

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم الفلاحة
DEPARTEMENT DE L'AGRONOMIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Option : Protection des Végétaux

THEME

**Contribution à l'étude de l'effet de la
mycorhization sur la croissance de *Medicago
sativa* L.**

Devant le jury:

Djoudi Ahmed IssamEddine

Mahboubi Ahmed Harzallah

Président: M' Kouidri .M . Pr.

Rapporteur: M'Benchettouh .A . MCA

Co-rapporteur: M^{me}Guenfoud F. Doctorante

Examineur: M^{me} Amrani O . MCB

Présenté par :

Soutenu publiquement le : 13/07/2022

Remerciements

Nous remercions avant tout DIEU le Tout Puissant qui nous a données la force et la patience pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements s'adressent à nos encadrateurs, Mr Ben chettouh Ahmed et Meme Guenfoud Fatma pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de diriger ce travail et pour leurs conseils avisés.

Nous remercions sincèrement Mr Kouidri Mohamed d'avoir accepté de présider le membre de jury et Meme Amrani Ouarda pour examiner notre travail.

Nous exprimons notre reconnaissance aux agriculteurs qui nous ont permis de faire des prélèvements au niveau de leurs fermes agricoles.

Un grand Merci à toutes les personnes qui ont contribué à des degrés divers à la réalisation de notre travail notamment le personnel du laboratoire du département d'agronomie.

ISSAM et AHMED

II

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents symbole de sacrifice, de tendresse et d'amour ; les mots ne peuvent traduire mes sentiments et ma reconnaissance envers vous. Quoi que je fasse, je ne pourrais jamais vous récompenser pour les grands sacrifices que vous avez consentis et continuez de consentir pour moi ; Puisse Allah Le Tout Puissant vous procurer bonne santé et longue vie.

A ceux que j'aime beaucoup et qui m'ont soutenue tout au long de ce projet :

Oussama et mes frères

A toute ma famille, et mes amis

A mon binôme AHMED

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail voie le jour, je vous dis merci.

ISSAM EDDINE



Dédicace

Je dédie ce mémoire à

Mes chers parents

Pour leur patience illimitée, leur amour, leur soutien et leurs encouragements continus, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices ;

A mon père ma mère ma et sœur pour leur grand amour.

Spéciale dédicace à mon binôme qui a partagé avec moi ce travail

Issam Eddine.

Et je dédie les fruits de notre travail à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

A tous mes chère amis.

Ahmed Harzallah

Sommaire

Remerciement.....	II
Dédicace.....	III
Sommaire.....	V
Liste de tableaux.....	VIII
Liste de Figure.....	VIII
Résumé.....	IX
Introduction	01

Chapitre I : Généralités sur la Luzerne (*Medicago sativa*L.)

1.1- Généralités sur la Luzerne <i>Medicago sativa</i> L.....	04
1.2- Origine.....	04
1.3- Systématique.....	04
1.4- Description morphologique et botanique.....	05
1.5- Cycle de développement de la luzerne.....	06
1.6- Intérêt.....	06
1.7- Ecologie.....	07
1.7.1- Travail du sol.....	07
1.7.2- Facteurs climatiques.....	07
1.7.2.1- Température.....	07
1.7.2.2- La lumière.....	08
1.7.3- Irrigation.....	08
1.7.4- Facteurs édaphiques.....	08
1.7.4.1- pH	08
1.7.4.2- Nutrition minérale	08
1.7.5- Date de semis.....	09
1.7.6- Densité de semis.....	09
1.8- Maladies et ravageurs	09

Chapitre II :Aperçu bibliographique sur la mycorhization

2.1- Définition.....	11
2.2-Historique.....	12
2.3- La symbiose.....	13
2.4- Les différents types de mycorhization.....	13
2.4.1- L'ectomycorhize.....	14
2.4.2- L'endomycorhize.....	14
2.4.2.1- Les endomycorhizes à Vésicules et Arbuscules (VA).....	15
2.4.2.2- Les endomycorhizes des Orchidées.....	15
2.4.2.3- Les endomycorhizes des Ericoïdes.....	16
2.5- Taxonomie et classification des endomycorhizes.....	16
2.6- La mycorhization et la physiologie des plates-hôtes.....	17
2.6.1- Production hormonale.....	18
2.6.2- Tolérance aux métaux lourds.....	19
2.6.3- Tolérance aux pathogènes telluriques.....	19

Chapitre III : Matériels et Méthodes

3.1 – Zone d'étude.....	21
3.1.1- Climat.....	21
3.1.1.1- Précipitations.....	21
3.1.1. 2- Températures.....	21
3.1.2- Synthèseclimatique.....	22
3.1.3- Analyse climatique.....	23
3.1.4- Analyse du sol.....	24
3.1.4.1- Paramètres physiques.....	24
3.1.4.2- Paramètres chimiques.....	25
3.2- Mycorhization.....	27
3.2.1- Méthode d'observation microscopique.....	27
3.2.2-Produits chimiques utilisés pour la coloration.....	27
3.2.3-Technique de dénombrement des mycorhizes.....	28

Chapitre IV : Résultats et discussion

4.1- Résultats.....	30
4.1.2 - Analyse du sol.....	30
4.1.2.1- Paramètres physico-chimiques du sol.....	30
4.1.3- Mise en évidence de l'association mycorhizienne chez <i>Medicagosativa</i> L.....	31
4.1.3.1- Résultats des observations microscopiques.....	31
4.1.3.2- Résultats de dénombrement de l'inoculation mycorhizienne.....	32
4.2- Discussion.....	34
Conclusion	37
Référencesbibliographiques.....	39
Annexe.....	47

Liste de Tableaux

Tableau 1 : Exportations en Kg/ha pour une production de 1t/ha de MS.....	09
Tableau 2. Précipitations (mm) et températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'El-Khaneg (1992 – 2021).....	22
Tableau 3 : Résultats de l'analyse physico-chimique du sol.....	30
Tableau 4 : R1_S1.....	32
Tableau 5 :R2_S1.....	32
Tableau 6 :R3_S1.....	33
Tableau 7 : R1_S2.....	33
Tableau 8 :R2_S2.....	33
Tableau 9 :R3_S2.....	33
Tableau 10 :R1_S3.....	33
Tableau 11 : R2_S3.....	34
Tableau 12 :R3_S3.....	34
Tableau 13. Pourcentage (%) d'inoculation par les endomycorhizes dans les trois sites étudiés.....	34

Liste de Figure

Figure 1. Morphologie de la luzerne (<i>Medicagosativa</i> L).....	05
Figure 2. Origine MA par rapport à l'évolution des plantes terrestres.....	12
Figure 3. Ectomycohrize.....	14
Figure 4. Site de provenance des plants de <i>Medicagosativa</i> L,.....	21
Figure 5. Diagramme ombrothermique de la station d'ElKhaneg.....	23
Figure 6. Méthode de calcul de présence des mycorhizes au niveau racinaire.....	28
Figure 7. Résultat des observations microscopiques (x40) d'une de racine de <i>Medicagosativa</i> L. (originale, 2022).....	32

Titre : Contribution à l'étude de la mycorrhization chez *Medicago sativa* L.

Résumé : La luzerne, *Medicago sativa* L., est une légumineuse fourragère par excellence connue pour sa haute teneur en protéines destinée à l'alimentation du bétail en zone steppique. Cependant, les contraintes pédoclimatiques qui limitent la productivité de cette espèce sont dues au manque d'éléments minéraux, à savoir le phosphore (P), l'azote (N), le potassium (K) et autres. Les champignons mycorhiziens dans ces conditions extrêmes semblent avoir un effet bénéfique dans la nutrition minérale. Cette étude vise tout d'abord à mettre en évidence l'association fongique chez l'espèce étudiée puis à évaluer le taux d'inoculation chez cette espèce. Les résultats obtenus ont montré que les racines des plantes de culture mixte située à la région d'El-Khaneg (Laghouat) présentaient des endomycorhizes à vésicules avec une abondance allant jusqu'à 70 % et non des arbusculaires ou des hyphes externes.

Mots clés : *Medicagosativa* L. nutrition minérale, endomycorhizes, El-Kheneg

Title: Contribution to the study of mycorrhization in *Medicago sativa* L.

Abstract : Alfalfa, *Medicagosativa* L., is a forage legume par excellence known for its high protein content intended for livestock feed in oasis areas. However, the pedoclimatic constraints that limit the productivity of this species are due to the lack of mineral elements, namely phosphorus (P), nitrogen (N), potassium (K) and others. Mycorrhizal fungi under these extreme conditions seem to have a beneficial effect in mineral nutrition. This study aims first of all to highlight the fungal association in the species studied and then to evaluate the rate of inoculation in this species. The results obtained showed that the roots of mixed culture plants located in the region of El-Khaneg (Laghouat) presented endomycorrhizae with vesicles with an abundance of up to 70% and not arbuscular or external hyphae.

Keywords: *Medicagosativa* L. mineral nutrition, endomycorrhizae, El-Kheneg

العنوان: دراسة الفطريات التعايشية لنبات البرسيم *Medicago sativa* L

الخلاصة: البرسيم الحجازي ، هو بقول علفي بامتياز معروف بمحتواه العالي من البروتين المخصص لتغذية الماشية في مناطق الواحات. ومع ذلك ، فإن القيود المناخية التي تحد من إنتاجية هذا النوع ترجع إلى نقص العناصر المعدنية ، وهي الفوسفور (P) والنيتروجين (N) والبوتاسيوم (K) وغيرها. يبدو أن الفطريات الفطرية في ظل هذه الظروف القاسية لها تأثير مفيد في التغذية المعدنية. تهدف هذه الدراسة في المقام الأول إلى إبراز الارتباط الفطري في الأنواع المدروسة ثم تقييم معدل التلقيح في هذا النوع. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن جذور نباتات المزرعة المختلطة الموجودة في منطقة الخانيق (الأغواط) قد ظهرت على حويصلات بكثرة تصل إلى 70٪ وليست خيوط عنقودية أو خيوط خارجية.

الكلمات المفتاحية: *Medicago sativa* L. البرسيم التغذية المعدنية ، endomycorrhizae ، الخنق

Introduction

Introduction

Les zones arides et semi-arides représentent 36% des terres émergées, une bonne partie relevant du climat "méditerranéen", à période sèche estivale (ChaussodetNouaim, 1996). Dans ces régions, les plantes sont confrontées à plusieurs stress (Oukaraet *al.*, 2014). Outre, le manque d'eau est le principal facteur limitant la croissance, les températures peuvent être élevées et les sols, souvent peu épais, sont généralement pauvres en éléments nutritifs comme l'azote et le phosphore (ChaussodetNouaim, 1996) ainsi qu'en oligo-éléments tels le cuivre et le zinc (Nouaîm, 1994).

Chez plus de 90% des plantes vasculaires, le système racinaire résulte d'une symbiose entre la plante et un (ou plusieurs) champignons (Fortin et al. 2015). Cette symbiose prend différentes formes, appelées ectomycorhizes, endomycorhizes ou ectendomycorhizes selon les caractères anatomiques de l'association (Djoudi&Sadali, 2017), qui dépendent en fait directement des partenaires impliqués.

Les endomycorhizes constituent la symbiose végétale la plus répandue à l'échelle planétaire (Dalpé, 2005). Les champignons concernés, regroupés dans le phylum Glomeromycota et distribués sur l'ensemble des écosystèmes, colonisent la majorité des plantes terrestres. Aux avantages bien connus des mycorhizes sur la croissance végétale, s'ajoutent plusieurs bénéfices, notamment pour la survie des plantes, leur biodiversité, l'impact sur la microflore du sol et le potentiel d'agent de réduction des stress tant abiotiques que biotiques (Effa, 2020).

De par leur importance agro-pastorale; la luzerne constitue la principale culture fourragère dans l'oasis saharienne (Houssni et al. 2020). Il s'agit d'une culture fourragère très bien adaptée au climat saharien et qui est très productive puisqu'elle peut produire dans des bonnes conditions jusqu'à 10 tonne de vert par hectare (Chaabena, 2001).

Le présent travail nous a amené à savoir si l'espèce *Medicago sativum* L. est mycorhizée ou non et de voir aussi à quelle association symbiotique obéit – elle ?

Introduction

notre travail est structuré en quatre chapitres ; le premier sont des généralités sur l'espèce fourragère *Medicago sativa* suivi par un deuxième chapitre qui est un aperçu bibliographique sur la mycorhization. le troisième regroupe Matériel et méthodes de travail qui aboutit au dernier chapitre qui expose les Résultats et les discussions. En fin, nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I

Généralités sur la Luzerne (*Medicago sativa*L.)

Chapitre I : Généralités sur la Luzerne *Medicagosativa L.*

1.1- Généralités sur la Luzerne *Medicagosativa L*

D'après Chedjerat (2017), le nom de la luzerne "*alfalfa*" est d'origine arabe, signifie "le meilleur fourrage". Les Italiens l'appellent encore ainsi. Les Espagnols l'appellent parfois Milga. Elle appartient à la famille des Fabaceae (Colas, 2012).

1.2- Origine

Selon Mauriès (1994), la culture de la luzerne est très ancienne, elle est originaire du sud-ouest de l'Asie dans les hauts plateaux de Caucase, Iran, Afghanistan et la Turquie d'où elle se serait répandue dans le monde entier.

La luzerne peut s'adapter à de nombreux types de sol mais elle tolère mal les sols acides (pH < 5) ou très humides (Mauriès, 2003), qui sont plus propices au trèfle violet. Sa préférence va aux sols sains et profonds qui lui permettent de développer son enracinement pivotant.

1.3- Systématique

D'après Cronquist (1981), la systématique de l'espèce *Medicagosativa L.* est ainsi (Tari M., 2019) :

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Genre : *Medicago*

Espèce : *Medicagosativa L.*

1.4- Description morphologique et botanique

C'est une plante herbacée de 30 à 80 cm de hauteur, vivace par sa grosse souche ligneuse (Gervais et Girard, 1987) (Fig. 1).



Figure 1. Morphologie de la luzerne (*Medicago sativa* L.). (Childers, 2008).

Le système racinaire est particulièrement développé et lui permet d'atteindre des profondeurs importantes (plusieurs mètres) (Javaux et Lambert, 2018). Cette particularité lui confère une excellente résistance à la sécheresse ainsi qu'une certaine capacité à décolmater les sols et à améliorer leur perméabilité (Jeder et al. 2021). En outre les nodosités qui se forment sur ses racines, comme pour les autres légumineuses, lui confèrent la capacité de fixer l'azote atmosphérique et d'enrichir ainsi le sol (Dommergues et al. 1999).

La tige très ramifiée est pleine, avec une consistance plutôt coriace, à section ronde. Chaque pied peut comporter de 5 à 15 tiges (Grenier et al. 1972).

Les feuilles sont alternes, avec une base simple, munie de stipules acuminées et dentées à la base. Composées, elles sont formées de trois folioles oblongues à sommet présentant des dents mucorinées, sont pubescentes, d'un vert gris (Duru et al. 1993).

Le pétiole de la foliole centrale est relativement plus long. Ses fleurs à la corolle violette longue de 8-11 mm, sont groupées en grappes fournies hautes de (15-) 20-40 mm sont très reconnaissables (Lemaire et al. 1985).

Les fruits sont des gousses recourbées en hélice senestre sur deux à trois tours en moyenne, contenant 10 à 20 graines (Coutin, 2001).

1.5- Cycle de développement de la luzerne

D'après Mathieu (2003), le cycle de développement des espèces du genre *Medicago* passe par différents stades végétatifs:

Stade 1 : la plante est une dicotylédone (germination hypogée).

Stade 2 : l'apparition de la première feuille (unifoliée).

Stade 3 : les feuilles sont alternées et composées de trois folioles rattachées à la tige par un pétiole (trifoliées). Au cours de son développement la première tige grandit en produisant des feuilles alternées.

Stade 4 : un bourgeon axillaire de la première feuille unifoliée se développe pour donner une tige secondaire. Deux autres tiges secondaires démarrent à sa suite depuis le niveau des cotylédons. Les luzernes pérennes de type non dormant produisent plus de tiges secondaires à partir du niveau des cotylédons que les types dormants dont la croissance est stoppée en hiver. C'est cet ensemble de tiges qui va former le collet.

Stade 5 : Le développement des tiges: on distingue des tiges primaires, secondaires et tertiaires.

Stade 6: floraison, maturité.

1.6- Intérêt

La luzerne est une plante vivace (Mauriès, 2003). Elle est largement cultivée dans le monde du fait de sa richesse en protéines (Colas, 2003). Elle jouit d'un regain d'intérêt lié notamment à sa richesse en protéines. Elle offre ainsi le rendement en protéines le plus élevé des plantes fourragère (15 tonnes de matière sèche à l'hectare fournit 2.6 tonnes de protéines) (Seddiki, 2014).

Elle fournit par ailleurs dans une ration donnée aux animaux, une part importante des protéines nécessaires à ces derniers, tel que la beta carotène et des fibres indispensables à la digestion chez les ruminant.

Au cours des années 80, la luzerne était cultivée sur 32 millions d'hectares à travers le monde (Hanson et al, 1988). Elle est utilisée sous forme de fourrage déshydraté ou de farines dans l'alimentation animale.

Chapitre I : Généralités sur la Luzerne (*Medicago sativa* L.)

Ainsi les luzernes annuelles peuvent fournir un fourrage dont la valeur énergétique par kg de matière sèche oscille entre 0,7 et 0,8 UF pour les feuilles et entre 0,6 et 0,7 UF pour les tiges et entre 0,4 et 0,5 UF pour les gousses (Labdi, 1991).

En outre, elle joue un rôle crucial dans l'amélioration de la structure du sol, l'augmentation de la fertilité des sols, la réduction de l'érosion du sol et une plus grande biodiversité des sols sont des avantages environnementaux obtenus par la culture de la luzerne (Melis et al. 2017) surtout en régions méditerranéennes.

En Algérie la luzerne constitue la principale culture fourragère dans l'oasis saharienne. Il s'agit d'une culture fourragère très bien adaptée au climat saharien et qui est très productive puisqu'elle peut produire dans des bonnes conditions jusqu'à 10 tonne de vert par hectare (Chaabena, 2001).

1.7- Ecologie

1.7.1- Travail du sol

Le travail du sol vise à obtenir un lit de semence meuble dans les 20 premiers cm pour faciliter la croissance et la nodulation des racines et pour incorporer des engrais. Une fertilisation phosphorique (P_2O_5 , 50-60 kg ha⁻¹) et potassique (K_2O , 100-120 kg ha⁻¹) est recommandée pendant le travail du sol. Une légère fertilisation azotée (20-30 kg ha⁻¹) peut être utile pour faciliter l'installation alors que la symbiose ne fonctionne pas encore. Le contact semence-sol est crucial. L'enrobage ou le pelliculage des semences favorise l'adhérence du sol aux graines et améliore l'absorption de l'humidité du sol par les graines. Un lit de semence fin est particulièrement nécessaire dans les sols lourds, pour garantir une germination des graines élevée et rapide. Dans tous les sols, la profondeur de semis ne doit pas dépasser 1,5 cm (Rita et al. 2017).

1.7.2- Facteurs climatiques

1.7.2.1- Température

La température exerce un effet déterminant sur la physiologie de la plante (Louarn et al., 2010). La croissance des jeunes semis est rapide entre 20 et 30°C. En dessous de 10°C et au-delà de 37°C, la croissance est fortement réduite (Mauriès, 2003).

1.7.2.2- La lumière

Le photopériodisme modifié la morphologie et la production de la matière sèche. Chez la luzerne, la température et le photopériodisme ainsi que leur interaction sont des facteurs du milieu qui jouent un rôle prépondérant dans la chute de production hivernal (Jung et Larson, 1972). La plante-abri diminue considérablement la disponibilité en eau et surtout en lumière limitant ainsi les possibilités de croissance aériennes et souterraines de la jeune plantule (Moule et Bustarret, 1971).

1.7.3- Irrigation

La luzerne est tolérante au déficit hydrique, mais elle atteint une production plus élevée sous irrigation. Dans les environnements méditerranéens subissant une sécheresse, ses besoins en eau sont d'environ 14000 m³/ha. Dans ces environnements, l'irrigation peut être appliquée tout au long de la saison de croissance. Bien que les besoins en eau de la luzerne soient les plus élevés au stade de floraison, il est conseillé d'irriguer la récolte surtout en début de végétation après la coupe pour stimuler la croissance (Rita et al. 2017).

1.7.4- Facteurs édaphiques

1.7.4.1- pH

La luzerne se comporte mal en sols acides, culture possible si pH > 6.5 avec un apport calcique (Hnatyszyn et Guais, 1988). La germination de la luzerne peut s'effectuer à un pH très bas, mais la croissance de la plantule est fortement ralentie (Moule, 1971).

1.7.4.2- Nutrition minérale

Lorsqu'elle est bien développée, la luzerne ne nécessite pas de nouvelle fertilisation. La fertilisation n'est nécessaire que pour améliorer la production de semences dans les cultures spécialisées (Rita et al. 2017).

Pour obtenir un bon rendement d'une culture de luzerne, il faut lui apporter les éléments nutritifs dont elle a besoin. Un haut niveau de fertilisation est indispensable au maintien d'une production élevée de 2 à 5 ans (Seddiki 2014).

La luzerne peut appauvrir le sol en potasse (tableau 1), elle en exporte de 800 à 1000 Kg/ha en quatre ans (ITCF, 1999), elle est exigeante en soufre (40Kg/ha pour 10t de MS), en bore et en molybdène (INRA, 1987).

Chapitre I : Généralités sur la Luzerne (*Medicago sativa L.*)

Tableau 1 : Exportations en Kg/ha pour une production de 1t/ha de MS (ITCF, 1999).

Elément	Exportation	Elément	Exportation
Azote(N)	25-30	Potasse(K ₂ O)	20-25
Acidephosphorique	5-8	Calcium(CaO)	24-35
Magnésium(Mg)	4-5		

Source Seddiki 2014

1.7. 5- Date de semis

La qualité de la mise en place de la luzerne conditionne pour une grande partie son niveau de production pendant toute la durée de son exploitation (fiche 2014)

Dans les environnements méditerranéens avec des hivers doux, le semis est généralement effectué au début de l'automne. Les plantules ont lors le temps de mettre en place un système racinaire bien développé avant le début de l'hiver ce qui leur permettra de résister aux basses températures (Rita et al. 2017).

1.7. 6- Densité de semis

Les densités de semis peuvent varier de 25 à 40 kg ha⁻¹ selon la variété, le type de sol, les traitements des semences (graines brutes ou enrobées) et le type d'utilisation des cultures. Le nombre optimal de plantes installées varie entre 200 et 400 m⁻². Des densités de semis plus élevées s'utilisent pour la production de foin dans des zones hydromorphes ou pour des semis dans des sols pauvres. Des densités de semis plus faibles sont appropriées pour la production de foin dans les zones à faibles précipitations ou pour un usage en pâturage (Rita et al. 2017).

1.8- Maladies et ravageurs

Plusieurs insectes sont des ravageurs de la luzerne. Pour la production fourragère, seuls les nématodes (*Ditylenchusdispaci*, *Meloidogynehalpa*, *Pratylenchusspp*), les sitones (*SitonahumeralisGyll.*, *S. discoideus Steph*) et les pucerons posent des problèmes. D'autres insectes peuvent être préjudiciables à la production de graines. Parmi les principales maladies, on peut citer la verticilliose (*Verticillium alboatrum*), la sclérotiniose (*Sclerotinia trifoliorum*), la maladie des tâches communes (*Pseudopezizamedicaginis*), l'anthracnose (*Colletotrichum trifolium*), la rouille (*Uromycesmedicaginis-orbicularis*), le mildiou (*Peronospora trifolium*) et le rhizoctone violet (*Rhizoctoniaviolacea*). Certaines plantes parasites sont également préjudiciables pour la luzerne: la cuscute (*Cuscutacampestris*) et l'orobanche (*Orobanche minor*). Les viroses ont peu d'importance chez la luzerne (Rita et al. 2017).

Chapitre II

Aperçu bibliographique sur la mycorhization

Chapitre II : Aperçu bibliographique sur la mycorhization

La majorité des plantes établissent une association symbiotique avec les champignons, association désignée par le terme de mycorhize. Le rôle de cette association dans la croissance et la nutrition des plants a été mis en évidence dans de nombreux cas et pour de nombreuses plantes (Dommergues et Mangenot, 1970; Gianinazzi, 1982; Planchette et *al.*, 1982; Strullu, 1991).

Outre, l'augmentation du prélèvement des éléments minéraux, les mycorhizes paraissent améliorer l'efficacité du prélèvement de l'eau par les racines (Safir et *al.*, 1971; Graham et Syvestsen, 1984). Cet effet favorable est d'autant plus important que les conditions de culture sont difficiles (Hayman et Mosse, 1972; Mosse, 1973). Il nous a donc semblé important de savoir, si l'espèce *Medicago sativa* L., est mycorhizée, de voir à quelle association mycorhizienne obéit-elle?

2.1- Définition

Le mot mycorhize a une origine gréco-latine, dérivé de (*Mukes*=champignon) et de (*rhiza*=racine). La mycorhization est une association symbiotique entre un champignon (mycète) et les racines d'une plante vasculaire. Elle repose sur le fait que les deux partenaires retirent des avantages de cette liaison ce qui rend l'association entre les deux obligatoires. Le champignon retire des sucres de la plante alors que la plante a accès à des minéraux et de l'eau provenant des champignons. Ces derniers ne font pas toujours une association mycorhizienne. De fait, certains ne forment pas de symbiose avec les plantes. On parle alors de champignons saprophytes ou pathogènes, selon qu'ils se nourrissent de cellules végétales mortes ou vivantes. Tout comme ces autres champignons, les mycorhiziens ont une forme dite mycélienne, constituée d'un réseau d'hyphes qui ressemble en fait à un amas de filaments. (Bucher, 2007).

Les hyphes peuvent s'étendre très loin de la plante-hôte (1000 m de filaments mycéliens pour 1 m de racine) ce qui permet d'explorer une surface de sol plus grande que celle couverte par les racines et de transporter les éléments minéraux vers l'intérieur de celles-ci. De plus, certaines substances organiques sont dégradées par le champignon, la plante étant incapable de décomposer des molécules naturelles trop complexes (Bucher, 2007).

Chapitre II : Aperçu bibliographique sur la mycorhization

2.2- Historique

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. (Dechamplain, 2002)

Les mycorhizes arbusculaires (MA) (Fig. 2) forment des symbioses avec environ 80% des espèces et 92% des familles de plantes terrestres (Wang et Qiu, 2006). Les relevés fossiles des premières colonisations racinaires par des mycorhizes arbusculaires ainsi que l'analyse de séquences de la petite sous-unité ribosomale de l'ARN tendent à situer l'apparition des MA à une période datant de 353 à 462 millions d'années (Barea&Azcon-Aguilar, 1983; Simon et *al.*,1993). Les MA auraient ainsi pu contribuer à la colonisation des sols émergés par les plantes terrestres durant le Silurien-Dévonien, il y a environ 400 millions d'années. Cette colonisation du milieu terrestre par les plantes auraient été rendu possible par leur association avec une algue semi-aquatique ancestrale et en lui permettant de résister à la dessiccation (Simon et *al.*,1993). Il est ainsi compréhensible que les MA soient présents chez une diversité de familles de plantes et jouent un rôle écologique crucial, ayant Co évolué avec les végétaux depuis qu'ils ont gagné le milieu terrestre. En fait, les MA sont la norme plutôt que l'exception dans le règne végétal (Lambert et *al.*, 1979).

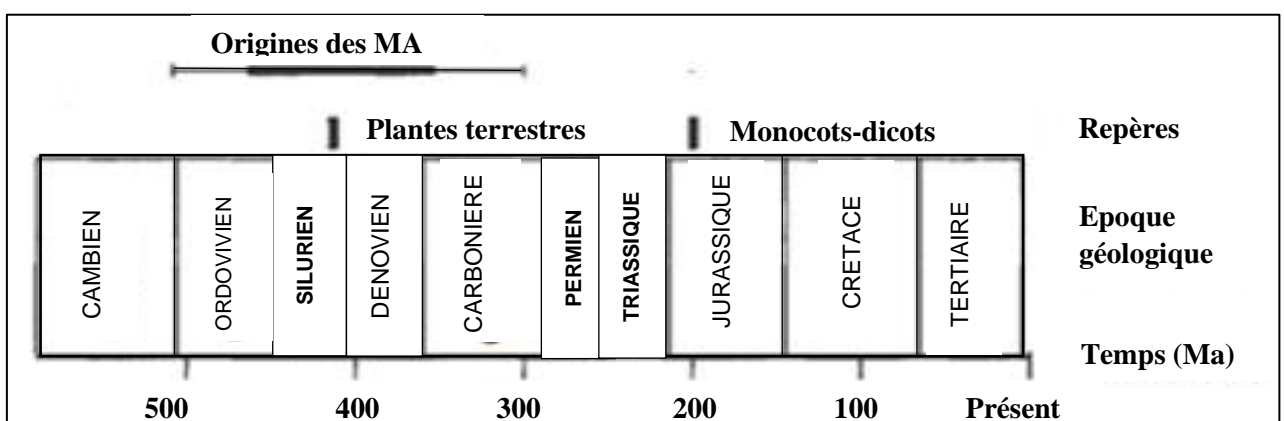


Figure 2. Origine MA par rapport à l'évolution des plantes terrestres Source: Traduit de Simon et *al.*, 1993

2.3- La symbiose

Il est possible de diviser la formation de la symbiose en trois phases. La première est celle où les tubes germinaux, soit les hyphes initiaux, vont croître à partir des spores avec une forte dominance apicale à la recherche de racines hôtes (Smith et *al.*, 1986; Bécard & Piché, 1989; Juge et *al.*, 2000). En second lieu, à l'approche d'une racine hôte, de bouts racinaires ou de certaines molécules contenues par celles-ci, il y aura diminution de la dominance apicale et la ramification de l'hyphe, signe de reconnaissance entre les symbiotes (Barea et Azcon-Aguilar, 1983; Peterson et Bonfante, 1994; Rosewarne et *al.*, 1997; Giovannetti et Sbrana, 1998; Juge et *al.*, 2009). Suite à l'attachement des hyphes à la racine, il y aura formation d'appressorium, colonisation racinaire et formation des structures d'échanges intraracinaires, les arbuscules (Giovannetti et *al.*, 1993; Juge et *al.*, 2000). Les arbuscules sont des structures éphémères et il est observé depuis longtemps qu'ils se désagrègent avec le temps à l'intérieur des cellules qui demeurent vivantes et qui peuvent être à nouveau colonisées pour former de nouveaux arbuscules (Cox et Sanders, 1974). Notons toutefois que dans les MA de type *Arum*, les transferts des éléments vers la plante se font par les arbuscules alors que dans le type *Paris*, ils se font par les enroulements fongiques intracellulaires (Dickson, 2004). Finalement, dans un troisième temps, il y aura la phase extraracinaire où les hyphes vont croître dans le sol, y captent les nutriments et l'eau dans sa fonction symbiotique et le mycète va ainsi compléter son cycle vital en formant des spores et en les relâchant dans le sol (Juge et *al.*, 2000).

2.4- Les différents types de mycorhization

Selon Fortin et *al.* (2008), il existe sept types principaux de mycorhizes:

- Les ectomycorhizes;
- Les mycorhizes arbusculaires;
- Les mycorhizes éricoïdes;
- Les mycorhizes arbutoïdes;
- Les mycorhizes orchidaceae;
- Les ectendomycorhizes;
- Les mycorhizes sébacinoïdes.

Chapitre II : Aperçu bibliographique sur la mycorhization

Les mycorhizes les plus communes sont celles qui colonisent le plus grand nombre de plantes. Ce sont l'ectomycorhize (mycorhize externe) et l'endomycorhize (mycorhize interne) (Nadia, 2002). Pour cela, nous allons exposer uniquement ces deux types de mycorhization.

2.4.1- L'ectomycorhize

Naît de la rencontre entre des hyphes d'un champignon mycorhizien et des racines d'un arbre (Fig. 3) (Dechamplain, 2002).

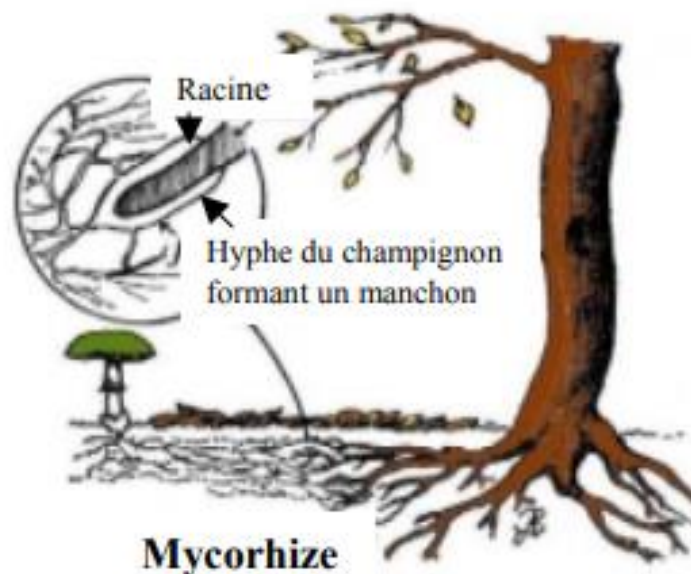


Figure 3: Ectomycohriize (Dechamplain, 2002).

L'ectomycorhize ne se forme qu'avec des arbres forestiers comme le pin, le sapin, le bouleau, l'épinette et principalement avec les résineux. Chez les ectomycorhizes, les hyphes s'infiltrant dans les racines de l'arbre, entourant les cellules sans y pénétrer, et forment, au pourtour de la racine, un amas d'hyphes qui s'appelle un manchon. Les échanges symbiotiques entre les partenaires se font au niveau intercellulaire. Le manchon fait par les hyphes du champignon joue aussi un rôle protecteur contre des organismes pathogènes. De plus, plusieurs champignons ectomycorhiziens forment les carpophores que l'on voit sur les sols et certains d'entre eux sont comestibles et recherché par les gastronomes, citons entre autres les girolles (ou chanterelles) et les bolets. D'autres sont hypogés comme les truffes ne sortent jamais du sol (Dechamplain, 2002).

2.4.2- L'endomycorhize.

Les endomycorhizes sont rencontrées chez les arbres ou les arbustes (Cyprès, Erable, Genévrier, poirier .etc.). Sur plus de mille espèces de la flore japonaise 84% sont mycorhizées par les endomycorhizes (Dommergues et Mangenot, 1970).

Les endomycorhizes sont des associations symbiotiques qui ne comprennent ni manteau ni réseau de Hartig, mais seulement des hyphes intercellulaires qui émettent des suçoirs dans les cellules du parenchyme cortical de la racine (Dommergues et Mangenot, 1970; Gianinazzi-PEARSON, 1990), mais jamais le cylindre central (Gianinazzi-Pearson, 1982).

Les données récentes de la cytologie ultrastructurale ont permis de distinguer trois types d'endomycorhizes (Dechamplain, 2002).

2.4.2.1- Les endomycorhizes à Vésicules et Arbuscules (VA)

Ces mycorhizes dont le réseau mycélien pénètre à l'intérieur des cellules et qui possèdent des vésicules et des arbuscules (VA) sont le type le plus répandu où 80% des plantes sont concernées (Strullu, 1985). Elles sont caractérisées par deux types de filaments mycéliens; le premier est externe en contact avec le sol de 15 µm de diamètre et le deuxième est interne dit: intracellulaire formant des structures fongiques variables, différenciées en vésicules, arbuscules, pelotons et hyphes (Bouterfa, 1993). Ces pelotons sont formés par des hyphes et contiennent les organites normaux des champignons riches en réserve de glycogène et polyphosphate (Kinden et Bown, 1975; Bonfante et Scannerint, 1979).

Les hyphes intercellulaires établissent avec l'hôte une interface formée par la paroi fongique et celle de l'hôte sans matière intermédiaire (Fortaz, 1990) en assurant une très grande surface de contact entre les deux associés.

Les arbuscules ont une durée de vie éphémère (quelques jours à quelques semaines) et finissent toujours par être plus ou moins digérés par l'hôte (Letacon, 1985). Ils peuvent être simples, en position terminale de l'hyphe principale qui passe d'une cellule à une autre du tissu de l'hôte.

Les vésicules intra ou extracellulaires sont des organes de réserves (Chevalier, 1990). Cette formation est très commune et s'observe chez de nombreux mycorhizes.

Les champignons impliqués dans la symbiose sont des *Zygomycètes* de la famille des *Endogonacées* (Trappe, 1981). Les plantes les plus importantes concernées par les endomycorhizes (VA), sont les légumineuses, les graminées et les *Solanacées* (Letacon, 1985). Les dates anciennes

2.4.2.2- Les endomycorhizes des Orchidées

Ce type de mycorhize a été étudié par plusieurs auteurs (Strullu, 1976; Harley, 1979; Strullu et *al.*,1981).

Les endomycorhizes des *Orchidées* sont constituées par des *Basidiomycètes* dont les hyphes de diamètre homogène, forment des pelotons. Les cellules hôtes ont un noyau hypertrophie et des organites généralement nombreux. La digestion du champignon se déroule dans les cellules Phagocytantes (Mousain, 1983).

2.4.2.3- Les endomycorhizes des Ericoïdes

Les endomycorhizes sont formées par les *Ascomycètes* de la famille des *Pezizacées*. Les mycéliums extraradiculaires forment un réseau d'hyphes dans le sol et dans le mucigel de la racine, le parenchyme cortical est généralement très réduit, les hyphes du symbiote pénètrent directement du mucigel dans les cellules de l'hôte et constituent un peloton toujours entouré par un dépôt polysaccharidique et protéique et du plasmalemme de l'hôte.

La vacuole de la cellule hôte produit des tanins, le champignon colonise en saprophyte des cellules mortes de l'hôte, l'étape finale se traduit par des débris du champignon dans la cellule hôte vide (Boullard, 1968).

2.5- Taxonomie et classification des endomycorhizes

La caractérisation des endomycorhizes nécessite la détermination de la plante hôte et du partenaire fongique (Walker, 1992).

L'association endomycorhizienne avec les végétaux supérieurs forment des mycorhizes arbusculaires qui appartiennent à la classe des *Zygomycètes* et l'ordre des *Endogonales* (Benjamin, 1979).

D'après: Morton et Benni (1991), la classification des endomycorhizes est la suivante:

Ordre: *Endogonales*.

Famille: *Endogonaceae*.

Genres: *Endogone, Sclerogone*.

Ordre: *Glomales*.

Sous-ordre: *Glomineae*.

Famille: *Glomaceae*.

Genres: *Glomus, Sclerocystis*.

Chapitre II : Aperçu bibliographique sur la mycorhization

La mycorhization demande des sols bien aérés dont l'atmosphère renferme une proportion d'oxygène proche de la normale, soit environ 21% (Dommergues et Mangenot, 1970). Le minimum d'humidité du sol est souhaitable pour le complexe mycorhizen. Les éctomycorhizes disparaissent souvent sous l'effet de la sécheresse ou sont fortement altérées (Le Tacon et al., 1994). La formation des complexes endomycorhiziens chez les céréales est favorisée par l'humidité de 60 à 80% voire 100% de la rétention suivant les espèces cultivées (Boullard, 1968). L'effet du pH du sol est difficile à évaluer, car il existe des champignons symbiotiques adaptés à des sols acides, telles que les spores de certaines espèces des genres *Acaulospora* et *Gigaspora* qui germeraient mieux en pH acide. Alors que certains champignons vivent dans des sols neutres ou légèrement calcaires (Geneves, 1992). Dans la nature la richesse du sol est considérée comme un facteur défavorable à la formation des complexes mycorhizien, les fumures trop généreuses ont un effet analogue. Ainsi une déficience en éléments minéraux ou un déséquilibre alimentaire sont souvent des facteurs prédisposant à la mycordization (Aissani, 1997). Dans les sols forestiers, les ectotrophes sont surtout nombreuses dans les horizons organiques sous la litière et sont moins développées, même à pH égal, dans le mull trop riche et dont l'humus est très évolué, que dans le more, plus pauvre et dont la matière organique est moins transformée (Dommergues et Mangenot, 1970).

Quant aux conditions climatiques, la température exerce un effet déterminant sur la physiologie de la plante (Louarn et al., 2010) et même pour la souche fongique, une diminution de l'infection mycorhizienne dépend d'une élévation marquée de la température par exemple: l'infection endomycorhizienne et la production des spores sont stimulées pour une élévation de température jusqu'aux environ 30°C. L'éclaircissement est généralement considéré comme un élément déterminant dans le renouvellement des peuplements forestiers (Bischoff, 1987), les travaux expérimentaux effectués sur plusieurs espèces forestières (Pin, Hêtre, Frêne, Epicéa et Pruche américaine) montrent que les modifications les plus importantes liées à l'ensoleillement affectent le système racinaire, sa morphologie et l'intensité de la mycorhization. Quand à la saison de l'année, les mycorhizes (V.A) se forment à des périodes différentes suivant les hôtes. Otto (1962) a constaté que les endomycorhizes se développent activement en été et régressent à partir de l'automne en passant dans une phase inactive de digestion.

2.6- La mycorhization et la physiologie des plantes-hôtes

La littérature portant sur l'influence positive des MA sur la croissance et la survie des espèces végétales est abondante (Bago et *al.*, 1999; Smith et Read, 2008).

- **La mycorhization dans la nutrition minérale et l'alimentation en eau**

Dans la majorité des cas, le meilleur développement des plantes mycorhizées est dû à une amélioration de leur nutrition minérale, en particulier les éléments les moins mobiles dans le sol c'est-à-dire; le phosphore (P), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) (Letacon, 1985).

D'après les études de nombreux auteurs Hall (1975); Menge et *al.* (1978), la quantité totale du phosphore absorbée est toujours élevée chez les plantes mycorhizées.

L'azote dans les tissus des plantes hôtes est généralement faible, car il est très mobile dans le sol. Les champignons ectotrophes absorbent l'azote sous forme ammoniacale (NH^+4), nitrique et des acides aminés puis le transfère à la plante essentiellement sous forme d'acide aminée (Letacon, 1985).

Les champignons ectotrophes et les endotrophes *Ericoïdes* vident la plante hôte notamment à mieux exploiter les constituants azotés solubles (ammoniac, nitrate et acide aminée) (Gianinazzi-Pearson, 1982).

Concernant les oligo-éléments, les endomycorhizes (VA) améliorent l'assimilation du soufre, du zinc et du cuivre par les plantes qui se développent en présence d'une faible teneur de ces éléments (Gray et Gerdemann, 1967; Gilmore, 1971). Elles augmentent aussi l'absorption du potassium (Powell, 1975) du calcium (Rhodes et Gerdemann, 1978).

Chez les ectomycorhizes, la meilleure alimentation en eau se fait grâce à un puissant réseau de rhizomorphes qui ont la capacité d'absorber l'eau à plusieurs centimètres de la racine Mycorhizée et de la transférer au plant hôte (Duddridge, 1980). Mais pour Les endomycorhizes (VA), les plantes hôtes ont une capacité de résistance à la sécheresse, cela est due à une meilleure nutrition phosphatée (Atkinson et Davison, 1973).

2.6.1- Production hormonale

La formation des endomycorhizes (VA), provoque chez la plante hôte une augmentation de la concentration en cytokinines et en composés ressemblant à l'acide abscissique (Allen et *al.*, 1980-1982).

Chapitre II : Aperçu bibliographique sur la mycorhization

Les champignons ectomycorhizogènes produisent diverses substances hormonales, celles-ci auraient un effet morphogène sur la synthèse racinaire en provoquant le développement des racines courtes, dû à un ralentissement de l'activité méristématique et une intense ramification secondaire (Allen *et al.*, 1980-1982).

2.6.2- Tolérance aux métaux lourds

Les souches fongiques particulièrement adaptées à des sols fortement contaminés en zinc, cuivre et cadmium montrent une tolérance plus élevée à ces éléments que celles provenant des sols non contaminés (Gildon et Tinker, 1983).

La formation des ectomycorhizes peut provoquer la disparition de la chlorose et permettre une croissance normale des plantes dans des sols calcaires.

En ce qui concerne les endomycorhizes *Ericoïdes*, elles se développent exceptionnellement dans les sols calcaires chez *Erica carnea*. Les Ericacées étant pour la plupart calcifuges et les champignons impliqués montrent une adaptation à ce milieu (Duclos *et al.*, 1983). Cependant, leur rôle dans la colonisation par *Erica carnea* dans ces milieux édaphiques n'est pas connu (Gianinazzi-Pearson, 1982).

2.6.3- Tolérance aux pathogènes telluriques

Les mycorhizes réduisent souvent la susceptibilité, en augmentant la tolérance des plantes hôtes aux attaques par des agents pathogènes telluriques tel que, la *Phytophthora*, le *Fusarium* et les *Nématoïdes*.

Cette protection phytosanitaire est localisée au niveau des racines et ne se manifeste pas dans les parties aériennes. Chez les ectomycorhizes, elles pourraient résulter d'un ou plusieurs processus complémentaires tel que: création d'une barrière physique par le manchon fongique; modification des conditions rhizosphériques en les rendant défavorables au développement des pathogènes; excrétion dans le milieu d'antibiotiques par les champignons symbiotiques ou stimulation des mécanismes de défense de la plante (Planchette, 1990); modifications au niveau de la lignification, de la synthèse phénologique du métabolisme en acides aminées et de la production d'éthylène ont été proposées comme d'éventuels facteurs jouant un rôle dans la protection offerte par des endomycorhizes (VA) (Hamida, 1998).

Chapitre III

Matériel et Méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes**3.1- Zone d'étude**

Le site d'étude choisi est situé dans la commune d'El-Khaneg, à 10 km au sud du chef-lieu de la wilaya de Laghouat. Il est situé sur le point géographique 33.7° Nord et 2.8° Est à une altitude de 785 m. Il appartient à une exploitation agricole de caractère privé. Le mode de son arrosage dépend de l'irrigation par le mode traditionnel d'où nous avons ramené nos plants de *Medicago sativa* (fig. 4).



Figure 4. Site de provenance des plants de *Medicago sativa* L, (Source : originale)

3.1.1 - Climat**3.1.1.1- Précipitations**

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat. La quantité d'eau dont dispose la végétation dépend des pluies, de la neige, de la grêle, de la rosée, de la gelée blanche, des brouillards et des brumes, mais aussi de l'évaporation et de la porosité du sol (Faurie et al., 2003). Pour El Kheneg, la précipitation moyenne annuelle est de 114mm (Tab. 2).

3.1.1.2- Températures

La température influence considérablement la végétation, elle est l'élément climatique le plus importante dans l'aire de répartition des végétaux sur le globe. La température est un facteur limitant d'une grande importance car elle conditionne l'ensemble des espèces et des

communautés dans la biosphère (Ramade, 1994). Pour notre région, la température moyenne annuelle est de 18.4°C. Cependant, M (41.9°C) et m (-2.8°C) (Tab. 2).

Tableau 2. Précipitations (mm) et températures moyennes mensuelles (°C) de la station d’El-Khaneg (1992 – 2021).

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aut	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann.
P (mm)	10,4	5,8	8,6	11,7	10,7	4,7	2,6	7,9	19	13,6	11,2	8	114
T max (°C)	19,6	21,6	26,1	30,3	35,7	39,9	41,9	41,1	37,5	31,5	24,8	20,1	30,8
T min (°C)	-2,8	-2,1	-0,9	2,5	7,3	13	19	18,5	12,7	6,7	0,8	-2,2	6,0
T moy (°C)	8,4	9,75	12,6	16,4	21,5	26,5	30,4	29,8	25,1	19,1	12,8	9,0	18,4

3.1.2- Synthèseclimatique

a. Indice de DeMartonne

L’indice d’aridité de De Martonne est représenté par la formule suivante : $I=P/(T+10)$ (Cheima et al. 2020).

P : total des précipitations annuelles en (mm) (P = 114 mm).

T : température moyenne annuelle en degré Celsius (T = 18.4 °C)

Cet indice est d’autant plus bas que le climat est plus aride et nous pouvons distinguer les classes (Cheima et al. 2020):

Climat très sec ($I<10$).

Climat sec ($I<20$).

Climat humide ($20< I <30$).

Climat très humide ($I>30$).

Le calcul de l’indice d’aridité de la région d’El-Khaneg a révélé une valeur de **4** qui permet de classer la région dans **un climat très sec**.

b. Climagramme d’Emberger

Le climagramme d’Emberger permet de connaître l’étage bioclimatique de la région, il est représenté en abscisse par la moyenne des minimas des températures du mois le plus froid, et en ordonnée par le quotient pluviométrique Q_2 d’Emberger (Emberger, 1950).

Le quotient pluviométrique Q_2 est calculé pour une moyenne de 30 ans allant de 1992 jusqu’à 2021 :

$$Q_2 = 2000 \times P / (M - m)^2$$

Q_2 : Quotient pluviométrique d’Emberger

P : pluviosité annuelles (mm). = (P = 114 mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud.= **41,9 °C**

m : moyenne des minima du mois le plus froid (représente la deuxième coordonné).=
-2,8°C

$Q_2 = 2000 \times P / (M - m)^2 = 149$ ce qui permet de classer notre région dans l'étage bioclimatique aride.

c. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Selon Farah (2014), plusieurs indices climatiques ont été formulés pour une expression synthétique du climat régional. Pour déterminer la période sèche de l'année, Gaussen propose un mode de représentation qui consiste à comparer mois par mois le rapport entre les précipitations et la température. Pour cela on porte sur un même graphique la courbe des moyenne mensuelles des températures et celle des totaux mensuels de pluviosité, avec pour échelle : 1°C de température = 2mm de pluie.

On appelle périodes sèches, celles pendant lesquelles la courbe de pluviosité se trouve en dessous de la courbe de température ($P > 2T$) (Farah, 2014).

La figure 3 montre que la station d'étude se caractérise par une période sèche qui s'étale sur toute l'année.

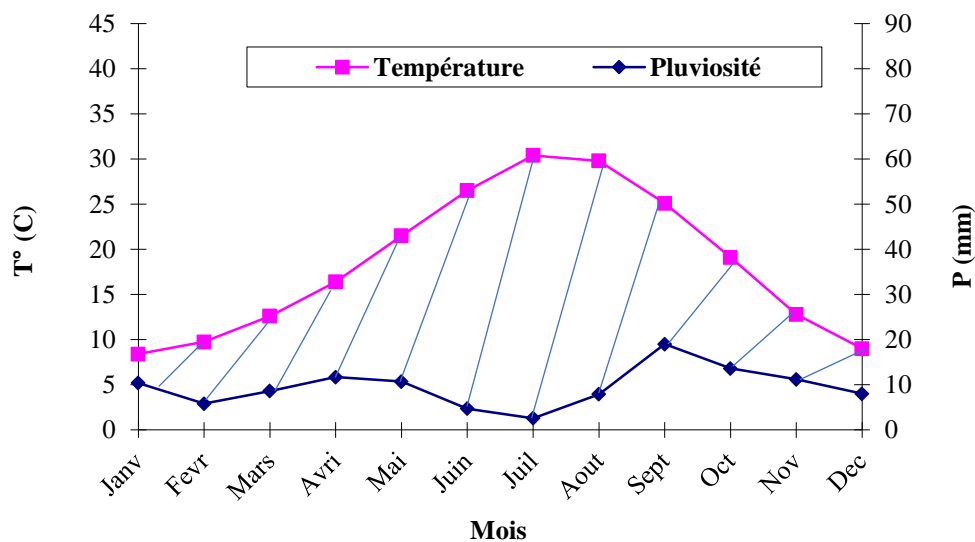


Figure 5: Diagramme ombrothermique de la station de EL-Khaneg (1992 - 2021)

3.1.4- Analyse du sol

Duponnois et al. (2012) ont montré que la plupart des plantes des régions arides sont associées à des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Ces symbiotes sont reconnus comme étant des composantes microbiennes majeures dans la transformation biogéochimique des éléments du sol à savoir ; le (C), le (P) et le (N) et en conséquence dans le développement des plantes en améliorant leur nutrition minérale, hydrique et leur état sanitaire. A cet effet, qu'on a intéressé d'étudier quelques propriétés physico-chimiques du sol du site d'étude.

Des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 15 cm de racines de sol (Rivaton, Diane (2016) et placés dans des sacs bien fermés afin de maintenir le taux d'humidité des échantillons lors de leur transport au laboratoire des analyses du sol.

3.1.4.1- Paramètres physiques***Humidité***

La méthode gravimétrique consiste à sécher le sol (passer un échantillon de sol de 100 g dans une étuve à 105 °C) afin de connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon. (Site web 1)

pH

Le pH est mesuré par la méthode potentiométrique sol/liquide égale à 1/2,5. Nous avons pesé 10g de terre fine séchée et pulvérisée à l'air dans un bécher de 100 ml en ajoutant 25 ml d'eau distillée. Brasser énergiquement la terre de manière à obtenir une suspension à l'aide d'un agitateur pendant 30 min. Laisser reposer durant 2 heures le contenu du bécher (Baize, 2000).

Les mesures sont réalisées à l'aide d'un pH mètre. La lecture du pH se fait lorsque la valeur se stabilise en utilisant les tampons.

Conductivité électrique

La conductivité électrique mesurée au conductimètre (mmhos/cm) à une température de 25 °C avec un rapport sol/eau 1/5. Elle traduit la concentration saline totale de la solution. La mesure de conductivité électrique s'effectue sur une suspension de terre fine l'aide de conductimètre (Baize, 2000).

Matières organiques

L'apport de matière organique n'a pas eu d'effet direct sur l'association mycorhizienne. Mais elle participe de façon indirecte sur les conditions écologiques de la symbiose. En effet, il améliore la structure des sols trop « légers » dont il cimente les particules en agrégats stables, et des sols « lourds » dont il diminue l'adhésivité en les rendant plus friables. Il régularise l'humidité de tous les types de sols: en favorisant l'évacuation de l'eau en excès des sols argileux et en augmentant la capacité de rétention en eau des sols sableux.

Par la méthode ANNE, qui consiste à oxyder le carbone organique par du bichromate de potassium avec excès en milieu sulfurique, la quantité réduite est en principe, proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de MOHR, en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Aubert, 1970).

Le taux de matière organique est obtenu par la formule suivante :

$$\text{MO (\%)} = \text{Carbone organique (\%)} \times 1,72$$

3.1.4.2- Paramètres chimiques

Les paramètres chimiques du sol à examiner sont ainsi :

Calcaire total

Cette technique est fondée sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium au contact de l'acide chlorhydrique. Le dosage est basé sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium en contact avec l'acide chlorhydrique. Le taux des carbonates de calcium est déterminé par la méthode volumétrique, qui consiste en une attaque du sol par l'acide chlorhydrique (HCl), suivi d'un titrage de l'excès de HCl par la soude (NaOH), en présence de phénophtaléine, qui permet le virage du mélange du transparent au rose (Baize, 2000).

Le taux de calcaire total est obtenu par la suite selon la formule suivante :

$$\text{CaCO}_3(\%) = (\text{Vt} - \text{Ve}) \times 12,5$$

Où : **Vt**: volume témoin ; **Ve** : volume de l'échantillon.

Azote

Selon la méthode de KJELDHAL, l'azote des composés organiques est transformé en azote ammoniacal ; sous l'action de l'acide sulfurique concentré porté à ébullition, se comporte comme oxydant. Les substances organiques sont décomposées : le carbone se

dégage sous forme de gaz carbonique, l'hydrogène donne de l'eau et l'azote est transformé en azote ammoniacal.

Ce dernier est fixé immédiatement par l'acide sulfurique sous forme de sulfate d'ammonium. Pour accroître l'action oxydante de l'acide sulfurique, on élève sa température d'ébullition en ajoutant du sulfate de cuivre et du sulfate de potassium ; qui jouent le rôle de catalyseurs. La matière organique totalement oxydée la solution contenant le sulfate d'ammonium est récupérée. On procède ainsi au dosage de l'azote ammoniacal par distillation (Aubert, 1970).

Phosphore

Introduire 10 ml d'échantillon homogénéisé dans les tubes en pyrex 18 x 150 mm. Le témoin et les solutions étalons doivent être préparés de la même façon que les échantillons. Ajouter 1,5 ml de la solution de digestion. Visser le bouchon et agiter (avec un agitateur vortex ou par inversion). Introduire les tubes dans l'autoclave. Mettre un morceau de papier indicateur de pression sur le support à tubes avant la digestion. Effectuer la digestion à l'autoclave pendant 30 minutes à environ 121 °C. Abaisser la pression lentement et laisser refroidir les tubes à la température ambiante. Filtrer si nécessaire avec un filtre de porosité de 0,8 µm. 10g de sol ajoute 50 ml. eau encore l'agitation pendant 30 min et le repos de 2h en mesure.

Potassium

Un bruleur alimenté par un mélange air-butane donne une flamme relativement chaude (1900 °C environ) dans laquelle on nébulise finement la solution à analyser. La matière portée ainsi à un certain niveau d'énergie, la restitue sous forme de radiation lumineuse spécifique des ions qui les émettent et l'intensité émettrice, la mesure de l'intensité lumineuse produite par un élément.

3.2- Mycorhization

Dans le but d'observer et d'identifier l'association mycorhizienne chez les plants de *Medicago sativa*, il est nécessaire de rassembler des verreries et des produits chimiques. Quant à la méthode de travail qui a été suivie pour étudier le lien fongique, nous nous sommes appuyés sur la méthode de Kormanik et al. (1980) (coloration des mycorhizes) et la loi de

Phillips et Heyman (1970) afin de connaître tout d'abord le type de mycorhizes présent dans les racines de Luzerne puis comptez-les.

3.2.1- Méthode d'observation microscopique

Pour réaliser ces observations, les racines sont coupées en fragments de 1 cm puis immergés dans un récipient d'eau. Cette méthode consiste à observer à l'aide d'un microscope photonique au laboratoire de l'ENS de Laghouat, des coupes semi-finies réalisées longitudinalement au niveau des racines courtes tendres permettant des coupes. Par la suite, ces racines sont colorées à la fuschine acide.

3.2.2-Produits chimiques utilisés pour la coloration

Potasse (KOH) à 10 %, fuschine acide en poudre, acide chlorohydrique (HCl) à 0,1 N.

- *Préparation du colorant fuschine acide*

La préparation de ce colorant chimique a été réalisée au laboratoire des sciences agronomiques, Université Amar Telidji. Ce produit chimique est à la base de lactophénol et de fuschine acide, sa composition est ainsi : 100 ml de lactophénol et 0,5 g de fuschine acide (poudre). La fuschine donne une coloration rouge aux cellules mycorhizées.

- *Coloration des racines (Méthode de Kormanik et al. 1980)*

Le procédé de cette coloration passe par les étapes suivantes : (i) lavage du système racinaire avec l'eau du robinet ; (ii) découpage des racines en fragment de 1 cm ; (iii) trempage des racines dans du KOH à 10 % ; (iv) rinçage des racines avec l'eau (v) acidification dans le HCl à 1/10N pendant 5 minutes ; (vi) coloration par la fuschine acide et remettre pendant 15 minutes au bain marie à 90 °C et en fin (vii) rinçage à l'eau du robinet.

3.2.3-Technique de dénombrement des mycorhizes

Pour l'observation microscopique et pour chaque lame on a utilisé la méthode suivante, c'est que pour chaque fragment de racine on a trois observations. et la présence de l'hyphe ou de vésicule ou arbuscules ou les trois à la fois est signalé par le numéro 1, et l'absence de ces derniers marqué par le numéro 0.

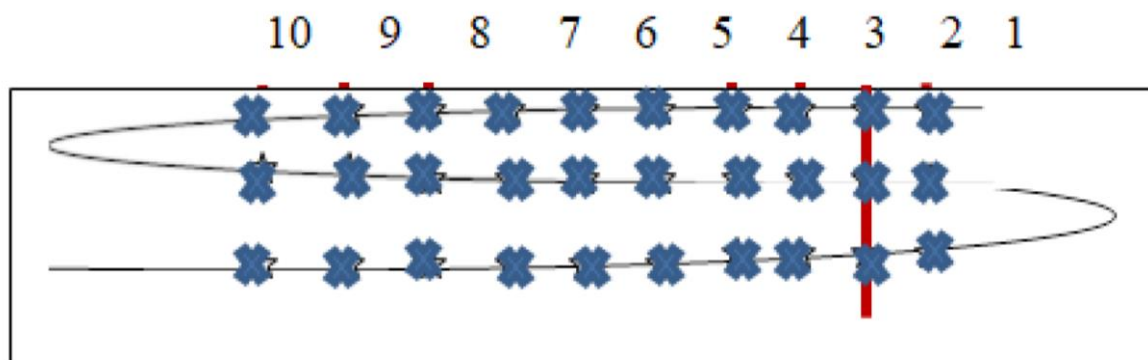


Figure 6. Méthode de calcul de présence des mycorhizes au niveau racinaire

- **Calcul du pourcentage de colonisation des mycorhizes**

Selon la loi de Phillips et Haymann (1970), le pourcentage de colonisation est calculé selon l'équation suivante: les points infectés *100/30

- **Lectures des résultats (observations)**

Une racine est considérée endomycorhizée lorsque on note la présence des arbuscules; vésicules; et ou des hyphes intracellulaires.

Plusieurs coupes longitudinales ont été réalisées, colorées et observées sous microscope photonique du grossissement x10 et x40. L'examen microscopique de dix fragments chacun à 1 cm de long, qui sont disposés entre lame et lamelle se fait tout d'abord par le grossissement x10. Ce dernier a pour but pour recenser les tâches rouges (présence des mycorhizes). Ensuite, à l'aide du grossissement x40 et selon la méthode de Nicolson (1955).

Chapitre IV

Résultats et discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

4.1- Résultats

4.1.2 - Analyse du sol

La plupart des plantes des régions arides sont associées à des champignons mycorrhiziens à arbuscules (CMA). Ces symbiotes fongiques sont reconnus comme étant des composantes microbiennes majeures dans le déroulement des principaux cycles biogéochimiques des sols (C, P et N) et en conséquence dans le développement des plantes en améliorant leur nutrition minérale mais aussi hydrique et leur état sanitaire.

4.1.2.1- Paramètres physico-chimiques du sol

L'étude du sol occupe une place prépondérante, car sa texture et ses propriétés chimiques influencent directement le mode de vie de l'association mycorhizienne (Benchettouh, 1999).

Dans cette approche nous avons étudiés les propriétés physico-chimiques de la région d'El Khaneg (exploitation agricole à caractère privé) afin d'avoir une idée sur les conditions de l'atmosphère du sol favorables au développement des mycorhizes. Les résultats de ces analyses sont figurés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 3 : Résultats de l'analyse physico-chimique du sol

L'échantillon**	H%	pH	CE Mmhos /cm	MO% Sahed (2017)	N%	P%	K%	CaCO ₃ %	C/N%
P1	7.2	7.5	0.43	Variée	0.4	0.27	0.3	0.62	2,9
P2	8.1	7.7	0.42	entre	0.3	0.25	0.4	0.24	3,9
P3	7.7	7.8	0.37	4.6 et 0.1	0.2	0.18	0.6	0.24	5,9

Selon le tableau 3, et sur la base d'une synthèse bibliographique sur les dayas de Laghouat entre 2008 et 2016, Sahed (2017) a conclu que les sols sont caractérisés par une texture varie de limono-sableuse à sablo-limoneuse. Les matières organiques du sol présentent des teneurs faibles (variée entre 0.1 et 4.6 %) ; ces teneurs sont dues au manque d'un apport en matières organiques. Ceci apparaît clairement dans le rapport de C/N (varié entre 2,9 et 5,9%) montrant un processus de minéralisation très faible. Ceci explique que notre sol est généralement pauvre en éléments nutritifs à savoir l'azote (entre 0.2 et 0.4%), le phosphore assimilable (entre 0.18 et 0.27%) et le potassium (entre 0.3 et 0.6%).

Le pH du sol est légèrement alcalin (varie entre 7.4 et 7.7) avec un taux de salinité (CE) varie entre 0.37 et 0.43 mmhos/cm.

Ce type du sol semble avoir favorable au développement des mycorhizes, en effet Goudiaby et al. (2018) ont montré que l'intensité de mycorhization a été plus élevée quand le taux du sable dépasse 50%, 75% ou 100%, elle est respectivement de 39.6 %, 26.75 % et 34%.

Bouabdelli et al. (2018) ont montré que l'intensité de colonisation des mycorhizes est plus importante dans le bioclimat aride, caractérisé par des sols alcalins, pauvres en matière organique avec des taux relativement faibles en carbonates de calcium. L'analyse de la variance (facteur station et l'interaction station x saisons) montre une différence très significative pour la fréquence de mycorhization et hautement significative pour les variables du sol.

La vie des mycorhizes est étroitement liée aux propriétés physico-chimiques des sols Briat et Job (2017).

4.1.3- Mise en évidence de l'association mycorhizienne chez *Medicagosativa L.*

4.1.3.1- Résultats des observations microscopiques

L'observation des lames préparées sous microscope optique est passé par deux niveaux de grossissement ; tout d'abord par le grossissement 10 et par la suite le grossissement 40 qui permet de bien distinguer les différentes formes de cette association mycorhizienne qui sont des hyphes qui se terminent par des vésicules ; ou des arbuscules où cette structure est rencontrée exclusivement chez les endomycorhizes d'où elle tire son nom (AV) d'après Miller *et al.*(1992).

Les observations effectuées montrent que les racines de *Medicagosativa L.* présente une association endomycorhizienne chez toutes les racines examinées. Cette symbiose est représentée dans la plupart des cas par une vésicule interne, un hyphe externe ou des vésicules arbusculaires. Ces structures fongiques sont rencontrées exclusivement dans la nature chez la famille des *Endogonacées* d'où le nom des endomycorhizes à vésicules et arbuscules (V.A). Le mycélium endomycorhizien généralement *Zygomycètes* colonise les cellules corticales (hôtes) dans lesquelles, il constitue une vésicule (Benchettouh, 1999) comme le montre la figure 7.

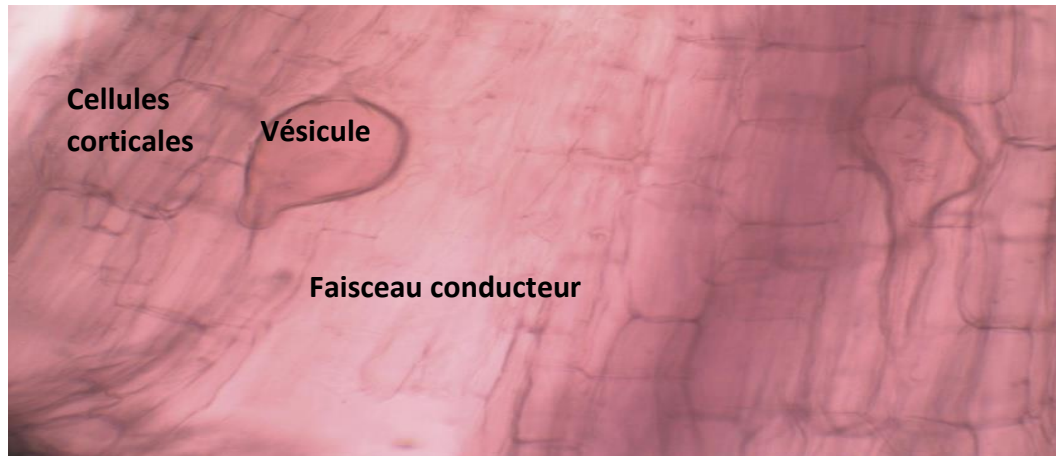


Figure 7 : Résultat des observations microscopiques (x40) d'une racine de *Medicago sativa* L. (Originale)

4.1.3.2- Résultats de dénombrement de l'inoculation mycorhizienne

Suivant à la technique d'observation, le comptage est basé sur le nombre de points rouges observés le long du balayage continu effectué sur les dix segments racinaires.

Les résultats de dénombrement microscopique de la densité mycorhizienne de chaque lame des trois plantes de *Medicago sativa* proviennent de trois sites différents et leurs fréquences sont présentées dans les tableaux suivants :

Plante du site n° 01

Tableau 4 : R1_S1

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Psg2	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Psg3	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1

F : fragment ; Psg: passage

Tableau 5 : R2_S1

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
Psg2	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
Psg3	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1

F : fragment ; Psg: passage

Tableau 6 : R3_S1

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
Psg2	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1
Psg3	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1

F :fragment ;Psg: passage

Plante du site n° 2

Tableau 7 : R1_S2

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
Psg2	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Psg3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0

F : fragment ; Psg: passage

Tableau 8 : R2_S2

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
Psg2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Psg3	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0

F : fragment ; Psg: passage

Tableau 9 : R3_S2

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
Psg2	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Psg3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0

Plante du site n° 3

Tableau 10 : R1_S3

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Psg2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1
Psg3	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0

F : fragment ; Psg: passage

Tableau 11 : R2_S3

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
Psg2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Psg3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0

F : fragment ; Psg: passage

Tableau 12 : R3_S3

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Psg1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0
Psg2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Psg3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0

F :fragment ;Psg: passage

Calcul du pourcentage de colonisation des endomycorhizes

Les résultats obtenus de colonisation des endomycorhizes sont comme suite :

Tableau 13. Pourcentage (%) d'inoculation par les endomycorhizes dans les trois sites étudiés

	Site 1	Site 2	Site 3
Lame 1	87%	80 %	50 %
Lame 2	60 %	67 %	73 %
Lame 3	63 %	47 %	73 %
Moyenne	70 %	64 %	66 %

4.2- Discussion

La mycorhization est sous la dépendance de nombreux facteurs pédologiques se produisant dans le sol. Khawla et Dounia (2020) ont déduit que la nature du sol, elle-même intervient en grande partie dans la détermination de la mycorhization. La texture du sol a également un rôle très important dans la formation des mycorhizes, par exemple dans les terrains sableux peu favorables à la formation des mycorhizes aussi bien ectomycorhize qu'endomycorhizes (Dommergues et Mangenot, 1970). Dans les sols calcaires, les résultats sont presque les mêmes que les sols sablonneux (Boullard, 1968).

Du tableau récapitulatif 13, nous remarquons que les trois plantes présentent des taux de mycorhization supérieurs à 64 % (Fort). Ce résultat peut être dû à la terre arable ou à la saison et nos échantillons menés au mois de Mai.

Nous remarquons également que dans les trois plantes de *Medicago sativa* L. il n'y a pas de différence significative entre les pourcentages moyens de l'inoculation mycorhizienne. Ceci expliqué par l'homogénéité des facteurs abiotiques du milieu d'échantillonnage à savoir ; les propriétés physico-chimiques du sol, la disponibilité de l'eau, le stade du développement de la plante et la physiologie de la plante elle-même.

L'observation microscopique entre les différentes formes fongiques montre une faible présence d'arbuscules, qu'il s'agit de structures bien visibles au microscope optique est très ramifiés, résultant d'une dichotomie répétée, nommées par Gallaudi (1905) arbuscules. Gerdemann en 1964 a démontré que dans les sols pauvres, particulièrement en phosphore, les mycorhizes à arbuscules sont généralement absents; ce qu'explique la rareté de la forme arbusculaire dans notre cas.

Notre résultat s'explique peut-être à l'aide d'Harrison (1999) qui confirme que cette interface cellulaire est considérée comme le site d'échange bidirectionnel des éléments nutritifs entre les deux symbiotes. La durée de vie des arbuscules se limite à quelques jours, après ils deviennent sénescents et se dégradent en laissant la cellule intacte et capable d'intégrer un nouvel arbuscule (Brundrett *et al.*, 1990, Harrison, 1999).

Par contre on a observé une forte présence des vésicules qui sont des structures riches en gouttelettes lipidiques, elles joueraient le rôle d'organes de réserve.

Ainsi que des enroulements d'hyphes joueraient eux aussi le rôle d'organes de réserves du phosphore sous de poly-phosphates, ou l'amélioration de la nutrition phosphatée est le principal avantage de la mycorhization (Bucher, 2007 ; Javot *et al.*, 2007a) à cause de leur mycélium extra-racinaire composé d'hyphes très fins et bien plus longs que les poils absorbants (environ 100 fois plus) (Javot *et al.*, 2007a).

Les taux de mycorhization des racines observées, dans notre étude, paraissent proches, comparés à ceux enregistrés par Diagne et Ingleby (2003) ont mis en évidence la force de l'endomycorhization (> 45%) en utilisant à des sols non ou peu perturbés (Oasis de Gabès) (jusqu'à 100% d'inoculation), où la présence de terres arables permet une activité biologique favorable.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence la présence des champignons endomycorhizes à vésicules et arbuscules (V.A) dans les racines de *Medicago sativum* L.

Au terme de cette étude on conclue que:

- Les plants *Medicago sativa* L cultivés en plein champs ont montré une forte inoculation endomycorhizienne à vésicules élevée et non par les associations arbusculaires ou des hyphes externes.
- Cette forme fongique que l'on retrouve dans des conditions favorables ayant origine des sols des dayas, où les sols sont généralement pauvres surtout en éléments nutritifs à savoir, N, P, K et un faible apport organique.

Comme travail futur, il serait intéressant de continuer et reprendre ces travaux pour mieux comprendre ce phénomène de mycorhizes chez l'espèce fourragère *Medicago sativa* L tout au long de son cycle végétatif.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

Aboelkhair, H., Morsy, M., & El Afandi, G. (2019). Assessment of agroclimatology NASA POWER reanalysis datasets for temperature types and relative humidity at 2 m against ground observations over Egypt. *Advances in Space Research*, 64(1), 129-142

Aissani, A. (1997). Limit distributions for dependent thinning of dissipative point processes. *MicroelectronicsReliability*, 37(2), 267-275

Allen M.F .;Moore T.S.&Chrisinsen M.,(1982). Can.J.Bot.,60,468-471.In colloque de l'I.N.R.A. les mycorhizes, partie intégrante de la plante :biologie et perspective d'utilisation.Dijon,5-6 Mai 1982,397p.

Atkinson D.&Davison A.W.,(1973)New phytol., 88 683-693. In colloque de l'I.N.R.A. les mycorhizes, partie intégrante de la plante :biologie et perspective d'utilisation.Dijon,5-6 Mai 1982,397p.

Baize D., (2000) Teneurs totales en éléments traces métalliques dans lessols (France) Références et stratégies d'interprétation1997, INRA Éditions

Barea JM &Azcon-Aguilar (1983) Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. pp. 1-54 Dans : Advances in agronomy 36 (1992). *Academic Press Inc.* 457p.

Bécard G &Piché Y (1989). New aspects on the acquisition of biotrophic status by a vesicular-arbuscularmycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita*. *New phytologist*112: 77-83.

Benchettouh A. (1999) : Contribution à l'étude de la minéralomasse, de la phénologie et de la mycorhization chez l'Arganier : *Arganiaspinosa* (L.) Skeels. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie : 89 p, ISA, Université de Mostaganem

Benjamin (1979). Cité dans Aissani (1997).

Bischoff,(1987).Cité dans Aissani(1997).

Bonfante&Scannerini,(1979).Cité dans Aissani(1997).

Bouabdelli, Z., Belhadj, S., Smail-Saadoun, N., Mévy, J. P., Notonnier, R., Tonetto, A., ... &Gauquelin, T. (2018). Influence de l'aridité sur la variation de la colonisation mycorrhiziennearbusculaire chez cinq populations naturelles algériennes du pistachier de l'atlas (*pistaciaatlanticadesf.*). *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 73(3), 330-344.

BoullardB . (1968).Les mycorhyzes .Masson et Cie Editeurs ,137p

Boutarfa M., (1993).Essai de mycorhization des céréales (orge ,blé dur)par une espèce de terfez (Timanianivea).Mém.d'Ing.d'Etat I.N.F.S.A.de Mostaganem,68p.

Briat, J. F., & Job, D. (2017). Les sols et la vie souterraine: Des enjeux majeurs en agroécologie. Quae.

Brundrett, M., Murase, G., & Kendrick, B. (1990). Comparative anatomy of roots and mycorrhizae of common Ontario trees. *Canadian Journal of Botany*, 68(3), 551-578.

Bucher, M. 2007. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. *New Phytol.* 173:11-26.

Références Bibliographiques

Chaabena, A. (2001). Situation des cultures fourragères dans le sud-est septentrionale du Sahara algérien et caractérisation de quelques variétés introduites et population sahariennes de la luzerne cultivée, thèse de Magis. Agro. INA EL Harrach, 141 p.

Chaabena, A., & Abdelguerfi, A. (2001). Situation de la luzerne pérenne dans le Sahara et comportement de quelques populations locales et variétés introduites dans le sud-est du Sahara algérien. *Zaragoza et Lleida, Espagne, 12*, 57-60.

Chaussod, R. & Nouaim, R., (1996). Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides. *Cahiers options méditerranéennes, 20*.

Chedjerat, A. (2017). *Comportement de seize cultivars de luzerne pérenne (Medicago sativa L.) conduits en pluvial et en irrigué dans les conditions du Bas Chélif* (Doctoral dissertation, ENSA)

Cheima, K., Khouloud, S., & Ouafia, D. (2020). Etude bibliographique des parasites du sang chez les adultes du Moineau domestique *Passer domesticus* dans la région de Guelma

Chevalier G., (1990). La symbiose mycorhizienne, I.N.R.A., Paris, 12p.

Childers, W.R., (2008). Encyclopédie Canadienne. (<http://www.thecanadianencyclopedia.com>).

Colas, D. (2012). *Etude de la bioraffinerie des plantes vertes: Application au fractionnement des protéines de luzerne par extrusion bi-vis et chromatographie hydrophobe* (Doctoral dissertation).

Coutin, R. (2001). Principaux invertébrés de la Luzerne cultivée. *Rev. Insectes*, (122), 3

Cox G & Sanders F (1974) Ultrastructure of the Host-Fungus Interface in a Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza. *New Phytologist* 73(5): 901-912.

Dalpé, Y. (2005). Les mycorhizes: un outil de protection des plantes mais non une panacée. *Phytoprotection*, 86(1), 53-59.

Dechamplain N., (2002). Les mycorhizes, PISTES/Université Laval, sur site web : https://classeur.pistes.org/chantier/theme/292/champignon_-texte_depart.pdf

Diagne, O., & Ingleby, K. (2003). Ecologie des champignons mycorhiziens arbusculaires infectant *Acacia raddiana*. *Un arbre au désert*, 205-228.

Dickson S (2004) The Arum-Paris Continuum of Mycorrhizal Symbioses. *New Phytologist* 163(1): 187-200.

Djoudi, C., & Sadali, S. (2017). *Effet de la marge sur la symbiose endomycorhizienne chez d'eux culture Tritcum secale et Pisumsativum* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Dommergues Y. & Magenot F., (1970). Ecologie microbienne du sol, Edt, Masson et Cie, 795p.

Références Bibliographiques

Dommergues, Y., Duhoux, E., & Diem, H. G. (1999). Les arbres fixateurs d'azote. *Edition Espace*, 34, 499.

Duclos J.L.,Pepin R.&Bruchet G .,(1983).Etude morphologique anatomique et ultrastructurale d'endomycorhizessynthétiques d'*Erica carnea*.*Can.J.Bot.*61,466-475.

Duddrige J.A.,(1980).structure and fonction of mycorhizalrhizomorphe with spécial reference to their role in water .transport nature,*London-278:565-573*.

Duponnois, Robin, et al. (2012), "La symbiose mycorhizienne et la fertilité des sols dans les zones arides: un outil biologique sous-exploité dans la gestion des terres de la zone sahélo-saharienne." *La Grande Muraille Verte: capitalisation des recherches et valorisation des avoirs locaux (Syntheses)*. Marseille, France : 351-369,

Duru, M., Justes, E., Langlet, A., Tirilly, V., Rouziès, S., Sos, L., & Viard, R. (1993). Comparaison des dynamiques d'apparition et de mortalité des organes de fétuque élevée, dactyle et luzerne (feuilles, talles et tiges). *Agronomie*, 13(4), 237-252

Effa, B. W. E. (2020). *Effets de la symbiose endomycorhizienne sur la tolérance au stress hydrique chez le riz* (Doctoral dissertation, Université Montpellier)

Emberger, L. (1950). Rapport sur les régions arides et semi-arides de l'Afrique du Nord.

Farah, A. K. (2014). Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien, Mémoire Magistère, Univ Constantine, 109 page.

Faurie C., Ferra Ch., Medori P., Deuaun J., Hemptinne J. L., 2003. Ecologie- approche scientifique et pratique. 5ém édition.

Fortas Z.,(1990).Etude de trois espèces de Terfez,caractère culturaux et cytologie du mycélium isolé et associé à *Hélianthemumguttatum*.Thèse doctorat d'etat.univ .Oran,166p.

Fortin JA, Plenchette C &Piché Y (2008) Les mycorhizes : La nouvelle révolution verte. *MultiMondes*. Québec, Canada. 129p.

Fortin, J. A., Plenchette, C., &Piché, Y. (2015). *Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte*. Éditions MultiMondes

Geneves L., (1992).Reproduction et développement des végétaux.Edt.DUNOD paris,p.17.

Gerdemann, J. W. 1964. The effect of mycorrhizae on the growth of maize. *Mycologia* 56:342-349.

Gervais, P., & Girard, J. M. (1987). Influence de la hauteur et de la frequence des coupes sur le rendement, le peuplement, la composition chimique et les reserves nutritives de la luzerne. *Canadian journal of plant science*, 67(3), 735-746

Gianinazzi-Pearson V., (1982)..Importance des mycorhizes dans la nutrition et la physiologie des plantes Edt.I.N.R.AAubl(les colloques de l'I.N.R.A N°13) p51-59.

Gianinazzi-Pearson V., (1990).La mycorhization des végétaux ,une symbiose fracteuse .Technique et culture ,le bien horticole,46:21-27.

Références Bibliographiques

Gildon A. & Tinker P. B., (1983). Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. I. The effects of heavy metals on the development of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *New Phytol.* 95, 247-261.

Gilmore A. E., (1971). The influence of endotrophic mycorrhizae on the growth of peach seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96, 35-38.

Giovannetti M. & Sbrana C. (1998) Meeting a non-host: the behaviour of AM fungi. *Mycorrhiza* 8: 123-130.

Giovannetti M., Avio L., Sbrana C. & Citernesi A. S. (1993) Factors Affecting Appressorium Development in the Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus mosseae*. *New Phytologist* 123(1): 115-122.

Goudiaby, A. O. K., Diédhiou, S., Ndiaye, S., Ndour, N., & Ndiaye, I. (2018). Effet des substrats sur la mycorrhization et la croissance de *Anacardium occidentale* L. en pépinière et des sujets adultes sur les paramètres physico-chimiques du sol.

Grenier, G., Tremolieres, A., Therrien, H. P., & Willemot, C. (1972). Changements dans les lipides de la luzerne en conditions menant à l'endurcissement au froid. *Canadian Journal of Botany*, 50(8), 1681-1689

Hall, (1975). in : Contribution à l'étude des mycorhizes de palmier *dattier phoenia* destvliferal., ACHAB N. et BENMISSOUMF., 1988, D.E.S. USTHB, Algérie.

Hamida Y., (1998). Etudes expérimentales sur la germination de la graine de trois espèces résineuses (pin d'Alep, pin Maritime, pin pignon) et essai de mycorrhization sur les plants issus de semis. *Mém. d'Ing. D'Etat en Agronomie, Institut de Sc. Agr. Univ. de Mostaganem*, 63p.

Harley J. L., (1979). Nutrient absorption by ectomycorrhiza. *Physiol. Veg.* 1978, 16, 533-545.

Harrison, M. 1999. Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 361-389.

Hayman & Mosse, (1972). Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Ann. Eru. phytopathol.* 11: 171-196.

Hnatyszyn, M. et Guais, A. (1988). Les fourrages et l'éleveur. *Agriculture d'aujourd'hui. Science- techniques et application.* 450 p.

Houssni, M., El Mahroussi, M., Sbih, H. B., Kadiri, M., & Ater, M. (2020). Agriculture traditionnelle et agrodiversité dans les oasis du Sud du Maroc: cas des oasis de la région Drâa-Tafilalet. *Bari-Chania-Montpellier-Zaragoza*.

Javaux, M., & Lambert, R. (2018). Réponse du système racinaire de *Dactylis glomerata* et *Medicago sativa* à une contrainte hydrique en culture pure et en association.

Javot, H., Pumplin, N., and Harrison, M. J. 2007a. Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: Transport properties and regulatory roles. *Plant Cell Environ.* 30: 310-322.

Jeder, S., Melki, F., Louati, F., Nouairi, I., Bouamama-Gzara, B., Mhadhbi, H., & Zribi, K. (2021). L'effet de la culture intercalaire vigne-luzerne sur les paramètres biochimiques de la

Références Bibliographiques

vigne sur un sol cadmique The effect of grapevine-alfalfainter cropping on the biochemical parameters of the grapevine on cadmic soil.

Juge C, Coughlan AP, Fortin JA & Piché Y (2000). Growth and branching of asymbiotic, presymbiotic, and extraradical AM fungal hyphae: clarification of concepts and terminology. Dans : Khasa D, Piché Y & Coughlan AP (2009) *Advances in Mycorrhizal Science and Technology*. National Research Council of Canada. Ottawa, Canada. 197p.

Jung G.A. & Larson K.L. (1972) Cold, Drought and heat tolerance. In : *Alfalfa Science and Technology*. (Hanson, ed.) American Society of Agronomy, pp. 185-210

Júnior, W. M., Valeriano, T. T. B., & de Souza Rolim, G. (2019). *EVAPO: A smartphone application to estimate potential evapotranspiration using cloud gridded meteorological data from NASA-POWER system. Computers and Electronics in Agriculture, 156, 187-192.*

Khawla, K., & Dounia, A. (2020). Etude des différents types d'interactions microbiennes avec les plantes légumineuses

Kinden & Bowen (1975). Cité dans AISSANI (1997).

Kormanik, Paul P., W. Craig Bryan, and Richard C. Schultz (1980). "Increasing endomycorrhizal fungus inoculum in forest nursery soil with cover crops." *Southern Journal of Applied Forestry* 4.3 : 151-153.

Lambert DH, Baker DE & Cole Jr. H (1979). The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper, and other Elements. *Soil Science Society of America* 43: 976-680.

Le Tacon, F., Bonneau, M., Gelpe, J., Boisseau, T., & Baradat, P. (1994). Le dépérissement du pin maritime dans les landes de Gascogne à la suite des introductions de graines d'origine ibérique et des grands froids des années 1962-1963 et 1985. *Revue forestière française*, 46(5), 474-484

Lemaire, G., Cruz, P., Gosse, G., & Chartier, M. (1985). Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière sèche d'un peuplement de luzerne (*Medicago sativa* L.). *Agronomie*, 5(8), 685-692.

Letacon F (1985). Les mycorrhizes: une coopération entre plante et champignon. La recherche N°166, p.32.

Louarn, G., Corre-Hellou, G., Fustec, J., Pelzer, E., Julier, B., Litrico, I., ... & Lecomte, C. (2010). Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations agronomiques*, 11, 79-99.

Marzouk, Osama A. (2021) "Assessment of global warming in Al Buraimi, sultanate of Oman based on statistical analysis of NASA POWER data over 39 years, and testing the reliability of NASA POWER against meteorological measurements." *Heliyon* 7.3 : e06625

Mauriès M., (1994). La luzerne aujourd'hui : vaches laitières, vaches allaitantes, brebis, chevaux, chèvres. Ed. France Agricole. Paris 254p.

Mauriès, M. (2003). *La luzerne: culture, récolte, conservation, utilisation*. France Agricole Editions.

Références Bibliographiques

Melis, R. A., Julier, B., Pecetti, L., Thami-Alami, I., Abbas, K., Laouar, M., ... & Porqueddu, C. (2017). La culture de la luzerne dans un climat méditerranéen.

Mortone & Benni F. (1991) Cité dans AISSANI (1997).

Mosse B., (1973). Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza.

Moule, C., & Bustarret, J. (1971). *Fourrages*. la Maison rustique

Mousain D., 1983: -La mycorrhization in-vitro: influence des facteurs nutritionnels et physique sur l'établissement des ectomycorhizes. *Bull.Soc.Bot.Fr.*, p:41-46.

Nouaim R., (1994). Ecologie microbienne des sols d'arganeraies (S.W. Marocain), activités microbiologiques des sols d'arganeraies.

Oukara, F., Chaouia, C., & Assel, A. (2014). Effet du stress salin sur la germination des graines du pistachier de l'Atlas *P. isticia atlantica* D esf

Peterson RL & Bonfante P (1994) Comparative structure of vesicular-arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas. *Plant and Soil* 159: 79-88.

Planchette C., (1990). Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture 4, p:3-39.

Planchette C.; Furlan V. & Fortin J.A., (1982). Responses of endomycorrhizal plants growth in a calcined montmorillonite gley to different levels of soluble phosphorus. I. Effect on growth and mycorrhizal development. *Can.J.Bot.* 61, 1384-1391.

Powell C. L., (1975). Potassium uptake by endotrophic mycorrhizae. In: *Endomycorrhizae* Edt. By F.E. SANDERS, B. MOSSE et P.B. TINKER. Academic press, London, 461-468.

Ramade, F. (1994). Qu'entend-t-on par Biodiversité et quels sont les problématiques et les problèmes inhérents à sa conservation?. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 99(1), 7-18

Rhodes L.H. & Gerdemann J.W., (1978). Translocation of calcium and phosphate by external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Soil.Sc.* 126, 125-126.

Rita A. M. Melis, Bernadette Julier, Luciano Pecetti, Imane Thami-Alami, Khaled Abbas, et al.. (2017). La culture de la luzerne dans un climat méditerranéen. 19 p. fhal-01594651f

Rivaton, Diane (2016). "Étude des champignons mycorrhiziens arbusculaires des sols en systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage: application à la nutrition phosphatée." *Sciences du Vivant*.

Rosewarne GM, Barker SJ & Smith SE (1997) Production of near-synchronous fungal colonization in tomato for developmental and molecular analyses of mycorrhiza. *Mycological research* 101 (8): 966-970.

Routien J.B. & Dawson R.F., (1943). Some interrelationships of growth, salt absorption, respiration and mycorrhizal development in *Pinus echinata*. *Amer.J.Bot.*, 30, 440-451.

Références Bibliographiques

Safir G.R., Boyer J.&Gerdmann J.W., (1971).Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Sc* .172,581-583.

Sahed S. (2017) : Contribution à l'étude de caractéristiques chimiques du sol sous pistachier de l'Atlas (*Pistaciaatlantica*) de Dayate Saadi (HassiDelaâ, Laghouat). Mém. Master Univ. Mouloud Mammeri TiziOuzou. 50p.

Seddiki, S. (2014). *Evaluation du comportement de quelques variétés de luzerne (Medicagosativa L) locales et introduites sous une contrainte hydrique dans une région aride (Ain El hdjel-M'sila)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).

Simon L, Bousquet J, Lévesque RC &Lalonde M (1993) Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* 363: 67-69.

Smith SE, Walker NA & Tester M (1986) The apparent width of the rhizosphere of *Trifoliumsubterraneum L.* for vesicular-arbuscularmycorrhizal infection: Effects of time and other factors. *New Phytologist*104(4): 547-558.

Strullu D.G.,(1985).Les mycorhizes, handbuch du pefranzenanatomie. Gebruderbortrareger, berlin et structgat ,198 p.

Strullu D.G.,(1991).Cité dans NOUAIM(1994).

Strullu D.G.:Gourret J.P.;Garrec J.P.&FouRcy A., (1981).Ultrastructure and electronprobe microanalysis of the metechromatic vesicular granules accuring in taxusmycorrhizae .*New .phytol.*,87,537-545.

Tari M., 2019- Etude comparative entre (*Medicagasativa* et *Medicagaarboria*.)Sur le Plan composition chimique, Mémoire Master, Univ Biskra, 47p.

vesicular –arbuscular on the uptake of uptake of phosphorus -32 by *Liridennontrulipifera* and *Liquidambar ,styraciflua*.*Nature* ,213-106.

Wang B, Qiu YL (2006) Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*16: 299–363.

Site Web

1.<https://www.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sols-theorie>.

Annexe

Annexe

Annexe (Quelques illustrations de méthode de coloration et des observations des mycorhizes chez les racines de l'espèce *Medicagosativa* L.)



Figure 1. *Medicago sativa* L.



Figure 2. Trempage des racines *M.sativa* L. dans l'acide lactique à 10% pendant 5 minutes

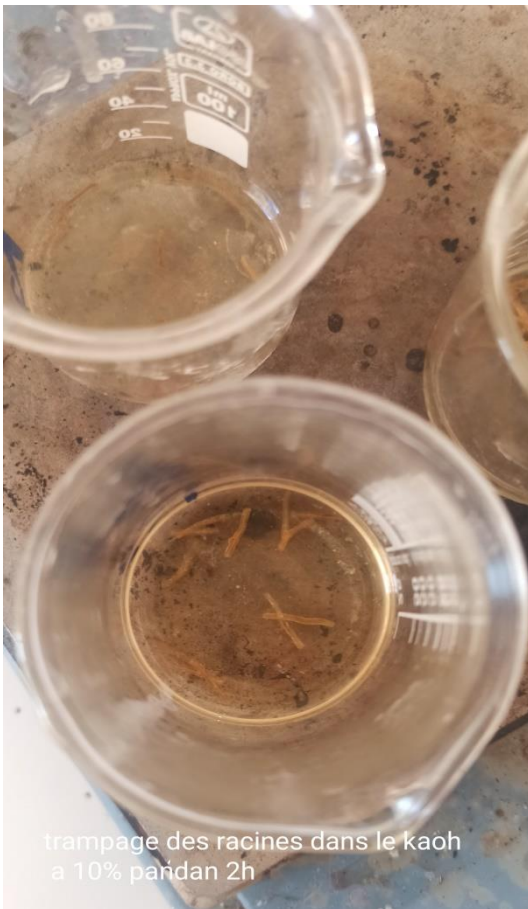


Figure 3. Trempage des racines *M.sativa* L. dans le KOH à 10% pendant 2 heures



Figure 4. Trempage des racines *M.sativa* L. dans l'acide lactique à 10% pendant 5 minutes



Figure 5. Coloration et observation des fragments racinaires.