtre. Elle est menée de quelques cordons mycéliens de la même couleur (Planche Vh).

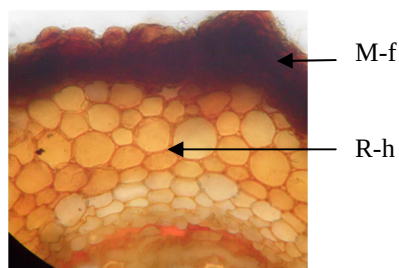
Mycorhize 28: Elle est monopodiale, de couleur orange. Le mycélium extramatriciel est abondant, il est sous forme d'hyphes fins et longs de la même couleur (Planche Vi).

Mycorhize 29: Elle est simple, orange et de taille moyenne. Elle renferme des particules du sol. Le mycélium extramatriciel est abondant et il est de couleur blanchâtre (Planche Vj).

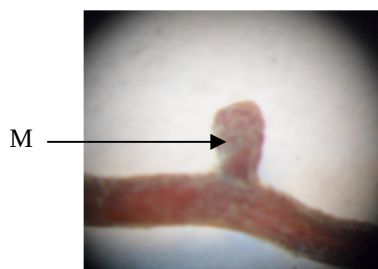
PLANCHE V



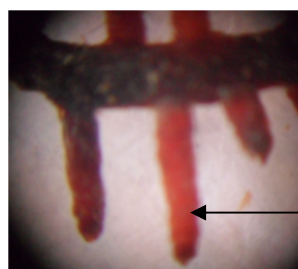
Va: Mycorrhize noire simple (M21)



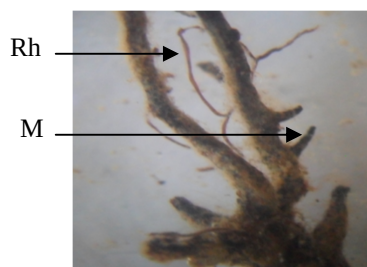
Vb : Coupe transversale de la (M21)



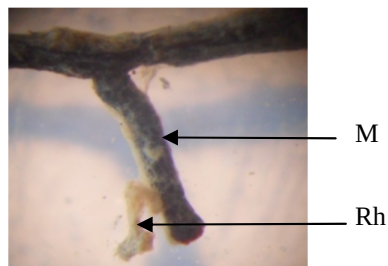
Vc: Mycorrhize orange simple (M22)



Vd: Mycorrhize orange simple (M23)



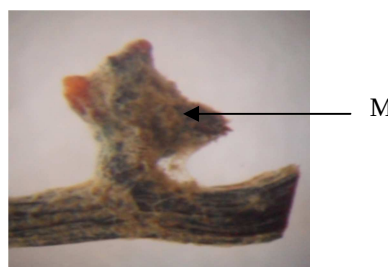
Ve: Mycorrhize noire simple (M24)



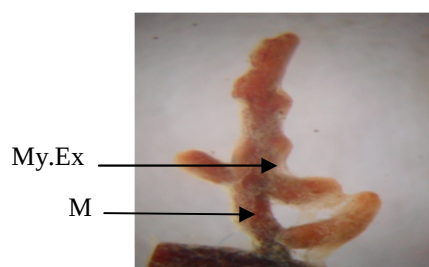
Vf: Mycorrhize noire simple (M25)



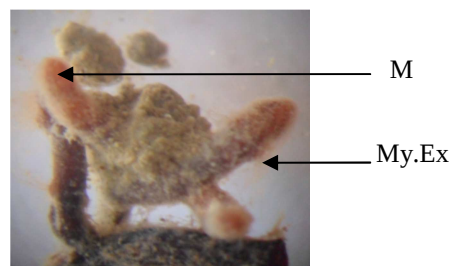
Vg: Mycorrhize noire simple (M26)



Vh: Mycorrhize orange simple (M27)



Vi: Mycorrhize orange monopodiale (M28)



Vj: Mycorrhize orange simple (M29)

Mycorhize 30 : Cette mycorhize est simple, noire et longue. Le mycélium extramatriciel est très abondant de couleur blanchâtre, qui est sous forme de coton. Elle présente des cordons longs de la même couleur (Planche VIa).

Mycorhize 31: Cette mycorhize est simple, noire et de taille moyenne. Le mycélium extramatriciel est abondant de couleur orange. Elle présente un rhizomorphe et des cordons (Planche VIb).

Mycorhize 32: Elle est simple, orange et de taille moyenne. Le mycélium extramatriciel est peu abondant de couleur orange. Présente un rhizomorphe long (Planche VIc).

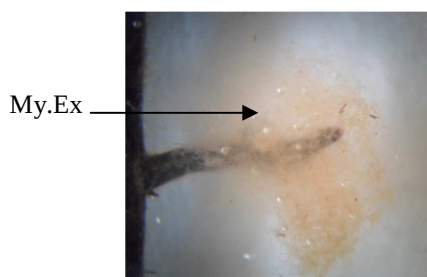
Mycorhize 33: Elle est simple, courte et de couleur noire. Le mycélium extramatriciel est abondant, formé d'hyphes fins bien tressé de couleur orange. Cette mycorhize présente un rhizomorphe long de la même couleur (Planche VId).

Mycorhize 34: Cette mycorhize est simple, courte et de couleur noire. Le mycélium extramatriciel est très abondant de couleur orange, formé d'hyphes fins bien tressé. Elle est menée de quelques cordons de la même couleur (Planche VIe).

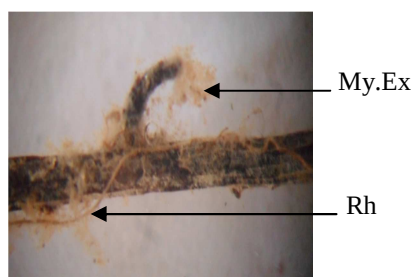
Mycorhize 35: Elle est simple, noire et longue. Le mycélium extramatriciel est très abondant de couleur orange. Cette mycorhize présente des cordons et des rhizomorphes (Planche VIf).

Mycorhize 36: Cette mycorhize est simple, noire et courte. Le mycélium extramatriciel est très abondant de couleur orange sous forme de coton. Elle présente un rhizomorphe court de la même couleur (VIG).

PLANCHE VI



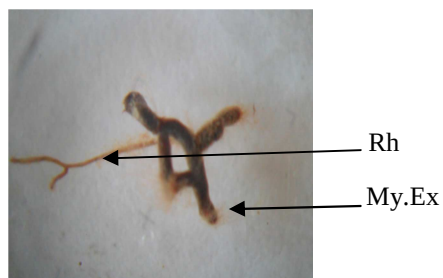
VIa: Mycorhize noire simple (M30)



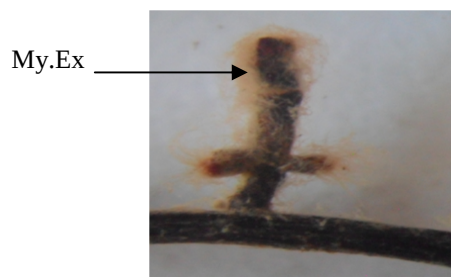
VIb: Mycorhize noire simple (M31)



VIc: Mycorhize orange simple (M32)



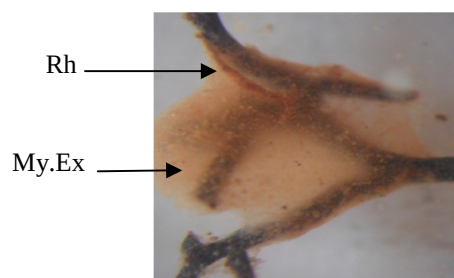
VIId: Mycorhize noire simple (M33)



VIe: Mycorhize noire simple (M34)



VIIf: Mycorhize noire simple (M35)



VIg: Mycorhize noire simple (M36)

1.3. Classification des mycorhizes :

Une approche de la diversité fonctionnelle et morphologique des ectomycorhizes a été effectuée par Garbaye (2013), basée sur les types d'exploration. C'est-à-dire la façon dont le mycélium extramatriciel est organisé vis-à-vis les éléments du sol qu'il colonise et sur le mode spatial d'exploration des ressources. On distingue trois grands types :

- ✓ Ectomycorhize de type d'exploration par contact :

Ces Mycorhizes sont en contact très étroite avec les constituants du sol, littéralement collées contre les agrégats de terre ou les fragments de matière organique. Ce type se trouve dans la couche la plus superficielle de l'humus forestier, là où les mycorhizes sont plaqués contre la surface inférieure des feuilles.

Mycorhizes: (M5), (M6), (M22), (M23).

- ✓ Ectomycorhize de type d'exploration court et moyen distance :

Ce sont des mycorhizes caractérisés par un mycélium extramatriciel d'une longueur de quelques millimètres ou de l'ordre du centimètre, qui est formé d'hyphes isolés ou de simples mèches peu structurées (Garbaye 2013).

Mycorhizes: (M1), (M2), (M4), (M7), (M12), (M16), (M19), (M20).

- ✓ Ectomycorhize de type d'exploration à grande distance:

Ce sont des mycorhizes caractérisés par des cordons et des rhizomorphes hydrophobes. Qui peuvent atteindre des gisements de ressources à plusieurs décimètres, voire plusieurs mètres, de la racine.

Mycorhizes: (M3), (M8), (M9), (M10), (M11), (M13), (M14), (M15), (M17), (M18), (M21), (M24), (M25), (M27), (M28), (M29), (M30), (M31), (M32), (M33), (M34), (M35), (M36).

La figure ci-dessous montre le pourcentage des différents groupes morphologiques des ectomycorhizes rencontrées.

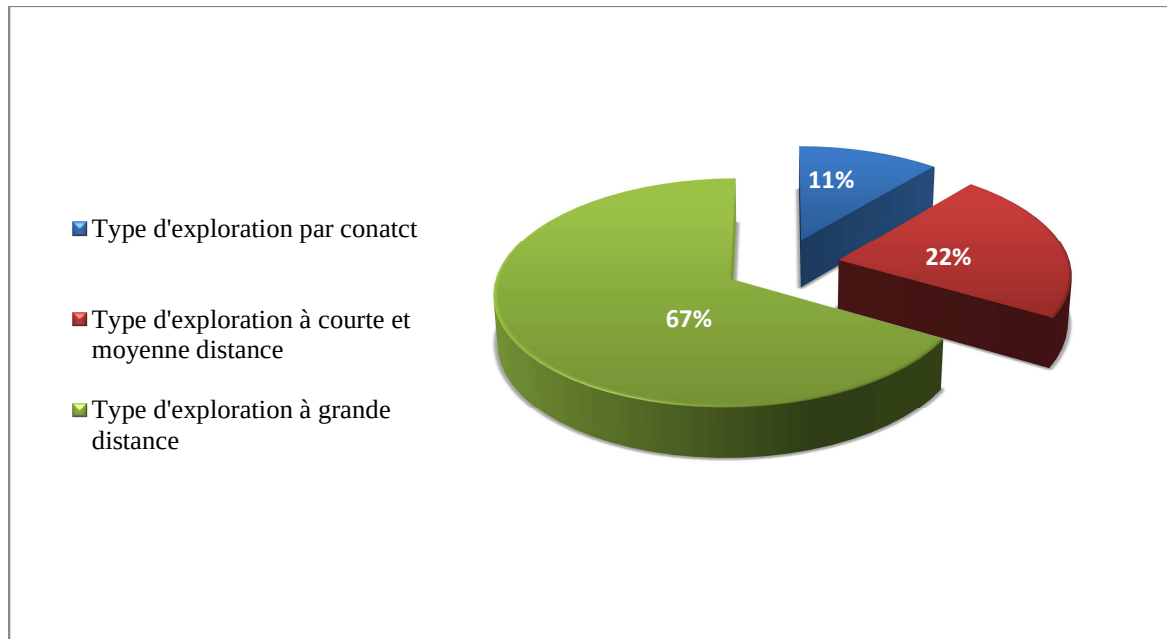


Fig.9: Distribution des ectomycorhizes selon la classification Garbaye , 2013.

En constate que 67% des ectomycorhizes en groupes morphologiques sont de type d'exploration à grande distance, 22% du type d'exploration à court et moyen distance et seulement 11% du type d'exploration par contacte.

Discussion

L'adaptation du cèdre de l'Atlas aux conditions de notre station est due aux mycorhizes. Ce dernier provient du sol de la cédraie de Tikjda, puis utilisé pour inoculer les plants en pépinière. Bâ et *al* (1991) à montré que ces champignons sont présente dans le sol sous forme de propagule (spores, vieilles mycorhizes et cordons), Quand les conditions sont favorables en période humide, les propagules produisent des hyphes qui poussent et se ramifient pour donner un mycélium extramatriciel capable de coloniser un système racinaire.

L'analyse bioclimatique montre que notre zone d'étude appartient à l'étage subhumide caractérisée par des conditions climatiques très sévères, surtout pendant la saison estivale. Malgré cela l'influence du climat sur les arbres étudiés est sans conséquence, par contre au Belezma le cèdre de l'Atlas est sujet à un dépérissement qui s'est aggravé ces dernières année, selon Bentouati 2007, la sécheresse prolongée serait le principal facteur ayant prédisposé le cèdre au dépérissement.

Les échantillons des racines du cèdre prélevés, présentent plusieurs types d'ectomycorhizes. Trente-six types morphologiques ont été répertoriés. Les ectomycorhizes de forme simple et de couleur noire sont les plus fréquentes. Selon Garbay (2013), le champignon ascomycète *Cenococcum géophilum* forme des ectomycorhizes noire très caractéristiques avec nombreuses essences forestières dans tous les zones boréales, tempérées et méditerranéennes du globe. Il est particulièrement fréquent dans les sols sujets à des périodes de dessèchement et son abondance augmente lors de ces périodes.

Il a été démontré que les racines courtes mycorhizées par *Cenococcum géophilum* survivaient au stress hydrique suffisamment sévère et sa fonction principale au sein du cortège ectomycorhiziens d'un arbre est de maintenir vivante une proportion significative de racine fines pendant les périodes de sècheresse, permettant ainsi à l'arbre de profiter immédiatement du retour de l'humidité lors des première pluies (Garbaye., 2013).

En situation de stress hydrique, les arbres-mères redistribuent l'eau aux plantules par le biais des réseaux ectomycorhiziens (Warren *et al.*, 2008). Des plantules, liées aux arbres-mères de la même espèce ou d'espèces différentes par des réseaux ectomycorhiziens, peuvent améliorer leur croissance et leur survie (Newbery *et al.*, 2000 ; Onguene & Kuyper, 2002).

La classification des ectomycorhizes en prenant en considération le type d'exploitation du mycélium extramatriciel nous a permis de distinguer trois groupes différents. Le type morphologique appartenant au groupe dit type d'exploitation à grande distance est le plus fréquent. Ces résultats obtenus sont influencés par plusieurs facteurs d'ordres différents et le plus dominant est celui du climat. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que notre période d'étude se situe en période sèche. Ce qui a engendré la formation et le développement du mycélium extramatriciel, en particulier les cordons et les rhizomorphes. Selon Garbaye (2013) le rôle de certains ectomycorhizes dans l'approvisionnement hydrique des arbres en période de sécheresse s'effectue grâce aux cordons et aux rhizomorphes qui explorent les microsites du sol encore humide, extraient l'eau et la transfèrent efficacement aux mycorhizes, en limitant les pertes en ligne grâce à l'étanchéité et l'hydrophobicité de leur couche externe.

Peu de travaux sur l'interaction entre la mycorhization et les caractéristiques physico-chimiques du sol ont été effectués. D'après Dommerger et Mangenot, (1970), la mycorhization est sous la dépendance de nombreux facteurs se produisant dans le sol, elle est influencée comme les autres processus biologiques par ses caractéristiques physiques et chimiques de celui-ci.

Les caractéristiques physiques et chimiques des sols prélevés à des profondeurs entre 15 et 30 cm sous l'essence étudiée montrent que la zone d'étude est caractérisée par un pH alcalin, les résultats obtenus par le présent travail montrent que cette essence adopte une stratégie qui consiste à développer un certain type de champignons ectomycorhiziens pour s'adapter à ce type de pH, Piou (1977) montre que les différentes valeurs du pH influent sur la nature de champignons symbiotes et sur le type de mycorhizes formées.

La répartition spatiale des écosystèmes forestiers est conditionnée, au premier niveau de perception écologique, par les facteurs du climat, en particulier, les précipitations et leur variabilité, les températures maximales et minimales (Mhirit et Yassin, 1993). Si en prenant les données climatiques de l'année 2015 dans la station d'étude, on remarque qu'ils ne correspondent pas aux exigences du cèdre, mais ce qui a permis à cette essence de résister à des conditions de stress hydrique et thermique sévère c'est l'exploration d'une grande surface du sol. Selon Nouaim et Chaussod (1996), l'efficacité d'un système racinaire mycorhizé est due principalement à une extension de la surface d'absorption et du volume du sol prospecté grâce aux hyphes fongiques.

Conclusion persepectives

Cette étude, consacrée à l'étude des associations ectomycorhiziennes de *Cedrus atlantica*, a porté sur quatre jeunes arbres de cèdre âgés de 10 ans dans un site d'étude localisé à Bastos, dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Cette région qui est caractérisée par une saison sèche et un sol qui est pauvre en matière organique, malgré cela les plans du cèdre plantés ont pu s'installer et se maintenir dans ce sol grâce en partie à des champignons mycorhiziens

La grande majorité des essences forestières sociale, d'intérêt économique dont le cèdre de l'Atlas appartient, font l'objet d'une sylviculture réelle (c'est-à-dire avec le recours à la régénération artificielle par plantation, au nettoyage et au dépressage dans les jeunes peuplements, au éclaircies régulière, ect.), elles sont caractérisés par la présence constante et obligatoire d'ectomycorhizes (Strullu, 1991).

Dans les écosystèmes naturels et dans les agro écosystèmes, la diversité et la productivité des plantes sont très influencées par la diversité des champignons dans le sol. Les champignons mycorhiziens constituent un maillon essentiel de tous les écosystèmes terrestres. Ainsi, l'importance de la diversité des champignons mycorhiziens détermine l'importance de la diversité floristique et augmente la productivité des végétaux (Van der Heijden et *al.*, 1998).

Les observations faite au laboratoire ont révélé la présence des ectomycorhizes constituées d'hyphes à type d'exploration plus au moins à grande distance. Dans le cadre d'une sécheresse en eau, Il semble donc que l'ectomycorhize, permet d'approvisionner la plante en eau grâce à la formation de rhizomorphes et l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau de l'arbre (Gehl et Garbaye, 1990).

La plante hôte résisterait semble-t-il au stress hydrique, par un signal déclenché par le champignon symbiotique permettant une fermeture plus rapide des stomates de sa partie aérienne (Fortin et *al.*, 2008).

Par ailleurs, la présence de champignons ectomycorhiziens peut conférer aux jeunes semis une tolérance à la sécheresse (Lamhameadi et Chbouki, 1994).

Cette étude a montré que la présence des ectomycorhizes a contribué à l'amélioration des plantes et aux maintiens de leurs survies en condition de sécheresse.

Comme perspective afin de compléter ce travail, il serait intéressant de :

- Entreprendre des opérations de régénération artificielle du cèdre par l'utilisation de plants mycorhizés naturellement en pépinière.
- Il serait intéressant de faire une inoculation naturelle des plants du cèdre avec les champignons ectomycorhiziennes sélectionnées et suivre leur développement en pépinière et au champ.
- L'étude des mycorhizes mérite d'être approfondie par l'utilisation des techniques de biologie moléculaire pour identifier les champignons impliqués.
- Concernant le dépérissement du cèdre dans le Belezma, une étude de l'état mycorhizien des cèdres encore en vie apporterait des informations intéressantes pour une éventuelle opération de reboisement des jeunes plants de cèdre hautement mycorhizés. Ces plants doivent être surtout mycorhizés par des champignons du genre *Cenococcum* connus dans leur rôle à lutter efficacement contre la sécheresse et le manque d'eau

Références bibliographiques

ABDESSEMED ., 1981. Le cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma: Etude phytosociologique. Problèmes de conservation et d ' aménagement. *Thèse Docteur-Ingénieur*. Université de droit d'Economie et des Sciences, Aix-Marseille, 199p.

ABOUROUH M., 2000. Mycorhizes et mycorhization des principales essences forestières du MAROC. *Thèse Doctorat d'état*. Université Mohamed V-Rabat, 150p.

ACHAL A., AKABLI O., BARBERO M., BENABID A., MHIRIT A., PEYRE C., QUEZEL P., et RIVAS- MARTINEZ S., 1980. A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia mediterranea* 5. 211-249.

ADDAR A., 2012. Changement climatique - dépérissement du cèdre en Algérie et action sylvicoles : 17^{ème} colloque international en évaluation environnementale, Moréal, 12-15 juin.

ALLEN C.D., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Eco. And. Manag*, 661-684.

ANNE A., 1945. Dosage rapide du carbone organique des sols. *Ann. Agr.*, 2: pp. 100- 105.

BA A.M., GARBAYE J ET DEXHEIMER J., 1991. Influence of fungal propagules during the early stade of the time sequence of the ectomycorrhizal colonization of *Afzelia Africana* Sm. seedlings. *Canadian Journal of Botany* 66 : 2442-2447.

BEGHAMI R., 2010. Contribution à l'étude des insectes associés au Cèdre de l'Atlas (*Cèdrus atlantica*) dans la région des Aurès : cas de cédraie de Chelia. *Thèse Magister*. Université El-Hadj Lakhdar-Batna, 132p.

BELOULA S., 2010. Etude sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Belezma (Wilaya de BATNA) Apport de la télédétection et SIG. *Mémoire Magistère*. Université El-Hadj Lakhdar-BATNA, 59p.

BENABID A., 1982. Etude phytoécologique, biologique et dynamique des associations et séries sylvatiques du rif occidental, *thèse Doctorat*. 165 p.

BENABID A., 1993. Biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Silva Méditerranée. Actes du séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifran (Maroc)*. 62 - 69.

BENABID A., 1994. Biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). In : Le cèdre de l'Atlas. *Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas*. Ifrane (Maroc). *Annales de la recherche forestière au Maroc* 27 (spécial), 61-76.

BENTOUATI A., 2007. La situation du cèdre de l'atlas en Algérie, Forêt méditerranéenne ; *Journées d'études changements climatiques et forêt méditerranéenne*.

BENTOUATI A et BARITEAU M., 2006. Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, T. XXVII, n°4, 317-322.

BENTOUATI A., 2008. La situation du cèdre de l'atlas dans les Aurès (Algérie) forêt

BOUDY, P. (1950) : Economie forestière Nord -- Africaine. Monographie et traitement des essences forestières. *Ed. Larousse*, T 2 : 529 – 619.

BOUDY P., 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. *Éd. La Maison Rustique*. 505p.

BOULLARD B., 1968. Les mycorhizes. *Editions MASSON et Cie*. Paris, 130p.

BOULLARD B., 1990. Guerre et paix dans le règne végétal. *Edition marketing*, p. 336.

CHEVALIER G., GARBAYE J., GIANINAZI S., MOUSAIN D., OLIVIER J.M. et DUNEZ., 1990. Fascicule : Les mycorhizes. La symbiose mycorhizienne, 11p.

DECHAMPLAIN N et GOSSELIN L., 2002. Les champignons mycorhiziens. *Université Laval-France*. 1-2.

DERRIDJ A., 1985. Etude de l'écologie, de la régénération et de plantules du cèdre de l'Atlas *cèdrus atlantica* Manetti. *D.E.A. UPS Toulouse France*. 74p.

DERRIDJ A., 1990. Etude des populations de *Cedrus Atlantica* Man en Algérie. *Thèse doctorat en sciences*, université Paul Sabatier-France, 288p.

DE VILMORIN J-B., 2003. Histoires d'arbres. *Editions Jean-Paul Gisserot*. 185p.

DOMMERGUER Y et MANGENOT F ., 1970. Ecologie microbienne du sol. *Masson*, Paris.

DRIHEM M., 2008. Le matin du Maroc ; www.lematin.ma.

DURRIEU G., 1993. Ecologie des champignons. *Edition Paris Masson coll. D'écologie*, 196-207.

EMBERGER L., 1935. La distribution géographique du cèdre au Maroc. *C.R. Soc.Biog*, 12 : 108p.

EMBERGER L., 1955. Une classification biogéographique des climats *Rec. Trav. Lab. Bot. Zool.*, Fac. Sc. Université de Montpellier, Bot., 7, 3-34.

EMBERGER L., 1960. Les végétaux vasculaires. *Tome2. Ed. Masson & Cie*, 682p

FERRANDES H., 1986. Amélioration génétique des arbres forestiers R.F.F. N°Spécial .139-142p.

FORTIN J. A., PLENCHETTE C. ET PICHE Y., 2008. Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. *MultiMonde Quac.* (Eds.), Quebecs, 131 p.

FRANK A.B., 1885. Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Baume durch unterirdische pilze. *Ber. Deut. Bot. Ges.*, 3, 128p.

GARBAYE J., 2013. La symbiose mycorhizienne : Une association entre les plantes et les champignons. *Edition Quae*, 251p.

GAUSSEN H., 1967. Les gymnospermes actuelles et fossiles. Faculté des sciences de Toulouse, *Fasc. 7*, 477p.

GEHL J.M et GARBAYE J., 1990. The effects of ectomycorrhizal status on carbon dioxide assimilation capacity, water-use efficiency and response to transplanting in seedlings of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco. *Annales des Sciences Forestières* 47: 551-563.

GHAIOULE D et LIEUTIER F., 2015. Dépérissement du cèdre et relations avec les facteurs biologiques dans le moyen atlas. *SNHF*. 1-9.

HALITIM S., 2006. Le cèdre en danger. *Lettre de Belezma*, n°10, 2p.

HARFOUCHE A et NEDJAH A., 2003. Prospections écologiques et sylvicoles dans les Cédraies du Belezma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbre. *Rev. For. Fr.* Vol. 55, n°2, Pp: 113-122.

HOUAMEL A.C., 2012. Contribution à l'étude du dépérissement de la cédraie dans la région de Batna (cas du parc national du Belezma). *Thèse Magister*, Université Aboubekr Belkaïd-Tlemcen, 84p.

JACQUIOT C., 1978. Ecologie des champignons forestiers. *Ed. Bordas*. Paris, 194p.

KACI A., 2001. Etat mycorhizien des jeunes plants de *Cedrus atlantica* (Endl) Manetti ex Carrière élevés à la pépinière de TAGMA (Kabylie). *Mémoire d'Ingéniorat*. Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou, 39p.

KROUCHI, F. (1995): Contribution à l'étude de l'organisation reproductive du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) à Tal -- Guilef (Djurdjura Nord Occidental). *Thèse Mag.* INA Alger : 105 p.

KHANFOUCI F., 2005. Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif du Belezma. *Thèse Magistère*. Université El-Hadj Lakhdar. Batna, 249p.

LAHMADI M et CHBOUKI N., 1994. Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.). *Ann. Rech. For. Maroc.* 27 Vol 2 : 244 - 253.

LANDMANN G., 1994. Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. *Rev. For. Fr.* XLVI - 5-.405-415.

LANIER L., 1976. Mycologie et pathologie forestières. Tome II. Pathologie forestière. *Edition Masson*. Paris. 16-26.

LANIER L, BONDOUX P et BELLEMERE A., 1976. Mycologie et pathologie forestière. Tome I: Mycologie forestière. *Edition Masson*. 487p.

LECOMPTE M et LEPOUTRE B., 1975. Bilan de l'eau et conditions d'existence de la cédraie dans le Moyen-Atlas basaltique - utilisation d'une analyse de l'information mutuelle entre tes espèces et les variables du milieu. *Ann. Rech. For. Maroc*, Tome 15 : 149-269.

LEPOUTRE B., 1963. Observations sur la régénération du cèdre par taches. *Ann. Rech. Maroc*. Fasc. 1, S.R.F Rabat : 17 p.

MEDDOUR R., 2015. Les changements climatiques et les forêts. Tizi-Ouzou : UMMTO . publication UMMTO Master 1, cours. 45p.

MHIRIT O., 1982 : Etude écologique et forestière des cédraies du Rif Marocain : Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'Atlas *Ann. Rech. For. Maroc*. Vol.2 : 499p.

MHIRIT O., 1993. A propos de l'utilisation des données climatiques en matière de gestion et de conservation de la forêt. Journée d'information sur l'agrométéorologie (Rabat, 30 novembre 1993). *Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires*; p. 58-81 (*Spécial agrométéorologie*) ; vol 23, n° 93.

MHIRIT O., 1994. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea « Le Cèdre ». In : Le cèdre de l'Atlas. *Actes du seminaire international sur le cèdre de l'Atlas*. Ifrane (Maroc) . Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial), 4-21.

MHIRIT O et YASSIN M., 1993. A propos de l'utilisation des données climatiques en matière de gestion et de conservation de la forêt. *Division de Recherches et d'Expérimentations Forestières* – Rabat. 58-71.

MHIRIT O et BENZYANE M., 2006. Taxonomie et répartition historique, in M'HIRIT O, le cèdre de l'Atlas. *Edition Mardaga*. 13-26.

MOREL M., 2005. Etude de quelques fonctions clés de la physiologie des symbioses ectomycorhiziennes. *Thèse Doctorat*. Université Henri Poincaré-Nancy I, 266p.

MOUSSAFIR M., 2007. Le cèdre, emblème du moyen Atlas. *Quotidien Aujourd'hui le Maroc*. N° de parution 1371.

NEWBERRY D.M., ALEXANDER I.J. ET ROTHER J.A., 2000. Does proximity to conspecific adults influence the establishment of ectomycorrhizal tree species in an African rain forest? *New Phytologist* 147: 401-409.

NOUAIM R et CHAUSSOD R., 1996. Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides. La mycorhization des plantes forestières en milieu aride et semi-aride et la lutte contre la désertification dans le bassin méditerranéen. *Zaragoza : CIHEAM, 1996. (Cahiers Options Méditerranéennes; n.20), 9 - 26.*

ONGUENE N.A et KUYPER T.W., 2002. Importance du réseau ectomycorhizien pour la survie des plantules et la formation d'ectomycorhizes dans les forêts tropicales du Sud Cameroun. *Mycorrhiza* 12: 13-17.

OSWALD H, 1992. Floraison, pollinisation et fructification chez le Hêtre (*Fagus silvatica* L.) INRA. Paris, 243-258.

PEYRONEL B, FASSI B, FONTANA A, et TRAPPE J.M., 1969. Terminology of mycorrhizae. *Mycologia*, 61, 410-411.

PIOU D., 1977. Importance de la mycorhization sur le comportement et la nutrition des arbres forestiers. *Mémoire d'ingénieur* .ENITEF, 71p.

PLANCHETTE C., 1982. Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules. Un potentiel à exploiter en agriculture. *Phytoprotection*, 63 (2), 86-108.

PUJOT A., 1966. Les milieux de la cédraie marocaine. Etude d'une classification des cédraies du Moyen Atlas et de la régénération actuelle dans les peuplements. *Ann. Rech. For. Maroc* 8. 1-383.

PRADAL F., 1979. Variabilité génétique et écophysologique du cèdre. Résumé. INRA département Forêt. Nancy.

PUTOD R., 1979. Le cèdre de l'Atlas en France. *Bull . Vulg* : 75 p.

QUEZEL P et MEDAIL F., 2003. Ecologie et biographie des forêts du bassin méditerranéen. *Elsevier*, Paris, 592p.

QUEZEL P., 1978., Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Ann. Mo. bot. Gdn* 65: 479-534.

QUEZEL P., 1980. "L'homme et la dégradation récente des forêts au Maghreb et au proche orient." *Naturalia monspeliensia*, N° Hors Série, p. 147-152.

QUEZEL P., 1998. Cèdres et cédraies du pourtour Méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique, *Forêt médit* 19 : p 283-260.

RATEL H., 1999. « Les champignons dopent la forêt », *La Recherche*, numéro 319, 33-35.

ROCHE E., 2006. Palynologie de la région méditerranéenne. Université de Liège. *Notes de cours*, inédit

ROY G., 1998. Rôle des facteurs climatique dans le mécanisme du dépérissement des érablières appalachiennes. *Thèse de Doctorat*. Université Sherbrooke Canada.

SCHOENBERGER A., 1970. Inventaire des massifs de S'GAG et Chelia. *FAO -- projet Algérie* 15 : 14 p.

SLIMANI S., 2014. Reconstitutions dendrochronologiques du climat et l'historique des incendies dans les régions des Aurès et de Kabyle, Nord de l'Algérie. *Thèse Doctorat*. Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou. 171p.

STRULLU D. G., 1985. « Les mycorhizes ». *Édition illustré*.198p.

STRULLU D.G., 1991. Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivée. Technologies et documentations. *LAVOISIER*. 250p.

TOTH J., 1971. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* en France). *Bulletin de la vulgarisation forestière*. N° 4. Pp : 5-19.

TOTH J., 1980. Le cèdre III. La graine des plants en pépinière, reboisement, régénération naturelle. Forêt privée. *Rev. For; Europe*. N° 132. 41-47.

TREMBLAY V., 1999. Dendroécologie du dépérissement du bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh) après coupe forestière dans la réserve faunique des Laurentides.

VAN DER HEIJDEN M.G.A, KLIRONOMOS J.N, URSIC M, MOUTOGLIS P, STREITWOLF-ENGEL R, BOLLER T, WIEMKEN A et SANDERS I.R., 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 72–75.

WARREN J.M., RENÉE BROOKS J., MEINZRE F.C. et EBERHART J.L., 2008. Hydraulic redistribution of water from *Pinus ponderosa* trees to seedlings: evidence for an ectomycorrhizal pathway. *New Phytologist* 178 : 382-394.

ZEMIRLI M., 2006. Contribution à l'étude écodendrométrique du *cedrus atlantica* Manetti (Cèdre de l'Atlas) dépéris dans le parc national de Theniet El Had (Wilaya Tissemsilt) *Algérie*. « En ligne ». *Mémoire d'Ingéniorat d'état en écologie végétale et environnement*. Tiaret : Université Ibn Khaldoun. 97p.

Annexes

Tableau I : Normes d'interprétation de la matière organique (Schafer, 1975)

Taux de la matière organique (%)	Type du sol
< 1	Très pauvre
1 à 2	Pauvre
2 à 4	Moyenne
> 4	Riche

Tableau II : les normes d'interprétation du pH du sol (Cleeh, 2000)

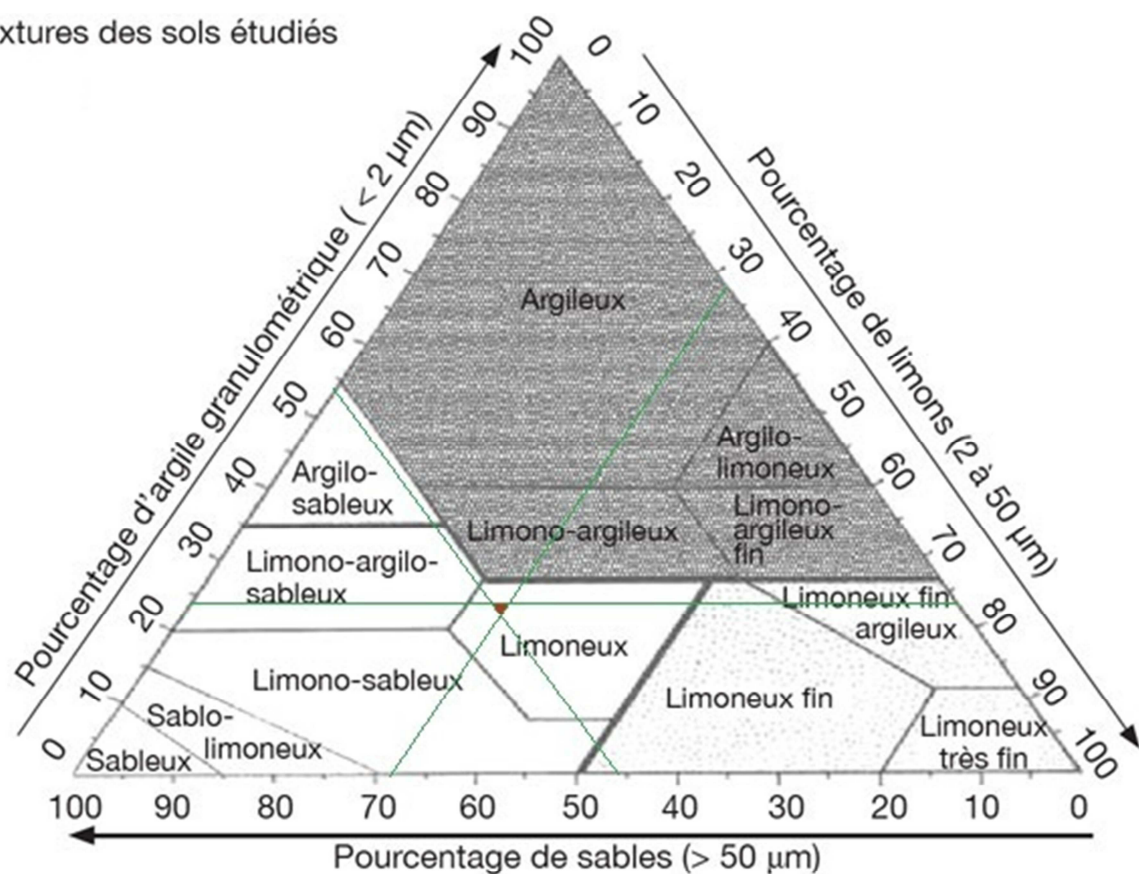
Classe de réaction du sol	pH eau
Extrêmement acide	< 4,5
Très fortement acide	4,5 – 5,0
Fortement acide	5,1 – 5,5
Moyennement acide	5,6 – 6,0
Faiblement acide	6,1 – 6,5
Neutre	6,6 – 7,3
Faiblement alcalin	7,4 – 7,8
Moyennement alcalin	7,9 – 8,4
Fortement alcalin	8,5 – 9,0
Très fortement alcalin	> 9,0

Tableau III : Normes d'interprétation du taux du calcaire total du sol (Baize, 1988).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

Figure I : Résultats des analyses granulométrique du sol.

Textures des sols étudiés

Textures des sols étudiés — *Textures of the studied soils* (USDA, 1960).

Abstract :

Cedrus Atlantica or cedar of the Atlas represents the archetypal noble gasoline(essence) of countries establishing(constituting) its natural area: Morocco and Algeria. These last year his(her) state deteriorated(aggravated) by the phenomenon of climate change, and the drought would be the main cause of the decay of the cedar in the region of Aurès and particularly the Belezma. The purpose of this work consists has the study of the ectomycorrhizes of cedar of the Atlas except its natural environment, seven years after their transplantation, these trees were inoculated in tree nursery has the help(assistant) of a natural inoculum resulting(coming) cedar of the reserve of Tikjda.

The main obtained results show a big wealth morphotypes, indeed we described thirty six different morphological types, classified in three morphological groups according to the type of exploration. The dominant type is the type says exploration in big outstrip with a 67 % rate, followed by the type of exploration at short and average distance with a 22 % rate. The type said about contact is represented only by 11 % of the total of the described morphotypes.

Concerning the decay of the cedar in Belezma, a study of the state mycorrhizien of cedar still alive would bring interesting information for a possible operation of reforestation and inoculation of plants with the fungal flora of the cedar of Tikjda.

Keywords :

Symbiosis, Cedar, dieback, mycorrhiza, ectomycorrhize, inoculation, morphotype

Résumé :

Cedrus Atlantica ou cèdre de l'Atlas représente l'essence noble par excellence des pays constituant son aire naturelle : le Maroc et l'Algérie. Ces dernières années son état s'est aggravé par le phénomène de changement climatique, et la sécheresse serait la principale cause du dépérissement du cèdre dans la région des Aurès et particulièrement le Belezma. Le but de ce travail consiste à l'étude des ectomycorhizes de cèdre de l'Atlas en dehors de son milieu naturel, sept ans après leur transplantation, ces arbres ont été inoculé en pépinière à l'aide d'un inoculum naturel provenant des cèdre de la réserve de Tikjda.

Les principaux résultats obtenus montrent une grande richesse en morphotypes, en effet nous avons décrit trente six types morphologiques différents, classé dans trois groupes morphologiques selon le type d'exploration. Le type prédominant est le type dit exploration à grand distance avec un taux de 67%, suivie du type d'exploration à courte et moyenne distance avec un taux de 22%. Le type dit de contact n'est représenté que par 11% du total des morphotypes décrits.

Concernant le dépérissement du cèdre dans le Belezma, une étude de l'état mycorhizien de cèdre encore en vie apporterait des informations intéressantes pour une éventuelle opération de reboisement et d'inoculation des plants avec la flore fongique du cèdre de Tikjda.

Mots clés :

Symbiose, Cèdre, dépérissement, mycorhize, ectomycorhize, inoculation, morphotype.