



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES BIOLOGIQUE

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Zidelkheir Raouane & Gatcha Nour el iméne

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES BIOLOGIQUE

OPTION : Ecologie végétale et environnement

Thème

*Contribution à l'étude de la mycorhization chez
quelques plantes steppiques de la région de
Laghouat*

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
SOUFFI IBTISSEM	MAA	Président
BENCHETOUH AHMED	MCA	Examineur
MALLEM Hamida	MCA	Rapporteur
HEMYEME Halima	-	Co-rapporteur

Promotion : JUIN 2024

Titre : Contribution à l'étude de la mycorhization chez quelques plantes steppiques de la région de Laghouat.

Résumé

Dans les régions arides, les plantes sont soumises aux conditions extrêmes du sol et du climat, malgré cela des plantes arrivent à s'adapter et à croître à l'aide de l'association mycorhizienne avec les champignons arbusculaires présents dans le sol. Nous avons visé par notre étude à rechercher d'éventuelles mycorhization chez des plantes steppiques et aussi de voir l'effet du sol. Nous avons mesuré les paramètres de mycorhization chez : *Astragalus Armatus*, *Rumex Vesicarius L*, *Gazania Linearis (Thunb) Druce* et *Peganum harmala* dans la région de Laghouat, par observation microscopiques après coloration avec le colorant du bleu de trypan, nous avons aussi analysé le sol sous-jacent de chaque espèce. Les résultats obtenus ont indiqué que l'*Astragalus Armatus* et *Rumex Vesicarius L* étaient les espèces les plus fortement colonisées par ces champignons. La présence des limons dans le sol n'a pas favorisé la présence de cette association, alors que les autres paramètres du sol n'ont influencé sur cette mycorhization.

Mots clés : Mycorhizes, Sol, Steppe, *Peganum harmala*, *Astragalus Armatus*, *Rumex Vesicarius L*, *Gazania Linearis (Thunb) Druce*

Title: Contribution to the study of mycorrhization in some steppe plants in the Laghouat region.

Abstract

In arid regions, plants are subjected to extreme soil and climatic conditions. Despite this, some plants manage to adapt and grow with the help of mycorrhizal association with arbuscular fungi present in the soil. Our study aimed to search for possible mycorrhization in steppe plants and also to see the effect of soil. We measured the mycorrhization parameters in *Astragalus Armatus*, *Rumex Vesicarius L*, *Gazania Linearis (Thunb) Druce* and *Peganum harmala* in the Laghouat region, by microscopic observation after staining with trypan blue, we also analyzed the underlying soil of each species. The results obtained indicated that *Astragalus Armatus* and *Rumex Vesicarius L* were the species most heavily colonized by these fungi. The presence of silts in the soil did not favor the presence of this association, while the other soil parameters had no influence on this mycorrhization.

Key Words: Mycorrhizae, Soil, Steppe, *Peganum harmala*, *Astragalus Armatus*, *Rumex Vesicarius L*, *Gazania Linearis (Thunb) Druce*

العنوان: دراسة الارتباط الفطري لدى بعض نباتات السهول في منطقة الأغواط

الملخص :

في المناطق القاحلة، تتعرض النباتات لظروف التربة والمناخ المتطرفة، ومع ذلك، تتمكن بعض النباتات من التكيف والنمو بمساعدة الارتباط الفطري مع الفطريات المتواجدة في التربة. هدفت دراستنا إلى البحث عن أي ارتباطات فطرية محتملة لدى نباتات السهوب، وكذلك إلى دراسة تأثير التربة. قمنا بقياس معايير الارتباط الفطري لدى:

Astragalus Armatus, Rumex Vesicarius L, Gazania Linearis (Thunb) Druce ; Peganum harmala

في منطقة الأغواط، وذلك باستخدام الملاحظات المجهرية بعد التلوين بأزرق التريپان. كما قمنا بتحليل التربة الموجودة تحت كل نوع. أشارت النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن *Astragalus Armatus* و *Rumex Vesicarius L* هما أكثر الأنواع استعماراً لهذه الفطريات. لم تُفضّل وجود الطمي في التربة وجود هذا الارتباط، بينما لم تؤثر باقي معايير التربة على هذا الارتباط الفطري.

الكلمات المفتاحية : السهوب , الفطريات , التربة , الحرمل , الحميض , غازانيا الخطبية , القندال

Remerciements

*Je voudrais dans un premier temps remercier Docteur madame **MALLEM Hamida** de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé, et pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux critiques, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je voudrais remercier aussi Mademoiselle **Hamyeme Halima** ma Co promotrice pour son aide dans la réalisation de ce mémoire ainsi que son expérience personnelle. Elle a été un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.*

Mes vifs remerciements s'adressent aussi au Dr. Soufi Ibtissem d'avoir accepter de présider ce mémoire et pour Ses précieuses remarques.

Dr. Benchettouh Ahmed je vous remercie aimablement pour votre examination dans le but de mieux valoriser notre travail.

Enfin je tiens a remercier tous mes enseignants et l'équipe du laboratoire du département de Biologie et d'agronomie .

Iméne et Raouane



Dédicace

Je dédie ce travail

*À ma petite famille qui m'a
encouragé durant ces années
d'études.*

*À mes chers parents, mes frères et
mes sœurs.*

*À tous mes amis qui m'ont toujours
encouragé, et je trouve à mes côtés.*

*À tous ceux qui ont contribué à ce
travail de près ou de loin, merci
beaucoup.*

Raouane

DÉDICACE

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance
à:

À mes très chers parents « Gatcha Lazhari et Selt Amel »

À mon frère « Mohamed Gatcha »

À mes sœurs « Hiba et Soumia Gatcha »

À mes chers grands-parents « Jido et Tita »

À ma chère tante et à ma sœur aînée « Selt Jihad Afaf »

À mes petites sœurs « Maria et Dania »

À mes amis proches « Allali Maria et Ben Ahmed Fatima et Chemma
Meriem et Raouan Zidelkhir »

À ma chère amie « Halima Hamyeme » Merci de m'aider avec tout.

À ma « Favorite Person »

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude pour vos encouragements et votre soutien moral et même physique, vous avez été les meilleures personnes, merci beaucoup pour tout

Je vous aime.

GATCHA NOUR EL IMENE

Sommaire

I. Résumé	
II. Abstract	
III. ملخص	
IV. Remerciement V. Dédicaces	
VI. Liste Des Abréviations	
VII. Liste Des Figures	
VIII. Liste Des Tableaux	

<u>Introduction</u>	1
---------------------	---

CHAPITRE 1 : La Steppe

1. La Steppe	4
1.1. Définition	4
1.2. La Steppe en Algérie	5
1.2.1. Présentation Géographie	5
1.2.2. Présentation Climatique	5
1.2.3. Présentation Edaphique	6
1.3. Les Caractéristique végétale de la steppe	6
1.3.1. Les steppes à alfa (<i>Stipa tenacissima</i>)	6
1.3.2. Les steppes à armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>)	7
1.3.3. Les steppes à sparte (<i>Lygeum Spartum</i>)	7
1.3.4. Les steppes à remt (<i>Arthrophytum scoparium</i>)	7
- Les steppes à psamophytes	7
- Les steppes à halophytes	7
1.4. causes de degradation de la steppe en Algérie	8
1.4.1. causes naturelles	8
1.4.2. causes anthropiques	9
1.5. Types de plantes étudiées	10
1.5.1. <i>Rumex Vesicarius L</i>	10
1.5.1.1. Classification taxonomique du <i>Rumex Vesicarius L</i>	10
1.5.2. <i>Gazania Linearis (Thunb) Druce</i>	11
1.5.2.1. Classification taxonomique du <i>Gazania Linearis (Thunb) Druce</i>	11
1.5.3. <i>Astragalus Armatus</i>	12

Sommaire

1.5.3.1. Classification taxonomique du <i>Astragalus Armatus</i>	12
1.5.4. <i>Peganum Harmala</i>	13
1.5.4.1. Classification taxonomique du <i>Peganum Harmala</i>	13

CHAPITRE 2 : les mychorise

2.1. Les mycorhizes	14
2.1.1. Historique	14
2.2. Définition	14
2.3. Les types de mycorhizes	15
a. Ectomycorhizes	16
b. Endomycorhizes	17
c. Ectendomycorhizes	18
d. structure des mycorhizes arbusculaires (MA)	18
d.1. Hyphes	19
d.2. Arbuscules	20
d.3. Vésicules	20
2.4. La symbiose mycorhizienne	21
2.5. Role ecologique des champignons mycorhizoennes	22

CHAPITRE 3 : Materiel et méthode

3.1. Présentation des régions d'étude	24
3.2. situation géographique du site d'étude	24
3.3. Echantillonnage des sols sur le terrain	24
3.4. Mesure physico-chimique	25
3.4.1 Mesure de PH	25
3.4.2. Conductivité électrique (CE)	26
3.4.3. Dosage de la matière organique	27
- protocole expérimental (Dosage du carbon organique)	27
3.4.4. Dosage du calcaire total	27
3.4.5. Granulométrie de sol	28
3.5. Mise en évidence de la colonisation endomycorhizienne	29

Sommaire

3.5.1. Eclaircissement	29
3.5.2. Coloration	30
3.5.3. Observation microscopique	30
3.5.4. Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines	31
3.5.5. Analyses statistiques	32

CHAPITRE 4 : Résultats et Discussion

4.1. Résultats	33
1.1. Degré de mycorhization des fragments racinaires	33
4.1.2. Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines	34
a. Fréquence de la mycorhization F%	35
b. Intensité de la mycorhization M%	35
c. Intensité des mycorhization des fragments mycorhizes m%	36
4.1.3. Les analyses chimiques des sols	36
a. Le pH du sol	36
b. La conductivité (CE)	37
c. Calcaire (CaCo3)%	38
d. Matière organique MO%	38
4.1.4. Les analyses physiques des sols	39
a. La granulométrie	39
a.1 Le sable %	39
a.2. Limon %	40
4.1.5 Test de corrélation	41
2. Discussion	42
<u>Conclusion</u>	45
<u>Référence Bibliographie</u>	46
<u>Annexe</u>	

Liste des abréviations

% : Pourcentage

°C : Degrè celsius

A : Astragalus

A : Intensité arbusculaire dans le système racinaire

a : Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée

A : Arbuscule

CE : Conductivité électrique

Cm : Centimètre

CMA : Champignon mycorhize arbusculaire.

Co : Carbone organique

E : East

F : Fréquence

G :Gazania

G : Gramme

H : Hyphe

Ha : Hectare

Km : Kilomètre

M : Mètre

M : Mole

MA : Mycorhize rbusculaires

Mg : Milligramme

Min : Minute

ml : Millilitre

Mm : Millimètre

Mo : Matière organique

N : Nord

P : Peganum

PH : Potentiel hydrogène

R : Rumex

T° : Température

UF : Unité fourrager

V : Vesicule

Liste des figures

N°	liste Des Figures	Page
01	Figure01. Carte mondiale présenté les steppes dans le monde	04
02	Figure02. Carte présenté la steppe Algérienne (<i>N. Dalila, B. Slimane.2008</i>)	05
03	Figure03. Photo présenté l'espèces du <i>Rumex Vesicarius L</i>	10
04	Figure04. Photo présenté l'espèces du <i>Gazania Linearis (Thunb) Druce</i> (<i>Liliane.2024</i>)	11
05	Figure05. Photo présenté l'espèces du <i>Astragalus Siculus Biv</i> (<i>Donatella.2023</i>)	12
06	Figure.06 Photo présenté l'espèces du <i>Peganum Harmala</i> (<i>Shchukin.2021</i>)	13
07	Figure.07 Les différents types de la mycorhization (<i>Source ; Le Tacon ,1985</i>)	16
08	Figure.08 Ectomycorhize. A:coupe transversale B:morphotype d'ectomycorhize (<i>PhotoYves Prin</i>)	17
09	Figure.09 Schéma montrant les différences entre les ecto- et les endomycorhizes arbusculaires (<i>Bonfante et Genre, 2010</i>).	18
10	Figure.10 Schéma de la structure de la mycorhize arbusculaire dans une coupe racinaire (<i>Janotto.2021</i>)	19
11	Figure.11 Hyphes observés dans les racines de féverole (<i>Aghyle © B. Thioye 2018</i>)	19
12	Figure.12 Arbuscules observées dans les racines de féverole (<i>Aghyle © B. Thioye 2018</i>)	20
13	Figure.13 Vésicules observées dans les racines de féverole (<i>Aghyle © B. Thioye 2018</i>)	21
14	Figure.14 Carte de localisation du la faculté de technologie	24
15	Figure.15 Mode de prélèvement du sol sous la végétation et hors vegetation (<i>original 2024</i>)	25
16	Figure.16 Mesure du PH. (<i>original, 2024</i>).	26
17	Figure.17 Mesure du Conductivité électrique (CE). (<i>original, 2024</i>).	26
18	Figure.18 Détermination du calcaire total (<i>original, 2024</i>).	28
19	Figure.19 Les différents tamis utilisés pour le tamisage des sols (<i>original, 2024</i>).	29
20	Figure.20 Eclaircissement des fragments racinaires par KOH. (<i>original, 2024</i>).	30
21	Figure.21 colorant du bleu le trypan (<i>original, 2024</i>).	30
22	Figure.22 Fragments de racines colorés (<i>original, 2024</i>).	31
23	Figure.23 Notation du degré de mycorhization des fragments racinaires	31
24	Figure.24 Notation de l'abondance des arbuscules dans les fragments racinaires d'après (<i>Trouvelot et al 1986</i> .)	32
25	Figure.25 Observation des mycorhizes colorée au bleu de trypan chez	33

Liste des figures

	<i>R. Vesicarius, G. Linearis, A. Siculus, P. harmala (GX40), (Février 2024)</i>	
26	Figure.26 Degré de mycorhization des fragments racinaires	34
27	Figure.27 Paramètres de la mycorhization chez <i>A.armatus</i> et <i>G.linearis</i> , <i>R.vesicarius</i> et <i>P.harmala</i> . (F%, M%, m%, a%, A%)	35
28	Figure.28 pH des sols sous végétation et hors végétation	36
29	Figure.29 La conductivité électrique des sols sous végétation et hors végétation	37
30	Figure.30 Le taux de calcaire des sols sous végétation et hors végétation	38
31	Figure.31 Le taux de la matière organique des sols sous végétation et hors végétation	39
32	Figure.32 Pourcentage des sables dans les sols sous végétation et hors végétation	40
33	Figure.33 Pourcentage des limons dans les sols sous végétation et hors végétation	40
34	Figure.34 Analyse en composantes (ACP) principales démontrant la relation entre les variables du sol et la mycorhization chez les espèces étudiées	44

Liste Des tableaux

N°	Liste Des tableaux	Page
01	Tableau.1. Classification taxonomique du <i>Rumex Vesicarius L</i>	
02	Tableau.2. Classification taxonomique du <i>Gazania Linearis (Thunb) Druce</i>	11
03	Tableau.3. Classification taxonomique du <i>Astragalus Siculus Biv</i>	12
04	Tableau.4. Classification taxonomique du <i>Peganum Harmala</i>	13
05	Tableau.5. Test de corrélation de Pearson entre les variables du sol et la mycorhization	41

INTRODUCTION

Introduction

Les terres arides, qui comprennent les zones sèches subhumides, semi-arides, arides et hyper-arides, couvrent environ 40 % de la surface terrestre (Maestre et al., 2012b). En plus d'abriter 38 % de la population humaine mondiale, les terres arides abritent également environ 20 % des points chauds de biodiversité végétale (Myers et al., 2000). Malgré leur importance régionale et mondiale majeure, les terres arides sont parmi les biomes les plus vulnérables à la dégradation des terres et au changement climatique (Maestre et al., 2012b) en raison de leurs précipitations faibles et variables et de leurs sols pauvres (Reynolds et al., 2007). En 2005, plus de 10 % des terres arides du monde entier étaient considérées comme dégradées (MEA, 2005a) et 12 millions d'hectares supplémentaires se dégradent chaque année (James et al., 2013), ce qui a d'importantes conséquences économiques, écologiques et sociales. Les programmes internationaux reconnaissent largement la restauration des terres arides comme un instrument essentiel pour lutter contre la dégradation mondiale des terres arides et garantir la durabilité mondiale (James et al., 2013).

Comme le couvert végétal dans les terres arides est une variable clé pour contrôler la dégradation et la désertification (Assouline et al., 2015), le choix des espèces végétales est une étape critique pour améliorer le succès de la restauration (Vallejo et al., 2012). Les programmes de restauration utilisent souvent des espèces végétales commerciales à croissance rapide, qui, dans des conditions de sécheresse, produisent des résultats indésirables (Bochet et al., 2010b) car la plupart des espèces commerciales semées disparaissent après la première saison de croissance, et ces espèces ne survivent pas pendant les années de sécheresse défavorables (Bochet et al., 2010a). Ainsi, les espèces indigènes constituent une alternative intéressante pour améliorer le succès de la restauration dans les terres arides car elles contribuent également à la conservation de la biodiversité locale, à l'existence d'écotypes adaptés à des conditions environnementales spécifiques, à la fourniture d'habitats compatibles pour d'autres plantes et animaux indigènes, et à l'amélioration de la colonisation naturelle (Bochet et al., 2010b).

Outre les considérations relatives à la diversité taxonomique (par exemple, espèces végétales commerciales par rapport aux espèces indigènes), dans le cas du bassin méditerranéen, les programmes de restauration les plus efficaces sont ceux qui intègrent également une approche de diversité fonctionnelle (Nunes et al., 2016). Bien que les caractéristiques fonctionnelles aériennes soient largement prises en compte dans la restauration

Introduction

écologique, l'intégration des caractéristiques fonctionnelles souterraines fait encore défaut, alors qu'elle est nécessaire pour mieux prédire les changements de la biodiversité végétale et, par conséquent, du fonctionnement des écosystèmes (Laliberté, 2017). En outre, outre les changements de végétation, les réseaux fonctionnels souterrains nécessitent également une attention particulière, car dans la plupart des cas, la dégradation écologique commence par leur perturbation (Dias et al., 2017).

Les plantes interagissent avec des groupes fonctionnels souterrains (y compris des micro-organismes bénéfiques) qui vivent dans leurs racines et le sol environnant. Ces microbes établissent le microbiome végétal, modulant ainsi le phénotype de la plante et, par conséquent, sa santé et le fonctionnement de l'écosystème (van der Heijden et al., 2015). Les mycorhizes sont probablement l'un des groupes fonctionnels souterrains les plus connus associés aux plantes, et l'un des traits fonctionnels souterrains proposés pour comprendre les conséquences des traits végétaux à l'échelle de l'écosystème (Laliberté, 2017). Les mycorhizes arbusculaires (AM) sont généralement mutualistes, car les ressources du sol et d'autres bénéfiques sont échangés contre des photosynthétats produits par la plante (Smith et Read, 2008). En plus de l'amélioration bien connue de la nutrition des plantes (Dias et al., 2018), les avantages des champignons mycorhiziens arbusculaires (AMF) pour la plante hôte comprennent également la suppression des agents pathogènes (Verbruggen et Kiers, 2010). Par conséquent, les AMF jouent un rôle crucial dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres, en particulier dans les terres arides (Mahmoudi et al., 2020).

Des espèces d'AMF appartenant à divers genres ont été reportées dans des habitats variés du monde entier, par exemple, les prairies, les régions froides, les régions tropicales, les terres cultivées, les prairies, les forêts tropicales et tempérées, les zones alpines, les dunes, les déserts, etc. (Varga et al., 2015). Il convient de noter qu'un petit nombre d'espèces d'AMF sont limitées à des conditions environnementales spécifiques (Rosendahl, 2008). La composition, l'abondance et la diversité des AMF sont affectées par de nombreux facteurs, tels que les variations saisonnières, les caractéristiques édaphiques, les espèces végétales, etc. (Bencherif et al., 2016, Turrini et al., 2017, Wang et al., 2021). C'est à partir de ce contexte que nous avons voulu tester la présence des AMF chez quelques plantes steppiques et d'examiner l'existence d'une mycorhization en fonction des caractéristiques du sol en zone steppique et aride.

Introduction

Notre mémoire est scindé en quatre chapitres, dans le 1^{er} chapitre nous exposons des généralités sur la steppe algérienne, dans le second, nous présentons des informations sur les mycorhizes, le 3eme chapitre est réservé pour décrire la méthodologie adoptée pour obtenir des résultats qui ont été présentés et discutés dans le chapitre 4, et enfin nous terminons notre étude par une conclusion générale et perspectives.

CHAPITRE 01 :

La Steppe

1. La steppe

1.1. Définition

La steppe est connue du grand public pour être une zone au sol fragile et au climat sec, ou en général, semi-désertique, Mais sous forme scientifique elle est, Formation végétale constituée de plantes xérophiiles herbacées ou ligneuses, le plus souvent en touffes espacées, qui croissent sous un climat continental sec en été ou un climat tropical semi-aride (George 1984).

Une autre définition de la steppe est, un écosystème caractérisé par une formation végétale hétérogène discontinue plus au moins dense, composée de plantes herbacées et arbustives xérophiiles de hauteur limitée, et par des sols généralement maigres à faible taux en matière organique (Slimane BENCHERIF 2011).

Le terme steppe évoque d'immenses étendues arides couvertes d'une végétation basse et clairsemée (Bochra 2013).

La dégradation des terres se produit partout dans le monde 72% des secteurs Arides se trouvent dans les pays en développement et seulement 28% se retrouvent dans les Pays industrialisés (PNUE, 2007).

Dans les années 70, la steppe couvrait 80 % des besoins du cheptel, par ailleurs (BOUTONNET ,1989) signale que cette capacité est réduite de près de 10 %, en outre, (LE HOUEROU, 1985) n'estime que le potentiel de production fourragère se serait réduit de 75 % entre 1975 et 1985 (Bedrani et Elloumi ,1994)



Figure01. Carte mondiale présentant les steppes dans le monde

1.2. La steppe en Algérie

1.2.1. Présentation géographique

La steppe Algérienne est située entre les isohyètes 400mm au Nord et 100mm au Sud, formant un ruban 1000 Km de long sur une largeur de 300 Km à l'ouest et au centre, réduit à moins de 150Km à l'Est (HALEM, 1997).

Elle s'étend sur une superficie de 20 millions d'hectares, entre la limite Sud de l'Atlas Tellien au Nord et celle des piémonts Sud de l'Atlas Saharien au Sud (Ministère de l'Agriculture, 1998).

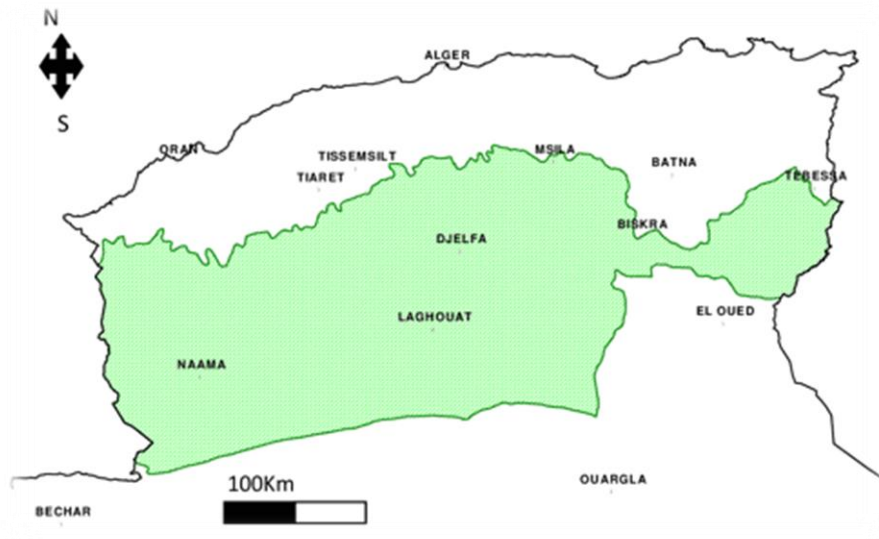


Figure02. Carte présentant la steppe Algérienne (Nedjraoui et Bedrani 2008)

1.2.2. Présentation climatique

Les steppes se caractérisent par un climat de type méditerranéen avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse, fraîche sinon froide. Diminution et irrégularité accrue des pluviosités, augmentation des températures et de la longueur des périodes de sécheresse estivale rendant encore plus difficiles les conditions de développement des plantes avec un bilan hydrique déficitaire (Nedjimi et Guit, 2012).

En général, la pluviométrie moyenne annuelle est faible (entre 100 et 400 mm/an) et sa répartition est irrégulière dans le temps et dans l'espace. Les pluies se caractérisent par leur brutalité (averses) et leurs aspects orageux. Ces deux phénomènes favorisent l'érosion hydrique. Le régime thermique des steppes est du type continental. Selon la classification faite par LE HOUÉROU (2004) (Hatimi, 1988), l'Algérie steppique reste dans son plus grand parti en comprise entre les isothermes +1°C et +3°C, l'amplitude thermique annuelle est généralement supérieure à 20°C. Une autre caractéristique du climat steppique est le vent violent. En effet, celui de l'hiver occasionne des dégâts ; celui de l'été venant du Sahara (sirocco), est le plus catastrophique ; est un vent chaud qui souffle de 20 à 30 jours par an et a des effets dégradants sur la végétation (Nedjimi et Guit 2012)

1.2.3. Présentation édaphique

La plupart des sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile ; ils sont généralement pauvres en matière organique et sensibles à la dégradation. Les bons sols dont la superficie est limitée, se situent au niveau des dépressions (sols d'apport alluvial) soit linéaire et constituées par les lits d'oueds soit fermées et appelées Dayas (Pouget, 1980).

Les sols calcaires et calciques dominant sont caractérisés par une faible profondeur, une croûte calcaire, une teneur en matière organique très faible (inférieur à 1%) et décroissante selon la profondeur alors que le taux de calcaire croit et constitue une entrave au développement des plantes (Nedjimi et Homida, 2006)

La texture est à dominance sableuse imposant une faible stabilité structurale et une faible capacité de rétention en eau ne permettant le développement que d'une végétation xérique adaptée aux conditions du milieu (Benabdeli, 2000).

1.3. Les caractéristiques végétales de la steppe

Les steppes en Algérie sont caractérisées par 4 grands catégories de formations végétales

1.3.1. Les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*)

Dont l'aire potentielle était de 4 millions ha, On les retrouve en effet dans les bioclimats semi-arides à hiver frais et froid dans l'étage aride supérieur à hiver froid. La productivité

pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement végétal (Nedjraoui,2001)

1.3.2. Les steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*)

Elles recouvrent 3 millions ha et sont situées dans les étages arides supérieur et moyen à hiver frais et froid. La production annuelle consommable est de 500 Kg MS/ha, soit une productivité pastorale moyenne de 150 à 200 UF/ha. Les steppes à armoise blanche sont souvent considérées comme les meilleurs parcours utilisés pendant toute l'année et en particulier en mauvaises Saisons. L'armoise est une espèce bien adaptée à la sécheresse et à la pression animal, en particulier la pression ovine (Nedjraoui ,2001)

1.3.3. Les steppes à sparte (*Lygeum spartum*)

Elles représentent 2 millions ha, rarement homogènes, occupant les glacis d'érosion encroûtés d'un voile éolien sur sols bruns calcaires, halomorphes dans la zone la zone des chotts. Ces steppes se trouvent dans les bioclimats arides, supérieurs et moyens à hiver froids et frais. Les steppes à sparte sont peu productives.

Cependant, elles constituent des parcours d'assez bonne qualité. Leur intérêt vient de leur diversité floristique et de leur productivité relativement élevée en espèce annuelles et petites vivaces elle est de 110 UF/ha en moyenne (Nedjraoui,2001)

1.3.4. Les steppes à remt (*Arthrophytum scoparium*)

Elles forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12%. Ces steppes présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La production moyenne annuelle varie de 40 à 80 Kg MS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha /an. (Nedjraoui,2001)

- **les steppes à psamophytes** : Selon Nedjraoui (2001) ces steppes sont liées à la texture sableuse des horizons de surface et aux apports d'origine éolienne. Ces formations occupent une surface estimée à 200.000 hectares. Elles sont plus fréquentes en zones aride et présaharienne. Les formations psamophytes sont généralement des steppes graminéennes ou encore des steppes arbustives

- **les steppes à halophytes** : Ces steppes couvrent environ 1 million d'hectares. La végétation halophile est très appréciée autour des dépressions salées. Les espèces les plus

répandues dans ces formations sont *Atriplex Halimus*, *Atriplex Glauca*. Ce type de steppe est très recherché par les pasteurs et sa valeur pastorale est d'environ 300 UF/ha (Nedjraoui,2001).

1.3. Causes de dégradations de la steppe en Algérie

En raison de l'expansion de la population humaine et animale sur un espace vital de plus en plus restreint, il y a actuellement une surexploitation de ce qui reste des parcours steppiques. L'interaction de deux types de facteurs entraîne la détérioration des parcours.

Des facteurs naturels liés aux conditions du milieu physique en général et des facteurs socio-économiques et anthropiques qui favorisent une action anarchique de l'homme sur l'écosystème.

1.3.1. Causes naturelles

La fragilité de l'écosystème de ces régions est fortement liée aux facteurs naturels qui sont à l'origine de la dégradation des parcours steppiques. Les parcours sont soumis à une dégradation en raison de l'action combinée des facteurs climatiques et édaphiques (Le Houérou, 2004).

En raison de variations climatiques et de la faible protection du sol par la végétation, les risques d'érosion éolienne et hydrique sont forts en steppes arides. Le recouvrement végétal est important en raison de l'érosion et indice de risque érosif. (Nedjraoui et Bedrani,2008).

Les écosystèmes steppiques sont marqués par une grande variabilité interannuelle des précipitations. Les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. L'action de l'érosion éolienne accentue le processus de désertification. Elle varie en fonction de l'importance du couvert végétal (Le Houérou, 2006).

L'érosion hydrique est due en grande partie aux pluies torrentielles qui, sous forme d'orages violents désagrègent les sols peu épais, diminuent leur perméabilité et leur fertilité. Les éléments fins, l'humus et les éléments minéraux sont emportés par le ruissellement qui provoque la formation de rigoles et de ravines entaillant profondément la surface du sol. Comme conséquence directe de ce phénomène d'érosion, un volume de 50 à 250 tonnes par hectare et par an de terre sont ainsi entraînées par le ruissellement sur les sols dénudés à forte pente (Le Houérou , 1995).

1.3.2 Causes anthropiques

L'équilibre des écosystèmes naturels a été fortement perturbé au cours des récentes décennies dans la plupart des régions arides et semi-arides sous l'effet de la modification des systèmes d'exploitation du milieu liée à la transformation des conditions socio-économiques et à l'évolution des techniques de production (Le Houérou, 2002).

En effet, avec l'augmentation de la population et la sédentarisation d'une partie de la population, l'agriculture s'étend rapidement au détriment des meilleures. La végétation naturelle est détruite par des moyens mécaniques de plus en plus puissants dans les zones pastorales. L'augmentation de la pression animale sur les surfaces pastorales de plus en plus restreintes et le prélèvement des produits ligneux pour répondre aux besoins en combustibles aggravent également cette destruction.

Les divers phénomènes ont joué un rôle dans l'augmentation de la vulnérabilité des écosystèmes, la diminution de leur capacité de régénération et la réduction de leur potentiel de production.

Dans les zones les plus vulnérables, la surexploitation des ressources naturelles renouvelables a eu pour effet de favoriser différents processus de dégradation conduisant à une progression rapide de la désertification. L'économie de ces zones est basée sur l'élevage extensif des ovins, ainsi que la culture sporadique de céréales en sec. Le problème majeur auquel l'élevage fait face dans ces zones est la rareté et l'irrégularité des ressources alimentaires. La production animale des ruminants dans les zones arides se caractérise par des crises périodiques dues à des disettes résultant de la sécheresse (Le Houérou, 2006.).

Étant donné la détérioration croissante des écosystèmes naturels et la pression élevée exercée par les êtres humains et les animaux sur ces écosystèmes, il est essentiel de recourir à des techniques récentes d'aménagement et de gestion des terres pour assurer la reconstitution du couvert végétal. Ces méthodes reposent sur l'exploitation astucieuse des eaux de pluie et l'introduction d'espèces ligneuses qui favorisent à la fois l'augmentation de la production et la préservation des sols contre l'érosion.

La dégradation des parcours steppiques due aux phénomènes naturels est amplifiée par la pression croissante que l'homme et ses troupeaux exercent sur ces écosystèmes, ce qui accélère le processus de dégradation des végétations steppiques. La sédentarisation des

éleveurs, la situation du foncier ainsi que celle du marché de la viande et des céréales incitent au développement des formes d'exploitation dite minière des steppes (Benabdeli, 2000).

1.4. Présentation de quelques plantes steppiques

Dans ce mémoire notre étude a été visée sur des plantes de quatre familles différentes, à savoir : Polygonaceae, Asteraceae, Fabaceae, Tetradiclidaceae.

1.4.1. *Rumex Vesicarius L*

Herbe annuelle presque charnue, dressée ou retombante, formant des touffes denses, de 10-30 voire 45 cm de haut. Tiges ramifiées dès la base. Feuilles pétiolées, de forme ovoïde-deltaïde, de couleur rose vif virant au brun foncé à la dessiccation, elles peuvent atteindre plus de 1 centimètre de diamètre (Ozenda 1991).



Figure03. Photo présentant l'espèce du *Rumex Vesicarius L*.

1.4.1.1 classification taxonomique du *Rumex Vesicarius L*

Le tableau 1 présente la classification taxonomique du *Rumex Vesicarius L*.

Tableau.1. Classification taxonomique du *Rumex Vesicarius L*. (site web GBIF)

Règne	<i>Plantae</i>
phylum	<i>Tracheophyta</i>
Classe	<i>Magoliopsida</i>
Ordre	<i>caryophyllales</i>
famille	<i>Polygonaceae</i>
Genre	<i>Rumex L</i>

1.4.2. *Gazania Linearis (Thunb) Druce*

Plante annuelle ou vivace de Origine Afrique du Sud , Hauteur 15 à 25 cm , Ne fleurissant que sous un fort ensoleillement, le gazania est aussi très utilisé pour savoir s'il va faire beau ou pas, dans la journée .



Figure04. Photo présentant *Gazania Linearis (Thunb) Druce* (Liliane.2024)

1.4.2.1 Classification taxonomique du *Gazania Linearis (Thunb) Druce*

Dans le tableau 2 est présentée la classification taxonomique du *Gazania Linearis (Thunb) Druce* selon le site web GBIF

Tableau.2. Classification taxonomique du *Gazania Linearis (Thunb) Druce*

Règne	Plantae
Phylum	<i>Tracheophyta</i>
Classe	<i>Mangoliopsida</i>
Ordre	<i>Asterales</i>
Famille	<i>Asteraceae</i>
Genre	<i>Gazania</i>

1.4.3. *Astragalus armatus*

C'est une chaméphyte, très rameuse, pouvant atteindre 1 mètre de hauteur. Cette espèce est très épineuse, le rachis des feuilles se transforme en épine acérée après la chute des folioles, c'est une plante spontanée, elle est répandue dans les régions arides, semi arides et sahariennes

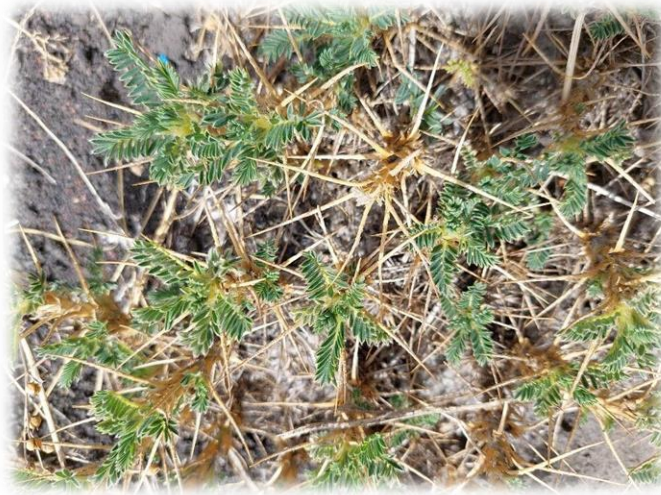


Figure05. Photo présentant l'espèce de *Astragalus armatus*

1.4.3.1 Classification taxonomique du *Astragalus armatus*

Ci-dessous le tableau 3 qui représente la classification taxonomique du *Astragalus armatus* selon le site web GBIF

Tableau.3. Classification taxonomique du *Astragalus armatus*

Règne	Plantae
Phylum	<i>Tracheophyta</i>
Classe	<i>Dicotylédones</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Fabaceae</i>
Genre	<i>Astragalus</i>

1.4.4 *Peganum harmala*

Le harmel est une plante vivace qui forme des touffes hémisphériques de 30 ou 40cm de haut. Il se reconnaît à la couleur vert-vif de son feuillage et à ses fleurs blanches à 5 pétales



Figure.06 Photo présentant l'espèce du *Peganum Harmala* (Shchukin.2021)

1.4.3.1 Classification taxonomique du *Peganum harmala*

ci-dessous le tableau 4 qui représente la classification taxonomique du *Peganum Harmala* selon le site web GBIF

Tableau.4. Classification taxonomique du *Peganum harmala*

Règne	Plantae
Phylum	<i>Tracheophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Sapindales</i>
Famille	<i>Tetradiclidaceae</i>
Genre	<i>Peganum L</i>

CHAPITRE 02 :

Les Mycorhizes

2. Les mycorhizes

2.1. 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. Cette association, ou symbiose, se nomme mycorhize (Dechemplain,2002).

Au début des années 1840, le forestier allemand Theodor Hartig observe au microscope les racines fines de différentes espèces d'arbres et en décrit la structure. Ses dessins montrent un entrelacs compact de cellules qui s'immiscent entre les cellules du cortex racinaire (Hartig, 1840). Alors qu'il ignore la nature fongique de ce réseau cellulaire, Hartig vient à son insu de dévoiler une alliance fondamentale entre plantes et champignons. D'autres biologistes font des observations similaires au cours du XIXe siècle et finissent par révéler l'identité fongique de l'organisme colonisant ainsi les racines des arbres. C'est finalement le botaniste allemand Albert Bernhard Frank qui en 1885 synthétise ces travaux et propose le terme mycorhize

Il faut cependant attendre le milieu du 20e siècle pour qu'en Angleterre, à Oxford, JohnLaker Harley et son groupe démontrent les mécanismes physiologiques par lesquels Les champignons peuvent extraire du carbone et de l'énergie des racines des arbres qu'ils colonisent. Il a également montré comment les champignons mycorhizes sont impliqués dans l'absorption des minéraux du sol. Au même moment et au même endroit, ce fut au tour de Barbara Mosse de mettre en lumière le rôle des MA chez la plupart d'espèces végétales du monde, y inclus la presque totalité des plantes agricoles (Frank, 1885).

2.2. Définition

Le terme des mycorhizes vient du grec "mukes", qui signifie champignon et "rhiza," qui veut dire racine (Sahraoui, 2013). Les associations symbiotiques entre des phanérogames et certains champignons, qui se rencontrent chez 90 % des taxons végétaux (Mousain et al., 1997).

La diversité végétale est entre 220 000 et 420 000 espèces de plantes terrestres (Scotland et al., 2003). D'après l'examen de plus de 10 000 espèces, en majorité des angiospermes, des structures mycorhiziennes ont été observées chez 86 % d'entre elles (Brundrett, 2009 ; Tedersoo et al., 2010)

Les mycorhizes constituent un réseau de filaments connectés aux racines des végétaux qui extraient des nutriments du sol qui, autrement, ne seraient pas disponible pour le système racinaire. Les champignons et les plantes s'associent pour stimuler la croissance et encourager le développement rapide des racines.

Autrement dit, il s'agit d'une racine colonisée par un champignon mycorhizien qui a altéré sa forme. Effectivement, le champignon recouvre l'extrémité des radicelles d'un tissu de filaments épais (le mycélium). Ainsi se présente le manteau fongique. Par conséquent, le terme « mycorhize » désigne une association entre un champignon et les racines d'une plante. En réalité, cette alliance est le fruit d'un accord mutuel entre la plante et le champignon.

Les mycorhizes sont des unions durables basées sur des échanges réciproques de métabolites entre les racines des végétaux et certains champignons présents dans le sol. Le nouvel organe mixte est formé de tissus de la plante hôte et du champignon mycorhizien (ou symbiote fongique) et chaque partenaire optimise son développement grâce à cette symbiose (Châtaigner et Duponnois, 2017).

2.3. Les types de mycorhizes

D'après la morphologie de l'organe résultant de l'association plante – symbiote fongique , on distingue différentes formes de mycorhizes : l'ectomycorhize (mycorhize externe) et l'endomycorhize (mycorhize interne) et l'écendomycorhizes. Les champignons ectomycorhizes se retrouvent essentiellement sur les arbres et forment des structures visibles alors que les champignons endomycorhizes colonisent les arbres aussi bien que les arbustes et la plupart des plantes herbacées et ne forment pas de structures visibles. D'autres types de mycorhizes colonisent les orchidées et les plantes de la famille des éricacées (Fortin et al.,2008).

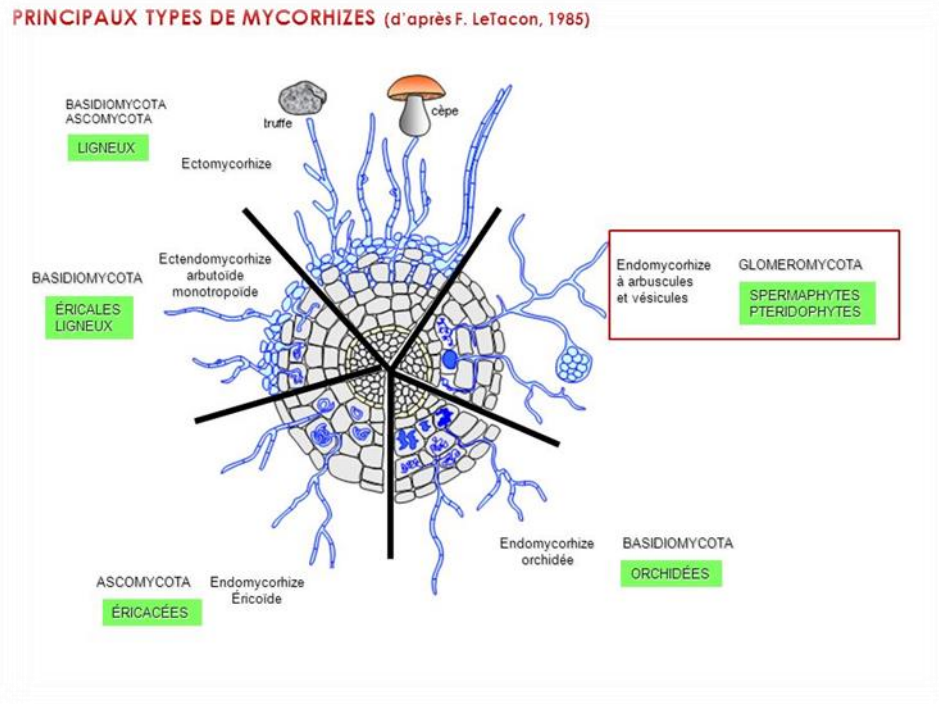


Figure 07 : Les différents types de la mycorhization (Le Tacon ,1985)

a. Les ectomycorhizes

La symbiose ectomycorhizienne ne concerne que 3 % des espèces végétales (Mousain, 1991) Les champignons ectomycorhizes appartiennent aux ascomycètes et surtout aux basidiomycètes. C'est plus de 25 000 espèces de plantes vasculaires qui portent ce type de mycorhize (Fortin et al, 2008)

(Du grec *ektos* à l'extérieur) où les champignons se développent essentiellement autour de la racine, en formant un manchon mycélien (le manteau) à partir duquel se développent des hyphes qui s'insèrent entre les cellules corticales de la racine (réseau de Hartig)

Ce type d'association est principalement représenté chez les essences forestières des régions tempérées, méditerranéennes et boréales, mais il a été également décrit chez quelques espèces tropicales de la famille des Dipterocarpaceae, Euphorbiaceae, Cesalpinaceae, Myrtaceae et Fagaceae).

L'éctomycorhize naît de la rencontre entre des hyphes d'un champignon mycorhizien et des racines d'une plante, il ne se forme qu'avec des arbres forestiers comme le pin, le sapin, le bouleau, l'épinette et principalement avec les résineux (arbres produisant de la

résine comme certains conifères tels que le pin, le sapin, le thuya, etc.). Chez les éctomycorhizes, les hyphes s'infiltrent 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.

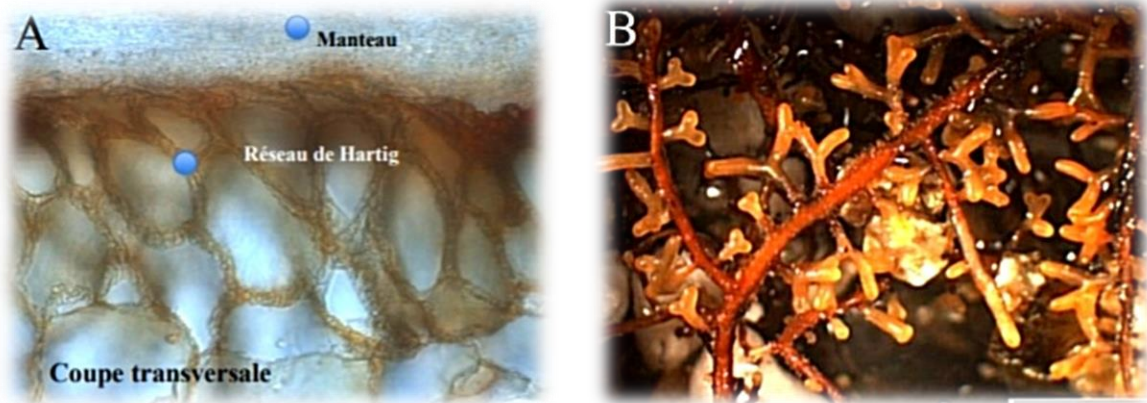


Figure 08 Ectomycorhize. A : coupe transversale. B : morphotype d'ectomycorhize (PhotoYves Prin...)

b. Endomycorhizes

La première symbiose mycorhizienne avec les plantes a été l'endomycorhize. Il y a environ 400 millions d'années, c'est celle qui a permis aux végétaux de sortir de l'eau. Elle est issue de champignons microscopiques dont les hyphes ont la capacité de pénétrer dans les cellules de la racine de la plante (Fortin et al., 2008). Le champignon n'a jamais de « chapeau » comme les ectomycorhizes et les hyphes n'ont pas de manchon autour des racines. Les hyphes constituent dans les cellules végétales une structure, dite « arbuscule » (Nadia Dechamplain 2002)

Deux types d'endomycorhize sont présents ; arbusculaire et vésiculaire. On observe principalement cette association chez les plantes cultivées, mais également chez certains arbres forestiers tels que l'if et l'érable à sucre, ainsi que chez plusieurs petites plantes des sous-bois. On distingue aussi l'endomycorhizes à pelotons d'hyphes cloisonnés Formées par les champignons supérieurs Ascomycètes ou Basidiomycètes, qui pénètrent à l'intérieur des cellules corticales de la racine formant ainsi des pelotons. - Formées par deux (2) groupes de végétaux les orchidées et les éricacées (Strullu, 1991)

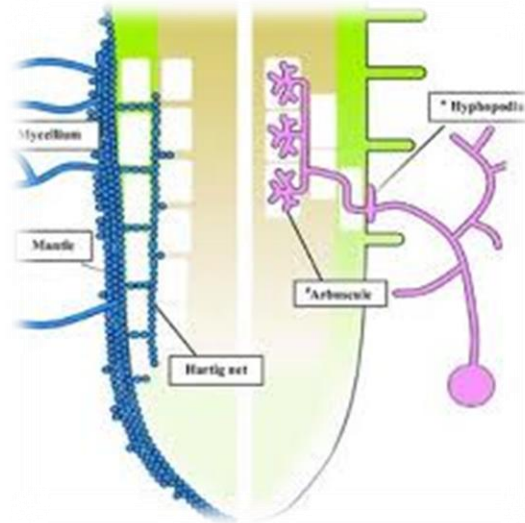


Figure 09 Schéma montrant les différences entre les ecto- et les endomycorhizes arbusculaires (Bonfante et Genre, 2010).

c. Ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes sont des formes intermédiaires qui possèdent à la fois les caractéristiques des ectomycorhizes, c'est-à-dire, un réseau de Hartig bien développé et un manteau fongique plus ou moins épais, ou absent dans quelques cas, et les caractéristiques des endomycorhizes soit, la pénétration à l'intérieur des cellules corticales par les hyphes (Yu et al., 2001).

d. Structures des Mycorhizes arbusculaires (MA)

Le champignon mycorhizien à arbuscule forme plusieurs structures à l'intérieur des racines, principalement des arbuscules, des vésicules, des spores et des hyphes, Le terme propagule est utilisé pour les désigner puisque toutes ces structures servent à propager l'espèce (Fortin et al, 2008).

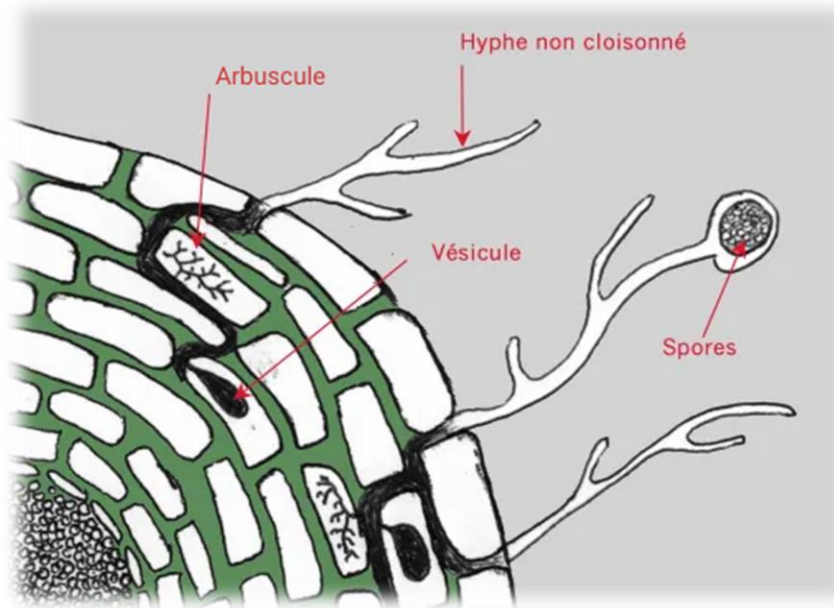


Figure.10 Schéma de la structure de la mycorhize arbusculaire dans une coupe racinaire (Janotto.2021)

d.1. Hyphes

Les hyphes sont des filaments mycéliens intra ou extra-racinaires permettant aux champignons d'explorer le sol et de coloniser la plante hôte. Le mycélium intracellulaire est en relation avec des hyphes externes à la racine qui diffusent dans le sol. Elles augmentent ainsi considérablement le volume de sol exploré par la racine (Luttge et al., 2002).

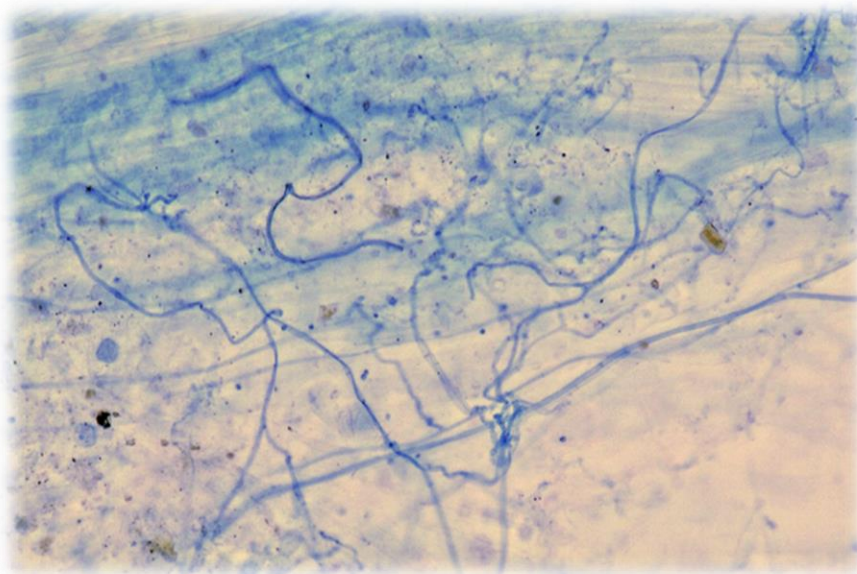


Figure.11 Hyphes observés dans les racines de féverole (Aghyle © B. Thioye 2018)

d.2. Arbuscules

L'arbuscule est l'unité d'échange entre la plante hôte et le champignon .C'est la ramification latérale des hyphes fongiques dans les cellules du cortex racinaire où le champignon pénètre et se développe. La membrane de la cellule hôte invagine et enveloppe le champignon. Le rôle des arbuscules est d'augmenter de 2 à 3 fois la surface de contact entre les cellules et les hyphes. Leur durée de vie moyenne est estimée à 8 jours avant d'entrer en sénescence et d'être complètement éliminées des cellules végétales, retournant à leur état initial (Javot et al, 2007).

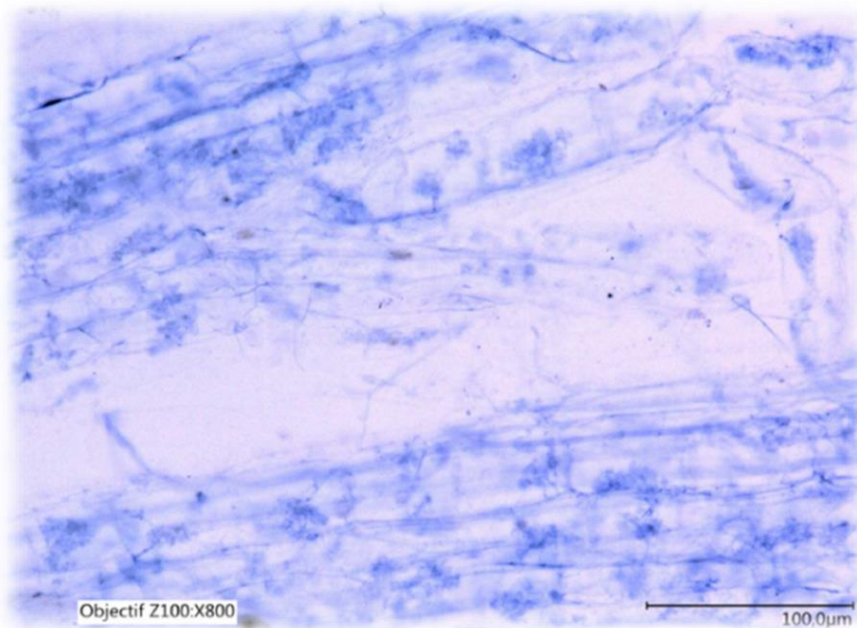


Figure.12 Arbuscules observées dans les racines de féverole (Aghyle © B. Thioye 2018)

d.3. Vésicules

Les vésicules sont des structures de stockage qui sont des renflements sphériques formés par des champignons symbiotiques, généralement localisés dans l'espace intercellulaire et parfois aussi dans certaines cellules du cortex racinaire (Garbaye, 2013).

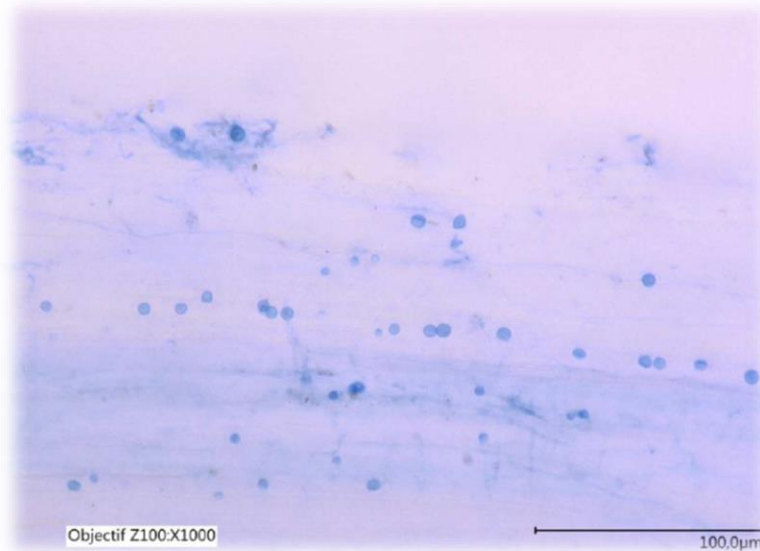


Figure.13 Vésicules observées dans les racines de féverole (Aghyle © B. Thioye 2018)

4. La symbiose mycorhizienne

Les mycorhizes résultent d'une union durable basée sur des échanges réciproques entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Elles constituent des composantes essentielles dans la relation sol-plantes-microorganismes. En effet, certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans s'associer à un partenaire fongique (Gobat et al., 2003). La diversité végétale est entre 220 000 et 420 000 espèces de plantes terrestres (Scotland et al., 2003). D'après l'examen de plus de 10 000 espèces, en majorité des angiospermes, des structures mycorhiziennes ont été observées chez 86 % d'entre elles (Tedersoo et al., 2010).

Le nouvel organe mixte résulte de l'association intime de la plante hôte et du champignon mycorhizien et chaque partenaire optimise son développement grâce à cette symbiose. Les racines de plus de 80 % des espèces de plantes vasculaires présentent ou sont susceptibles de présenter des structures mycorhiziennes au sein de leur système racinaire.

Mycorhizes est donc un phénomène général chez les plantes à l'exception de quelques familles comme les Brassicaceae, les Caryophyllaceae, les Cyperaceae, les Juncaceae, les Chenopodiaceae et les Amaranthaceae qui présentent très peu d'associations mycorhiziennes (Norman et al., 1995). Leur impact est primordial dans tout ou partie du cycle de la plante, surtout, mais non exclusivement, pour la nutrition. Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante via la photosynthèse et qui sont indispensables à son

métabolisme et à sa fructification. En retour, les hyphes fongiques améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté et à la production de divers enzymes extracellulaires (protéinases, phosphatases, etc.) susceptibles de mobiliser des éléments nutritifs à partir de composés complexes du sol (Gobat et al., 2003).

5. Role Ecologique des Champignons Mycorhiziens

La symbiose mycorhizienne favorise le prélèvement et le transport vers la plante des éléments minéraux nutritifs très peu mobiles dans le sol comme le phosphore (Lambers et al., 2008). En fonction du pH du sol, cet élément se retrouve en grande partie immobilisé par le fer, l'aluminium ou le calcium sous des formes difficilement accessibles par les plantes (Hinsinger, 2001). L'exploration du volume du sol par le mycélium extramatriciel et sa capacité à mobiliser des éléments nutritifs à partir des minéraux primaires favorisent la nutrition phosphatée des plantes (Landeweert et al., 2001). Cette amélioration de la nutrition minérale des plantes concerne également d'autres macroéléments (N, K) et oligoéléments (B, Br, Cl, Cu, Cr, Cs, Co, Fe, Mo, Mn, Ni, Si, Zn) (He et Nara, 2007). Ces associations mycorhiziennes jouent également un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique tellurique et mobilisent les nutriments au bénéfice de la plante hôte (Lambers et al., 2008).

L'amélioration de la nutrition hydrique des plantes grâce à la symbiose mycorhizienne a également été déterminée et cet effet « mycorhize » est attribué à une meilleure utilisation de l'eau par la plante en raison du volume de sol exploré par les hyphes mycéliens (Auge, 2001).

De nombreux résultats de recherche attribuent à la symbiose mycorhizienne un effet bioprotecteur via une réduction de l'effet pathogène de certains agents phytoparasites (St-Arnaud et al., 1997) et une meilleure tolérance des plantes mycorhizées aux stress induits par les éléments traces métalliques ou par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Joner et Leyval, 2003). Parallèlement, une nette amélioration de la structure du sol a souvent été observée en présence des mycorhizes. Le vaste réseau d'hyphes extramatriciels et leur capacité à produire des molécules agrégeantes 32 comme la glycoprotéine nommée glomaline, dans le cas de la symbiose mycorhizienne à arbuscules, permet une meilleure stabilisation du sol par la formation d'agrégats beaucoup plus stables (Rillig et Mummey, 2006).

Les associations mycorhiziennes jouent un rôle clef dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres en intervenant fortement dans les mécanismes régissant l'évolution spatio-temporelle des écosystèmes. En effet, la présence de plantes supportant déjà des structures mycorhiziennes a été décrite comme un moyen très efficace pour assurer la régénération de l'espèce végétale en facilitant notamment l'infection des jeunes plants et en conséquence leur survie, dans des conditions du milieu souvent hostiles (Simard et Durall, 2004). Les champignons mycorhiziens favorisent la coexistence entre plusieurs espèces végétales, améliorant ainsi la productivité et la biodiversité végétales dans ces écosystèmes (Kisa et al., 2007). Certains auteurs ont montré qu'il existait un transfert de métabolites via des ponts mycéliens créé par le réseau d'hyphes Qconnectant plusieurs plantes de la même et/ou d'espèces différentes (Simard et Durall, 2004). Par ailleurs, les associations mycorhiziennes sont fortement impliquées dans la dynamique des successions végétales. En début de succession, marquées par une pauvreté du sol en propagules mycorhiziennes, ce sont les espèces végétales qui dépendent peu de cette symbiose qui s'installeront. Par la suite, avec l'enrichissement du sol en structures mycorhiziennes et son appauvrissement en éléments nutritifs, les espèces présentant une mycotrophie plus importante leur succéderont avec une forte corrélation positive entre les biodiversités fongique et végétale (Hart et al., 2003).

CHAPITRE 03 :

Matériel et Méthodes

3.1. Présentation des régions d'étude

Pour atteindre notre objectif nous avons choisi la région de l'Université Amar Thelidji dans la wilaya de Laghouat, ce choix a été fait aléatoirement selon la présence des plantes étudiées, et ce par simple observation.

3.2. Situation géographique du site d'étude

Dans l'sud-ouest de la Wilaya de Laghouat (le cheflieu), se trouve le nouveau pôle de l'Université Amar Thalidji, qui est bordée au nord par les commune El Hajeb et Oued M'zi et au le sud de la commune de Belil, à l'ouest la commune de El Houaita , El Assafia dans le Est et les coordonnées de notre zone d'étude sont position sud-ouest , ($33.8^{\circ} 2.8^{\circ}$)



Figure.14 Carte de localisation de la faculté de technologie site d'étude

3.3 Echantillonnage des sols sur le terrain

Le prélèvement des sols sous la végétation des espèces étudiées *Rumex Vesicarius L* et *Gazania Linearis (Thunb) Druce* et *Astragalus Armatus* et *Peganum Harmala* des sols dépourvus de végétation, a été réalisé au mois Février et Avril 2023. Nous avons pris 3 répétitions de chacune de ces plantes avec leur sol où les prélèvements étaient de 15 cm à 20 cm de profondeur. Le poids des échantillons était de 500 grammes du sol, nous avons prélevé des parties racinaires de chaque plante avec son sol correspondant. Conservés dans des sacs en plastique stériles contenant des renseignements sur les échantillons. Puis nous avons transféré les sacs directement au laboratoire. Pour l'examen des mycorhizes, la quantité de racines que nous avons prélevée était également suffisante pour effectuer des observations microscopiques des mycorhizes et calculer leur taux dans la plante.

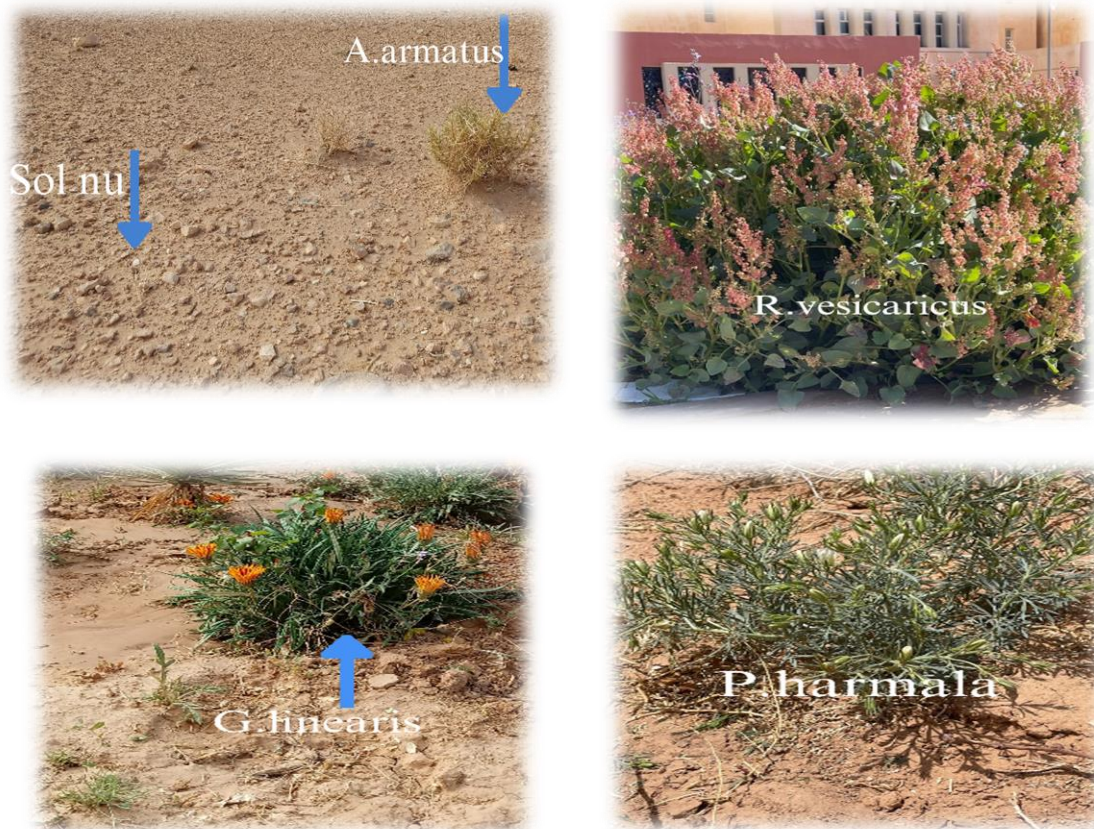


Figure.15 Mode de prélèvement du sol sous la végétation et hors végétation. (Originale 2024)

3.4. Analyses physico-chimiques du sol

3.4.1 Mesure du pH

La mesure du pH a été effectuée sur un extrait de 1/5 par la méthode électro métrique à l'aide d'un pH-mètre de laboratoire (Mathieu et Pieltain, 2009).

Mode opératoire (Figure.16)

- Prendre 10 g de terre fine plus 50 ml d'eau distillée ;
- Agiter 5 minutes puis laisser reposer 30 minutes ;
- Filtrer la solution dans erlenmeyer
- Introduire l'électrode dans le surnageant
- Lire le chiffre dès que la solution soit stable.



Figure.16 Mesure du pH. (Original, 2024).

3.4.2 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et la nature des sels présents dans ce sol (Guessoum, 2001).

Mode opératoire Figure.17

- Peser 10 g du sol plus 50 ml d'eau distillée ;
- Agiter 5 minutes puis laisser reposer 30 minutes ;
- Filtrer la solution dans un erlenmeyer ;
- plonger l'électrode de Conductimètre et lire le chiffre de la conductivité.

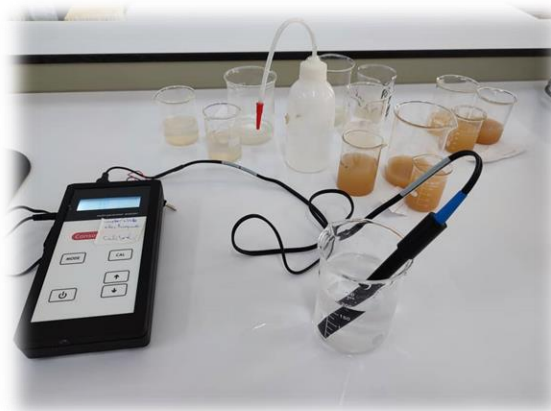


Figure.17 Mesure du Conductivité électrique (CE). (Original, 2024).

4.3 Dosage de la matière organique

La détermination du taux de matière organique d'un sol est réalisée indirectement, à partir du dosage de la teneur en carbone organique, suivant la méthode normalisée internationale NF ISO 14235. Le taux de matière organique est calculé en multipliant la teneur en carbone par un coefficient stable dans les sols cultivés régionaux, fixé à 1,724

$$\text{MO (\%)} = \text{C (\%)} \times 1,724$$

La matière organique peut être dosée par plusieurs méthodes WALKLEY et BLACK ou méthode d'Anne (oxydation du carbone par un mélange sulfo-chloromique à froid et titrage de l'excès de bichromate par le sel de Mohr.

Comme elle peut être déterminée par la méthode d'incinération appelée aussi détermination par perte au feu.

3.4.4 Dosage du calcaire total

Mode opératoire (Figure.18)

- Peser exactement 1 g de terre fine et la mettre dans le flacon
- Remplir au $\frac{3}{4}$ l'appendice latéral du flacon de HCL
- Relier le flacon au calcimètre
- Amener au zéro les niveaux de l'eau dans la colonne et dans l'ampoule
- Verser l'acide sur la terre et à l'aide de l'ampoule, rétablir le niveau et lire le volume V de CO₂ dégagé
- Pour le témoin, nous prenons 0,3g de CaCO₃ au lieu de prendre 1g de terre.



Le volume du CO₂ dégagé est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium existante dans l'échantillon analysé

$$\text{Taux de CaCO}_3 \text{ en \%} = \frac{(P' \cdot v)}{(P \cdot V)} \cdot 100$$

- P poids de l'échantillon (en gramme).
- P' poids de CaCO₃.
- V volume de CO₂ dégagé par l'échantillon.
- v volume de CO₂ dégagé par CaCO₃.

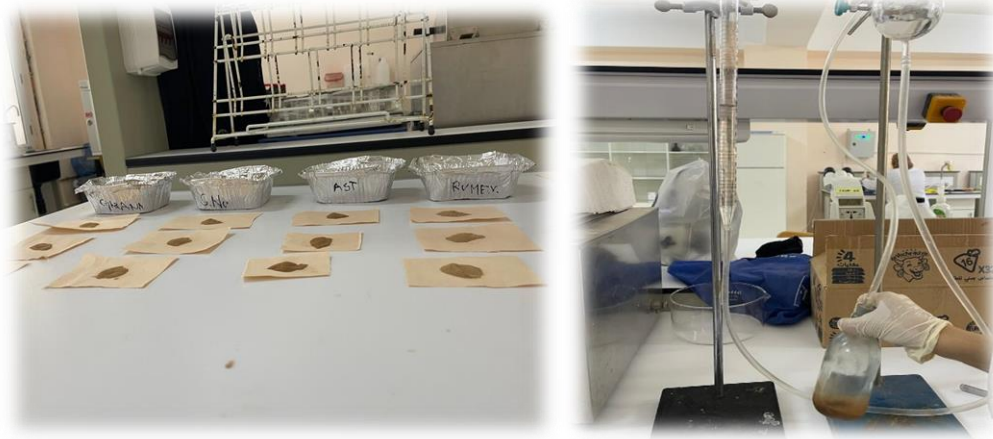


Figure.18 Détermination du calcaire total (original, 2024).

4.5 Granulométrie de sol

L'analyse granulométrique permet de déterminer les proportions minérales du sol et de définir la texture des sols (Aubert, 1978). Dans la présente étude, la méthode a été faite par tamisage, des tamis de mailles 500 à 100 μm pour les éléments grossiers, et par sédimentation pour les éléments fins (limons et argiles).

Le tamisage par voie sèche consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Nous avons placé 350 g dans le tamis supérieur et le classement des grains s'obtient par vibration de l'ensemble de la colonne des tamis (**figure 19**).



Figure.19 Les différents tamis utilisés pour le tamisage des sols (original, 2024).

3.5. Mise en évidence de la colonisation endomycorhizienne

Dans les racines, la mise en évidence de la colonisation endomycorhizienne est réalisée grâce à une adaptation de la technique de PHILLIPS et HAYMAN (1970). Cette technique est réalisée en trois étapes l'éclaircissement des racines, la coloration des champignons et en fin l'observation au microscope photonique.

3.5.1 Eclaircissement

Les racines échantillonnées sont d'abord soigneusement lavées pour éliminer toute trace de particules de terre, coupées en fragments d'environ 1 cm de longueur (Figure.20). Les fragments racinaires sont éclaircis dans une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 10% à chaud (à 90°C) pendant une heure. Après rinçage à l'eau, les racines sont plongées quelques minutes dans l'acide lactique à 10 % pour neutraliser le KOH restant. Cette étape permet l'élimination des constituants intracellulaires facilitant ainsi l'observation des structures des champignons endomycorhiziens à l'intérieur des racines.



Figure.20 Eclaircissement des fragments racinaires par KOH. (original, 2024).

3.5.2 Coloration

Les racines éclaircies sont colorées pendant 20min à 90°C par le bleu de Trypan à 0,05%. Un rinçage suit cette étape dans le but d'éliminer le surplus de colorant.

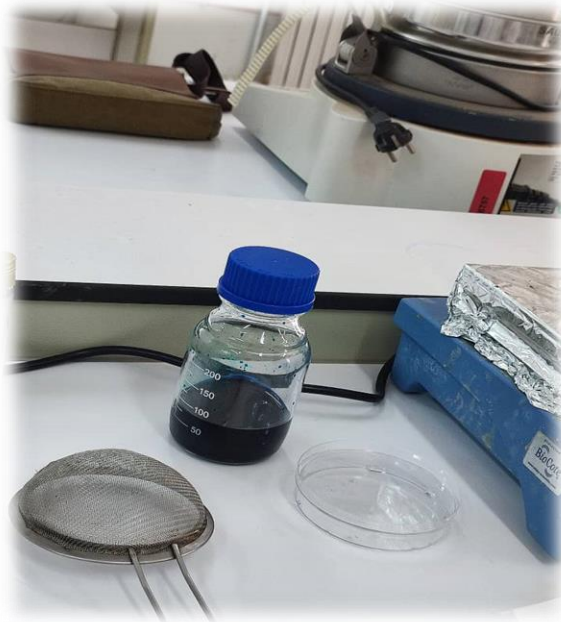


Figure.21 colorant du bleu de trypan (original, 2024).

3.5.3 Observation microscopique

Après la coloration, les racines peuvent être conservées dans de l'éthanol, du glycérol ou dans de l'eau déminéralisée jusqu'à leur observation. Pour chaque échantillon, des fragments fins de racines d'environ 1 cm sont montés entre lame et lamelle, écrasés dans du glycérol et observés au microscope. La présence des structures de CMA telles que les **hyphes**, les **vésicules** et les **arbuscules** dans la racine permet d'estimer le niveau de colonisation de l'échantillon de racine (Figure 22).

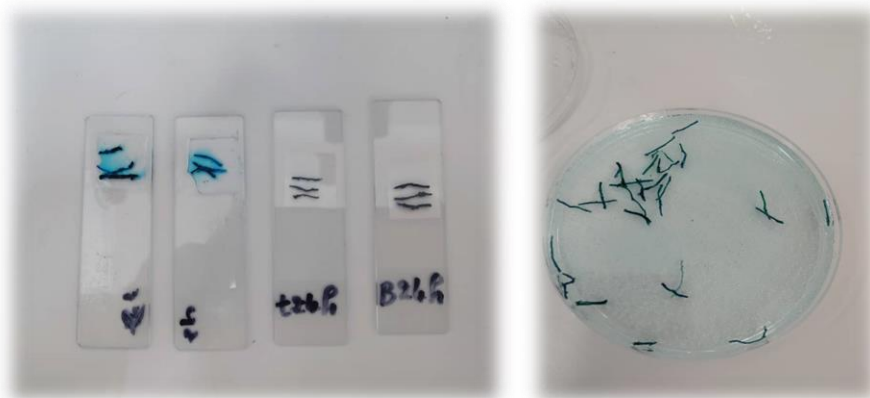


Figure.22 Fragments de racines colorés (original, 2024).

3.5.4 Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines

L'estimation de la colonisation des racines par les champignons mycorhiziens à arbuscules repose sur la méthode de Trouvelot *et al.* (1986). Ainsi, 30 fragments racinaires de 1 cm par échantillon sont examinés. Cette méthode consiste à évaluer

□ La colonisation par les champignons mycorhiziens de chaque fragment observé en lui attribuant une note entre 0 et 5.

□ L'abondance des arbuscules par fragment de A0 (pas d'arbuscule) à A3 (arbuscules abondants).

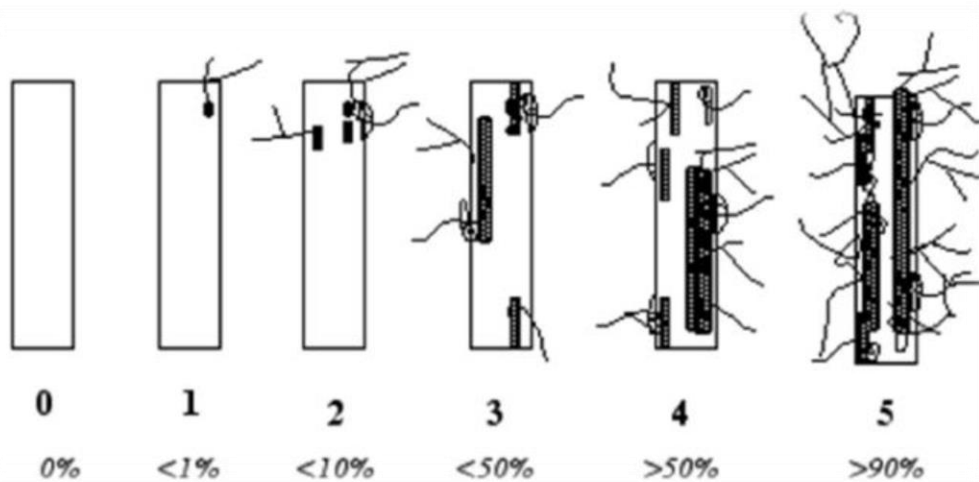


Figure.23 Notation du degré de mycorhization des fragments racinaires.

L'échelle s'étend de 0 (pas de mycorhization) jusqu'à 5 (au moins 90% du fragment est mycorhizé) d'après Trouvelot et al. 1986

Au total 5 paramètres sont à calculer F%, M%, m%, a% et A%

- Fréquence de la mycorhization F%** = (nombre de fragments mycorhizes/nombre total de fragments observés) x 100
- Intensité de mycorhization M%** = $(95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / (\text{nombre total de fragments observés})$ où n_5 = nombre de fragments mycorhizés notés 5, n_4 = nombre de fragments notés 4, n_3 = nombre de fragments notés 3, n_2 = nombre de fragments notés 2, n_1 = nombre de fragments notés 1. Ce paramètre traduit le mieux le degré de mycorhization.

c) **Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés** $m\% = M \times$
 (nombre total de fragments observés)/(nombre de fragments mycorhizés) = $M \times 100/F$.

d) **Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée** $a\% =$
 $(100m_{A3}+50m_{A2}+10m_{A1})/100$, où m_{A3} , m_{A2} , m_{A1} sont les % de m respectivement
 affectés des notes A_3 , A_2 , A_1 . Avec $m_{A3} =$
 $((95n_{5A3}+70n_{4A3}+30n_{3A3}+5n_{2A3}+n_{1A3})/\text{nombre de fragments}$
 mycorhizés)*100/ m , de même pour A_2 et A_1 .

e) **Intensité arbusculaire dans le système racinaire** $A\% = a \times (M/100)$

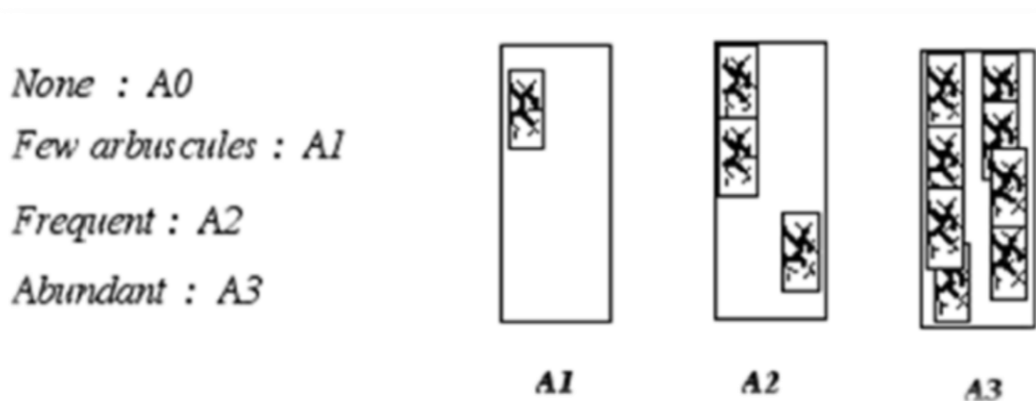


Figure.24 Notation de l'abondance des arbuscules dans les fragments racinaires d'après Trouvelot et al 1986.

3.5.5 Analyses statistiques

Nous avons traité les données enregistrées avec le logiciel XLSTAT 2016, nous avons utilisé le test ANOVA à un seul facteur étudié, au seuil de 5%, le test Tukey a été réalisé pour faire ressortir les groupements statistiques.

CHAPITRE 04 :

Résultats et discussion

4.1. Résultats

4.1.1 Degré de mycorhization des fragments racinaires

Pour la notation du degré de mycorhization des fragments racinaires, l'échelle s'étend de 0 (pas de mycorhization) jusqu'à 5 (au moins 90% du fragment est mycorhizé) d'après Trouvelot et al. (1986). Les observations de mycorhization chez les quatre plantes étudiées sont présentées dans la Figure 25, où l'on distingue clairement les hyphes et les vésicules.

A : Arbuscule , H : Hyphes , V : Vesicule .

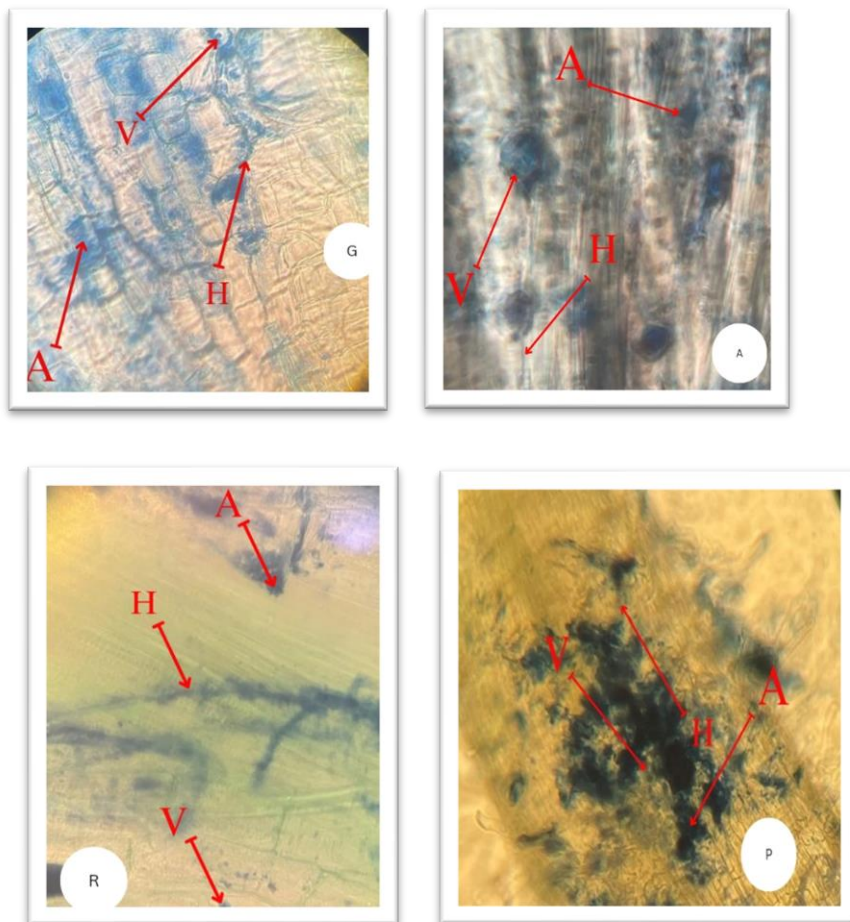


Figure.25 Observation des mycorhizes colorée au bleu de trypan chez *R. Vesicarius* (R), *G.Linearis* (G), *A. armatus* (A), *P.harmala* (P) (GX40), (Février 2024)

Les résultats de calcul du degré de mycorhization racinaire chez les quatre espèces sont présentés dans la Figure 26.

Degré de mycorhization (%)

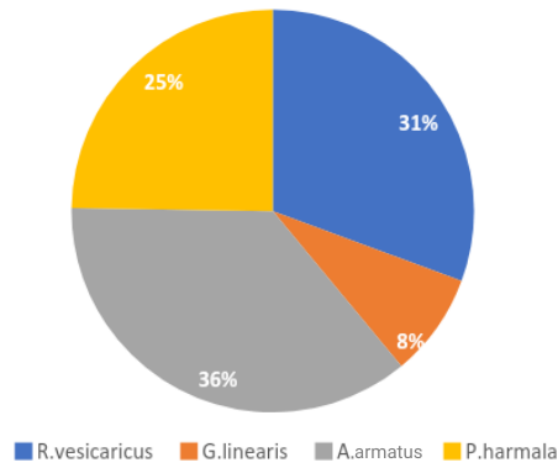


Figure.26 Degré de mycorhization des fragments racinaires chez les quatre espèces étudiées.

Les résultats obtenus pour ce paramètre ont permis de classer cette mycorhisation selon la classification de Trouvelot et al. 1986 en classe 03 ($\leq 50\%$), donc la mycorhisation se produit dans les quatre plantes des steppes, l'analyse statistique a montré une différence entre les quatre espèces, nous avons remarqué que *G.linearis* avait la moyenne la plus basse (8%) et *A.armatus* a présenté la moyenne la plus élevée (36 %), des valeurs intermédiaires ont été chez *P.harmala* (25%) et *R.vesicarius* (31%), statistiquement ces dernières ont été classées dans le même groupe statistique (A B), *G.linearis* dans le groupe (A) et *A.armatus* classée dans le groupe (B) selon (Annexe 01).

4.1.2 Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines

Les résultats de calcul de la mycorhization racinaire (F%, M%, m%, a% ; A%) chez les quatre espèces sont présentés dans la Figure 27.

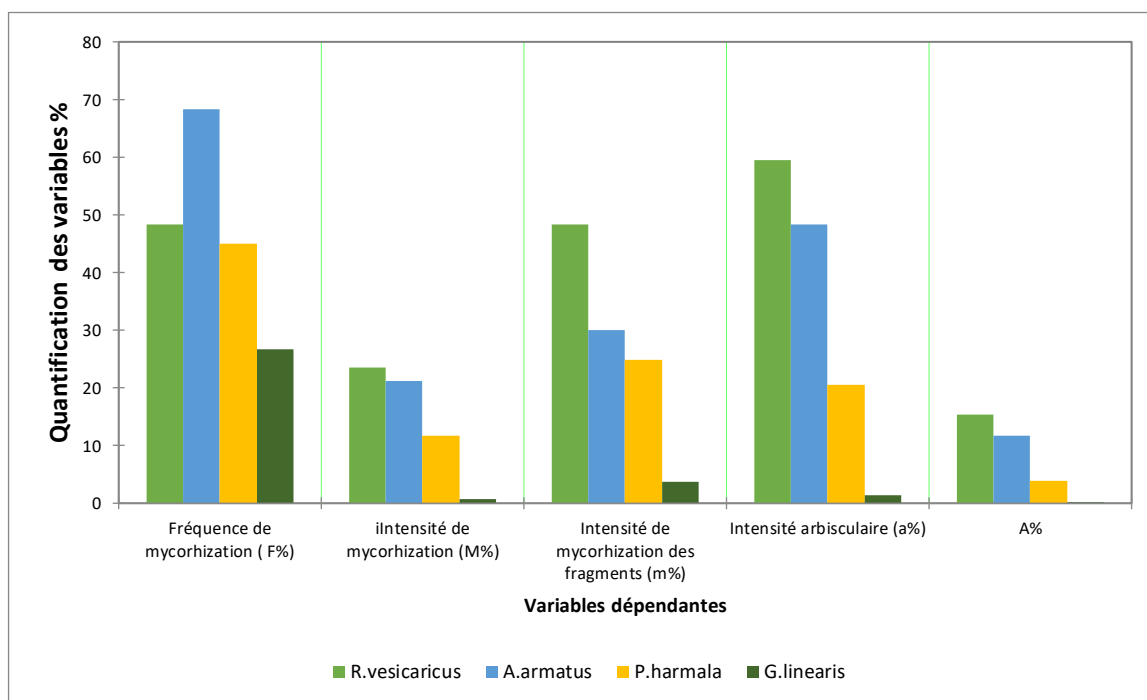


Figure.27 Paramètres de la mycorhization chez *A.armatus* et *G.linearis*, *R.vesicarius* et *P.harmala*. (F%, M%, m%, a%, A%)

a. Fréquence de la mycorhization (F%)

L'analyse de la variance en annexe 01, a révélé une différence significative ($P= 0,0295$) entre les quatre espèces étudiées. Les moyennes enregistrées ont variés entre 69% et 26% .

Nous avons noté que *A.armatus* a présenté une moyenne de 69 %, *G.linearis* a présenté une valeur de 26 %, *P.harmala* de 45% , et *Rvesicarius* det 49% . l'espèces *P.harmala* et *R.vesicarius* ont été classées dans le même groupe statistique (A B) , *G.linearis* classée dans le groupe A et *A.armatus* classée dans le groupe B.

b. Intensité de la mycorhization : M%

L'analyse de la variance en annexe 01, a révélé une différence significative ($P= 0,0210$) entre les quatre espèces étudiées. Les moyennes enregistrées ont indiqués un intervalle entre 24% et 1% du degré de mycorhization des racines des plantes étudiées.

Nous avons noté que *A.armatus* a présenté la valeur de 22%, et que *R.vesicarius* a présenté une valeur de 24%. et *P.harmala* a présenté une valeur de 12% , et que *G.linearis* a présenté une valeur de 1%. Statistiquement les moyennes du deux espèces *R.vesicarius* ,

A.armatus ont été regroupées dans le même groupe statistique (B) et *G.linearis* classées dans le groupe (A) et *P.harmala* classées dans les groupes (A B).

c. Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés : m%

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence significative ($P=0,0114$) entre les quatre espèces étudiées. Les moyennes enregistrées ont variées entre 49% et 4%.

Nous avons noté que l'*A.armatus* a présenté la valeur de 30%, *G.linearis* a présenté une valeur de 4%, *R.vesicarius* a présenté une valeur de 49%, et *P.harmala* a présenté une valeur de 26%. Statistiquement les moyennes des deux espèces *P.harmala*, *A.armatus* ont été regroupées dans le même groupes statistique (A B), par ailleurs *G.linearis* a été classée dans le groupe A et *R.vesicarius* a été classée dans le groupe B.

d. Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée (a%)

Pour ce paramètre l'ANOVA a révélé aussi une différence significative ($P=0,02$), ou nous avons enregistré que *G linearis* a présenté le plus faible pourcentage (1,34%) classé en groupe A différent de celui de *R.vesicarius* (59,52%) classée en B, les autres espèces ont présenté un groupes intermédiaire (AB).

1.3 Les analyses chimiques des sols

a. Le pH du sol

Les résultats que nous avons obtenu en analysant 15 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la Figure 28.

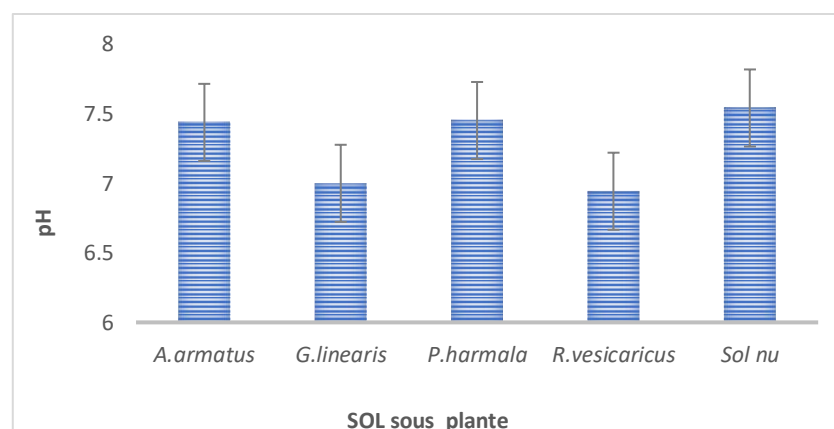


Figure.28 pH des sols sous végétation et hors végétation

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence significative ($P= 0,0169$) entre les quatre espèces étudiées et le sol nu pour ce paramètre. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs en pH dans la zone étudiée qui oscillent entre 6.94 et 7.53. Les échantillons des sols sont classés comme des sols à pH neutre.

Nous avons noté que *R.vesicarius* a présenté la plus faible moyenne 6.94, quant à la valeur du pH du sol nu a été de 7.53, d'un autre coté *A.armatus* a présenté un pH de 7.43, et on a aussi *G.linearis* exprimé par une valeur du pH =6,99, Statistiquement les moyennes ont été regroupées en deux groupes statistiques différents A et B (annexe1).

b. La conductivité électrique (CE)

Les résultats que nous avons obtenus pour la CE, en analysant 15 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la Figure 29

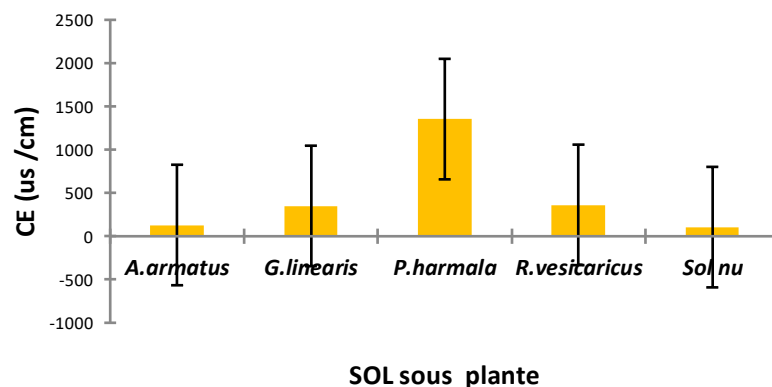


Figure.29 La conductivité électrique des sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence non significative ($P= 0,0923$) entre les quatre espèces étudiées et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqué des valeurs en CE dans la zone étudiée qui oscillent entre 105,36 $\mu\text{s/cm}$ et 1353,33 $\mu\text{s/cm}$ de sol. Selon les normes de salinité des sols en annexe 2, les sols sont classés comme des sols non salés.

Nous avons noté que le sol nu a présenté la plus faible moyenne (105,33 $\mu\text{s/cm}$), l'*A.armatus* a présenté aussi une faible valeur (130 $\mu\text{s/cm}$), des valeur intermédiaires enregistrées par *R.vesicarius* (362,33 $\mu\text{s/cm}$), et par *G.linearis* (350 $\mu\text{s/cm}$), et la valeur la plus élevée a été enregistrée dans le sol de *P.harmala* avec une valeur de(1353,33 $\mu\text{s/cm}$). Statistiquement les moyennes ont été regroupées en un seul groupe statistique A (annexe1).

c. Le Calcaire (CaCO_3 %)

Les résultats que nous avons obtenus en analysant 15 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la Figure 30.

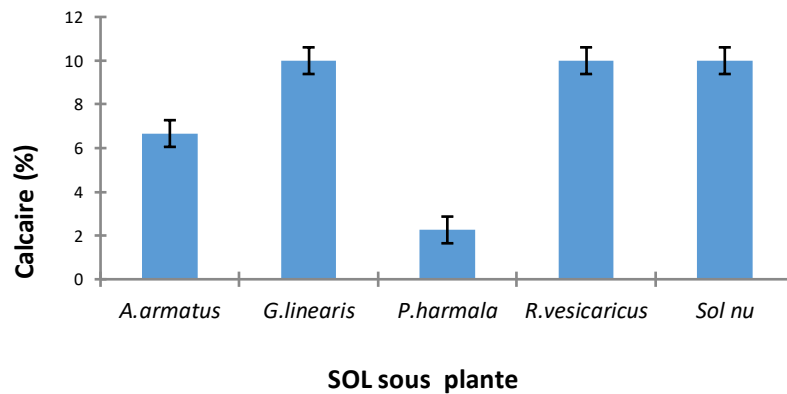


Figure.30 Le taux de calcaire des sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence significative ($P=0,0001$) entre les quatre espèces étudiées et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqué des valeurs en CaCO_3 dans la zone étudiée qui oscillent entre 2,25 et 10 %. Selon les normes de calcaire des sols en annexe 2, les sols sont classés comme des sols modérément calcaires à calcaires.

Nous avons noté que *P.harmala* a présenté la plus faible moyenne (2,25%), l'*A.armatus* a présenté une valeur intermédiaire (6,66%), la moyenne la plus élevée a été enregistrée dans le sol nu et chez le sol de *R.vesicarius* et aussi dans *G.linearis* avec une valeur de 10%. Statistiquement les moyennes ont été regroupées en trois groupes statistiques différents A, B et C (annexe 1).

d. Matière Organique MO%

Les résultats que nous avons obtenus pour le taux de la matière organique dans le sol, en analysant 15 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la Figure 31.

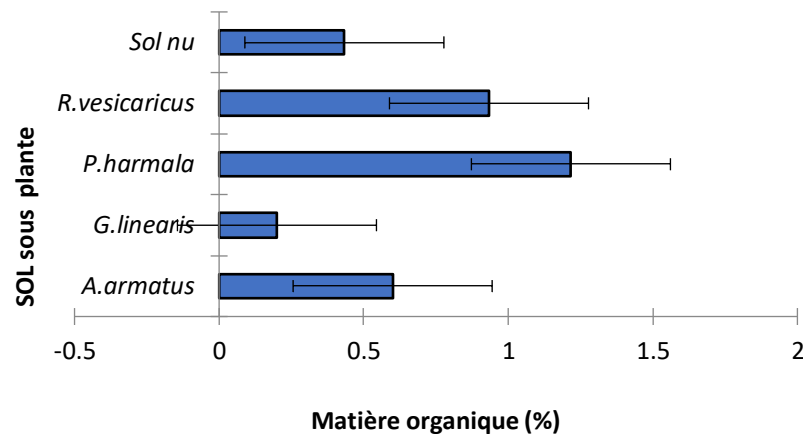


Figure.31 Le taux de la matière organique des sols sous végétation et hors végétation

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence hautement significative ($P= 0,0065$) entre les quatre espèces étudiées et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqué des valeurs en matière organique dans la zone étudiée qui oscillent entre 0.2% et 1.21% de sol. Selon les normes de matière organique des sols en annexe 2, les sols sont classés comme des sols extrêmement faibles en matière organique.

Nous avons noté que *G. linearis* a présenté la plus faible moyenne (0.2%), des valeurs intermédiaires enregistré par *A. armatus* (0.6%) et aussi marqué par le sol nu (0.43%), la moyenne la plus élevée a été enregistré dans le *P. harmala* avec une valeur de 1.21% dans sol. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans différents groupes statistiques A, B et C (annexe1).

4.1.4 Les Analyses physiques des sols

a. La Granulométrie

a.1 Le Sable %

Les résultats que nous avons obtenus en analysant 15 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la Figure 32.

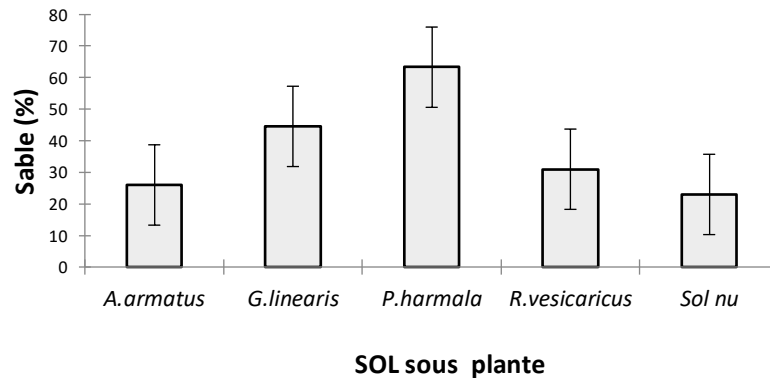


Figure.32 Pourcentage des sables dans les sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence significative ($P=0.0030$) entre les quatre espèces étudiées et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs de la variable Sable dans la zone étudiée qui oscillent entre 23% et 63.33% de sol.

La figure suivante montre que l'accumulation des sables chez *P. harmala* est plus élevée avec une valeur de 63.33 %, par contre nous avons enregistré un faible pourcentage dans le sol nu avec une valeur de 23%, on a une valeur assez faible remarqué dans *A. armatus* 26% le taux de sable accumulé par des moyen valeur sont : *R. vesicarius* 31% et *G. linearis* 44.56%. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans différents groupes statistique A et B et AB.

b.1 Limon (%)

Les résultats que nous avons obtenus en analysant 15 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la Figure 33.

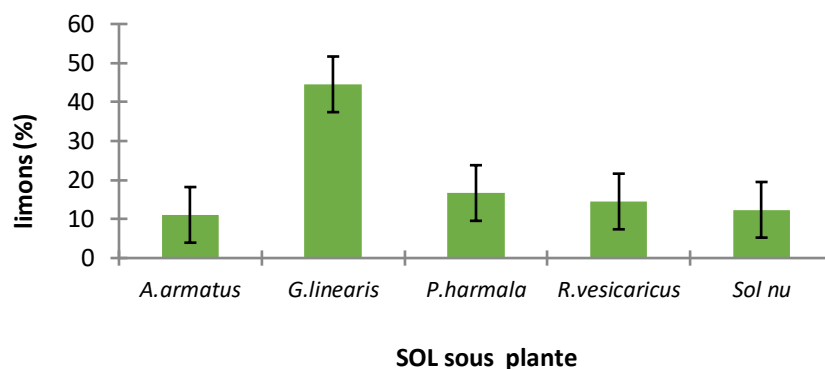


Figure.33 Pourcentage des limons dans les sols sous végétation et hors végétation

L'analyse de la variance en annexe01 a révélé une différence significative (P=0,0001) entre les quatre espèces étudiées et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs de la variable limon dans la zone étudiée qui oscillent entre 11% et 44.53% de sol.

Cette figure montre que l'accumulation des limons chez *G.linearis* est plus élevée avec une valeur de 44.53% , par contre nous avons enregistré un faible pourcentage dans l'*A.armatus* avec une valeur de 11%, et ont marqué une valeur assez faible de l'accumulation des limons chez le sol nu 12.36% et des valeurs moyen de taux de sable accumulé chez *R.vesicarius* 14.5% et chez *P. harmala* est de 16.66%. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans différents groupes statistique A et B . On a remarqué qu'il y a une absence totale des argiles dans la zone étudiée.

4.1.5 Test de corrélation

Le tableau ; présente le Test de corrélation de Pearson, entre le sol et la mycorhization, Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05. Nous constatons qu'il existe une corrélation négative entre les mycorhizes et la présence des limons ; alors que tous les paramètres de mycorhization (F%, M %, m%, a%, A%) sont corrélés positivement entre eux.

Tableau.05 Test de corrélation de Pearson entre les variables du sol et la mycorhization

Variables	(F%)	(M%)	(m%)	(a%)	A%	pH	CE (us /cm)	Calcaire (%)	M.organique (%)	Sable (%)	limons (%)
(F%)	1	0,7344	0,4183	0,7100	0,6747	0,2252	-0,1268	-0,1838	0,2534	-0,2979	-0,6782
(M%)	0,7344	1	0,8841	0,9587	0,9243	0,0977	-0,3219	-0,0225	0,3490	-0,2396	-0,7703
(m%)	0,4183	0,8841	1	0,8358	0,7464	0,0928	-0,2998	-0,0231	0,4043	-0,0863	-0,7521
(a%)	0,7100	0,9587	0,8358	1	0,9569	0,0369	-0,3245	0,1065	0,2785	-0,3334	-0,6857
A%	0,6747	0,9243	0,7464	0,9569	1	-0,0367	-0,2461	0,1549	0,2764	-0,3466	-0,5441
pH	0,225	0,0977	0,0928	0,0369	-0,0367	1	-0,0261	-0,4525	0,0848	0,0468	-0,4854
CE (us /cm)	-0,126	-0,3219	-0,2998	-0,3245	-0,2461	-0,0261	1	-0,5394	0,5443	0,2879	0,2320
Calcaire (%)	-0,183	-0,0225	-0,0231	0,1065	0,1549	-0,4525	-0,5394	1	-0,5931	-0,6575	0,2885
M.organique (%)	0,253	0,3490	0,4043	0,2785	0,2764	0,0848	0,5443	-0,5931	1	0,3322	-0,4291
Sable (%)	-0,297	-0,2396	-0,0863	-0,3334	-0,3466	0,0468	0,2879	-0,6575	0,3322	1	0,1488
limons (%)	-0,678	-0,7703	-0,7521	-0,6857	-0,5441	-0,4854	0,2320	0,2885	-0,4291	0,1488	1

4.2. Discussion :

Selon les résultats obtenus, toutes les racines des espèces que nous avons testées : *R.Vesicarius* , *G.Linearis* , *A.Armatus* et *P.harmala* contenaient des mycorhizes, mais avec des proportions très variables, ces plantes poussent sous un climat aride et semi-aride et un sol pauvre et dégradé, leur capacité de survie est associée à une association symbiotique avec les champignons les aidant à bien s'adapter dans de tels conditions .

Nous avons également remarqué que les pourcentages des mycorhizes sont différents d'une espèce à l'autre, ceci pourrait être due à l'espèce elle-même , Par exemple, pour la teneur du sol en matière organique, nous avons trouvé que *P.harmala* le taux de MO% est élevé par rapport aux sols des autres espèces, mais il vient en troisième en termes de quantité de mycorhizes contenus, ceci a été confirmé par le test de corrélation qui nous a démontré que la présence de matière organique n'a aucun rôle dans la présence des mycorhizes .

Les champignons mycorhiziens à arbuscules sont caractérisés par un transfert bidirectionnel de nutriments. Le champignon mycorhizien (hétérotrophe) reçoit de la plante (autotrophe) des molécules carbonées issues de la photosynthèse. En échange, celui-ci lui procure les éléments minéraux (dont le phosphore et l'azote) et l'eau ainsi que d'autres nutriments puisés dans le sol (ammonium, certains oligoéléments tels que le cuivre et zinc (Hirrel et Gerdemann 1979). Il est bien établi que le rôle primordial des CMA se situe dans l'augmentation de l'absorption des éléments peu mobiles dans le sol, comme par exemple le Phosphore (P) et les métaux (Abbott et Robson, 1982)

Il a souvent été démontré que la plupart des plantes dans les écosystèmes terrestres ont des associations mycorhiziennes (Brundrett, 1991). Les CMA sont omniprésents et forment des relations symbiotiques avec les racines de la plupart des plantes terrestres (Akhtar et Siddiqui, 2008). Dans cette association le champignon prend le rôle de la racine de la plante et agit comme une extension du système racinaire (Muchovej, 2004), cette déclaration peut mieux expliquer comment nos plantes étudiées peuvent puiser l'eau dans le sol même en cas de sécheresse.

La symbiose mycorhizienne conduit également au changement de la structure du sol, induisant la formation d'agrégats qui augmentent l'approvisionnement en eau dans le sol grâce à la glomaline excrétée par les mycéliums extra-racinaire des CMA (Medina et Azcón, 2010). Cette glycoprotéine agit comme une colle qui assemble les particules les plus fines du sol pour

en faire des agrégats dont on connaît le rôle fondamental pour la fertilité des sols, en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisant les échanges gazeux et l'aération et qui constitue un réseau tridimensionnel qui relie la plante au sol environnant (Jeffries et Barea, 2000 et Fortin et al., 2008).

La mycorhization est naturellement établie et les mycorhizes sont de types arbusculaire. en effet tous les structures formées par les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) , principalement des hyphes et arbuscules, vésicules et spores , ont été observé à l'intérieure des racines des quatre espèces . Ces résultats confirment la myctrophie des quatre espèces et leur dépendance aux CMA.

Les résultats que nous avons obtenu par observation microscopique (Gx40), nous ont permis d'observer que les vésicules sont le type de structure le plus abondant chez les deux espèces *A. armatus* et *R. vesicarius* , et faible chez *G.linearis* et moyenne chez l'espèce *P.harmala* . Donc nous pouvons dire que le stockage des reserves chez *A. armatus* et *R. vesicarius* est plus fort que chez *G.linearis* et *P.harmala* . Les vésicules jouent un rôle important dans le stockage des nutriments, car leurs cellules contiennent des niveaux élevés de lipides et de glycogène (Berbara et al, 2006 ; Souza, 2015).

Les arbuscules aussi sont abondants chez les deux espèces *A. armatus* et *R. vesicarius*, et faible dans *G.linearis* et moyenne dans l'espèces *P.harmala* , ainsi nous concluons que les espèces sont en état active, c'est-à-dire la terre ou bien la zone de la plante est pauvre en ressources nutritionnelles alors que la présence des arbuscules indique des réactions physiologiques de symbiose permettant les échanges entre le champignon et la plante.

D'après les résultats précédentes les échantillons des sols sont classés comme des sols à pH neutre avec une salinité faible c'est-à-dire non salés et calcaire, ils sont aussi faible en matière organique avec une texture sableux limoneuse, donc ce milieu favorise l'apparition et la présence de mycorhize et l'association mycorhizienne.

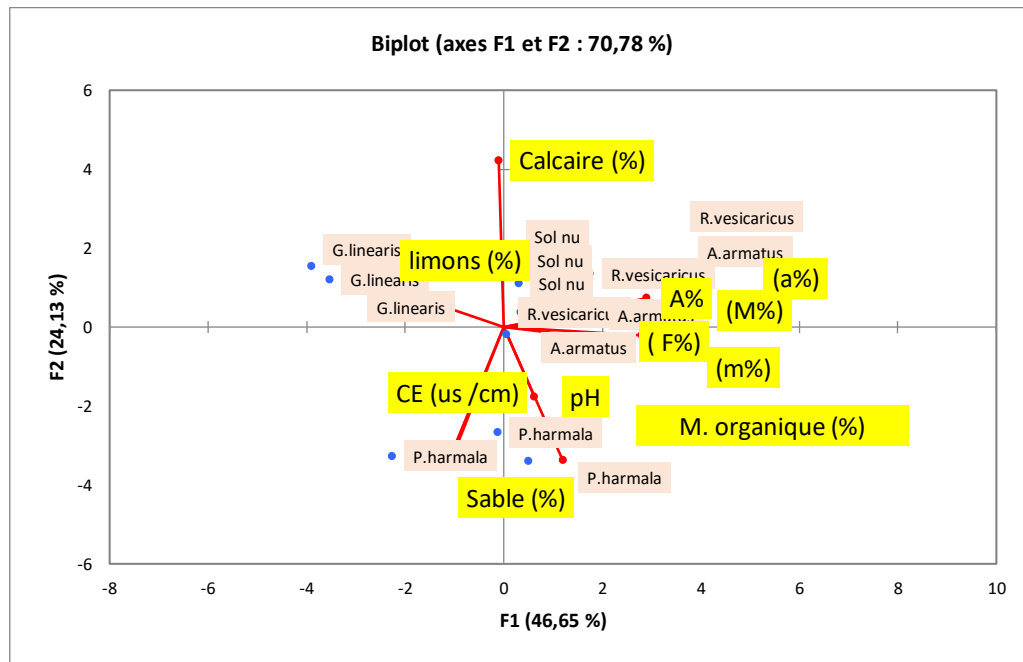


Figure.34 Analyse en composantes (ACP) principales démontrant la relation entre les variables du sol et la mycorrhization chez les espèces étudiées

L'analyse de l'ACP a donné 70,78 % d'information, nous a permis de conclure qu'il existe une différence de présence de mycorrhization selon les espèces, la figure 34 montre bien cette information surtout chez *A. armatus* et *R. vesicarius*. Nous constatons aussi que la présence des limons n'a pas favorisé la présence des mycorhizes, il apparait aussi que les paramètres du sol varient aussi en fonction des espèces, à titre d'exemple le *P.harmala* donne plus d'information pour le pH, la CE, et les sables. Par ailleurs *G.linearis* a été corrélée avec les sables mais pas avec les mycorhizes.

CONCLUSION

Conclusion

Conclusion

La relation qui réunit les mycorhizes et les plantes est la relation symbiotique où l'une aide l'autre à survivre plus longtemps, aide les mycorhizes à promouvoir la nutrition des plantes et à améliorer leur qualité et leur résistance, jouant ainsi un rôle majeur dans le stockage des ressources dont la plante a besoin pour vivre.

Notre étude a porté sur la mise en évidence de la présence d'une mycorhization chez quatre espèces de la steppe algérienne de différentes familles, à savoir : *R.Vesicarius* , *G.Linearis* , *A. armatus* , *P.harmala* , et ce dans la région de Laghouat . et enfin la recherche d'une éventuelle corrélation entre les paramètres du sol et cette mycorhization.

A travers notre étude nous avons trouvé que les quatre espèces étudiées ont présenté une mycorhization remarquable et non faible, en observant les paramètres de mycorhizations calculés, à savoir : le degré de mycorhization des fragments racinaires, la fréquence de la mycorhization (F%), l'intensité de la mycorhization (M%), l'intensité de mycorhization des fragments mycorhizés (m%) et l'intensité arbusculaire de la partie mycorhizée (a%). Les résultats obtenus ont varié entre 26 % et 68% pour F%, et entre 59% et 1,33% pour a%, Les plus hautes moyennes ont été observées chez *R. vesicarius* et *A. armatus* successivement. Les plus faibles valeurs ont été constatées chez *G.Linearis*.

Les analyses du sol sous végétation et hors végétation ont indiqué que le sol est pauvre en matière organique, non salin, et peu calcaire à calcaire, à texture sableux limoneuse et à pH neutre. La présence de la végétation a influencé statistiquement ces paramètres.

Le test de corrélation de Pearson a été réalisé afin de voir si les paramètres du sol influençaient les paramètres de mycorhization, la seule corrélation significative présente, mais négative, a été entre la présence des limons qui ont entravé négativement le taux de mycorhization.

A la fin de cette expérimentation nous avons pu conclure la présence d'une association symbiotique entre ces plantes steppiques et les AMF, c'est ainsi que nous comprenant comment ces plantes peuvent résister et croître dans de tels milieux à condition extrêmes ;

En perspective, il serait souhaitable de tester d'autres plantes steppiques et de faire une identification des AMF présents.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

- Abdelmounem,S and Zohier ,M ,2015** evaluation of plant diversity in the steppes of white wormwood of the region of saida (western Algeria) , open Journal of ecology,5,491-500
- Aïdoud A., Le Floch E., Le Houérou H. N., 2006.** Les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse, 17 : 19-30.
- Andréas Janotto.,** Le Guide de culture des champignons pour débutant., livre 2021
- Benabdeli K., 2000.** Évaluation de l'impact des nouveaux modes d'élevage sur l'espace et l'environnement steppique. Commune de Ras El Ma (Sidi Bel Abbes-Algérie).Options Médit., 39: 129-141.
- BENGUECHIA.S., MIZAT.R., 2017.,** etude du comportement biologique de l'espèces astragalus armatus dans deux types de sol dans la wilaya de Laghouat cas de sidi Makhlof et elhouaita., Mémoire., écologie végétale et environnement steppes et Oasis
- BENYAHIA FATMA., 2020.,** Essai de biostimulation d'une culture de petits pois (Pisum Sativum L) par des tsolats fongiques mycorhiziens et endémiques., Mémoire. ; Biotechnologie et valorisation des plantes.
- Bonfante P., Genre A. 2010.** Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Nature communications 1: 48p.
- Brundrett, M.C. (2009).** Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. Plant & Soil, 320 : 37-77.
- Duhoux E., Nicole M., 2004.** Biologie végétale. Associations et interactions chez les plantes. Ed DUNOD, 166 P.
- Duponnois R., Hafidi M., Ndoye I., Ramanankierana H. et Bâ A., 2013.** Des champignons symbiotiques contre la désertification. IRD Editions, Marseille. 55 : 20-33.
- FAO 2006., D.Nedjraoui.,** Country pasture/forage resource profiles (Algeria)
- Fortin, JA, Plenchette, C and Piché, Y.2008.** Les mycorhizes La nouvelle révolution verte. Multi Mondes. Québec, Canada, 129p.
- Hafidi.M., Robin.D., Ibrahima.N., Herimiana.R., Article 2013.,** Généralité sur la symbiose mycorhizienne : introduction.
- HAMZA NABILA., 2014.,** Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraichère cas de la pastèque (Citrullus Lanatus)., Mémoire de magister en Biologie et physiologie végétale.
- Hoang.G diem 1996.,** Article les mycorhizes des plantes actionorhiziennes., acta botanica gallica., 143 :7, 581-592

Références bibliographiques

- Ismail.A., Bendahib.,H.,2019.**, diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires associés à lavandula stoechas et mentha rotundifolia du parc nationale de chréa.,Mémoire ., biodiversité et physiologie végétale .
- Khel K., Mestour A., 2019** , Etude de la diversité floristique du massif du Naddor cas du canton Harmala , Mémoire, ecologie et environnement
- Le Houérou H. N., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes aride du Nord de l'Afrique- Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options médit., 10: 1-397.
- Le Houérou H. N., 2002.** Man-made deserts: Desertization processes and threats. Arid Land Res. Manag., 16: 1-36.
- Le Houérou H. N., 2006.** Environmental constraints and limits to livestock husbandry in arid lands. Sécheresse, 17 (1-2): 10-18.
- Mallem H. (2018)** : Etude du potentiel de la végétation steppique dans la lutte contre la déflation éolienne. Thèse doctorat en sciences agronomiques, Univ.Blida1, Algerie, 129p.
- Merouane B., 2014.** Quelques aspects liés à désertification dans la steppe de sud Tlemcen Mémoire, Ecologie Végétale et environnement
- Mousain D (1991)**, Ectomycorhization et tolérance des arbres à la sécheresse. Dans : Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'Etude de l'Arbre, Ed. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 167-174.
- Mousain, D., Matumoto-Pintro, P., Quiquampoix, H. (1997).** Le rôle des mycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestiers. Revue forestière française, n° sp. : 67-81
- Nedjimi B., 2012 a.** Rangeland improvement and management options in the arid steppes of Algeria. In: Germano, M. Denise (Ed.) Steppe ecosystems: Dynamics, land use and conservation. Nova Science Publishers, Inc. New York:157-170. A.collab.).Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens.227-231p.p.
- Nedjimi B., Homida M., 2006.** Problématique des zones steppiques algériennes et perspectives d'avenir. Magazine du Chercheur. N° 4/2006.13-19p.p.
- Nedjimi B.et Guit B., 2012.** Les steppes algériennes: causes de déséquilibre. Algerian journal of aridenvironment. Vol. 2, n° 2, Décembre 2012: 50-61p.p.
- Nedjraoui D., 2006,** La recherche scientifique, un moyen de lutte contre la désertification. Com. Conf. Intern. Université des Nations Unies ; Alger, Déc. 2006.
- Nedjraoui D., 2011.**Vulnérabilité des écosystèmes steppiques en Algérie. « L'effet du Changement Climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones

Références bibliographiques

- arides et semi-arides du Maghreb ». Université KASDI MERBAH - Ouargla- Algérie, du 21 au 24 Novembre 2011.41-53p.
- Nedjraoui, D. and Bédrani, S. (2008)** 'La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte', *Vertigo : la revue électronique en science de l'environnement*, Vol. 6, No. 1 [online] <http://vertigo.revues.org/5375?lang=en#text> (consulté 10 Mai 2023).
- Neji.M , Caeiro.M.F , et al.** Arbuscular mycorrhizal traits are good indicators of soil multifunctionality in drylands , *Geodema* .Volume 397, septamber 2021
- Nezzar-Hocine H., 1998.** Associations mycorhiziennes naturelles de *Cedrus atlantica* dans le massif du Djurjura (Algérie) et mycorhization contrôlée. Thèse de doctorat en Biologie et Physiologie végétale, UNV Blaise Pascal, France. 479P.
- Peyret-Guzzon, M. (2014).** Etudes moléculaires de la diversité des communautés et populations de champignons mycorhiziens à arbuscules (Glomeromycota). Thèse de doctorat. Université de Bourgogne, France. 191P.
- Redon P.H., 2009 :** Rôle de champignons mycorhizes à arbuscules dans le transfert du cadmium (Cd) du sol à la luzerne (*medicago truncatula*). Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en sciences du Sol. Université Henri Poincaré. Nancy. 205p.
- Researchgate.net.,** les differents types d'associations mycorhiziennes d'après selosse et le tacon 1998
- Sahraoui, A. L. (2013).** La Mycorhize à arbuscules : quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans son contexte de développement durable?. Synthèse : *Revue des Sciences et de la Technologie*, 26, 06-19
- Scotland, R.W. & Wortley, A.H. (2003).** How many species of seed plants are there? *Taxon*, 52: 101-104.
- Strullu D. G., 1991.** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Edition Lavoisier. 254P
- Tedersoo, L. & Nara, K. (2010).** General latitudinal gradient of biodiversity is reversed in ectomycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 185 : 351-354.
- Tedersoo, L., May, T.W. & Smith, M.E. (2010).** Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution and evolution of phylogenetic lineages. *Mycorrhiza* 20 : 217-263
- Tommerup IC (1992).** The rôle of mycorrhiza in plant populations and communities. *Mycorrhiza*, 1:123-125.
- Topographic-map.,** carte topographique., Laghouat
- Trouvelot A., Kough JL., Gianinazzi-Pearson V. (1986)** Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche des methods d'estimation ayant une

Références bibliographiques

signification fonctionnelle. In: Gianinazi-Pearson V, Gianinazzi S (eds) Physiology and genetics aspects of mycorrhizae. INRA, Paris, pp 217-221.

Wright, S.F., and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*. 161:575-586.

Yu T.E., Egger K.N., Peterson L.R. 2001. Ectendomycorrhizal associations -characteristics and functions. *Mycorrhiza*. 11:167-177

Les sites web:

- 1)- <https://atlas-sahara.org/Polygonaceae/Rumex%20vesicarius/Rumex%20vesicarius.html?cat=Polygonaceae> (consulter le 10.05.2024)
- 2)- <https://www.gbif.org/fr/species/2888986> (consulter le 10.05.2024)
- 3)- [https://identify.plantnet.org/fr/k-world-flora/species/Gazania%20linearis%20\(Thunb.\)%20Druce/data](https://identify.plantnet.org/fr/k-world-flora/species/Gazania%20linearis%20(Thunb.)%20Druce/data) (consulter le 10.05.2024)
- 4)- <https://www.gbif.org/fr/species/3112491> (consulter le 10.05.2024)
- 5)- <https://www.gbif.org/fr/species/5352866> (consulter le 11.05.2024)
- 6)- <https://cultiver-les-champignons.com/mycorhize/> (consulter le 13.05.2024)
- 7)- <https://mycoagra.com/2019/03/23/fiche-technique-mesure-du-taux-de-mycorhization/> (consulter le 11.05.2024)
- 8)- <https://fr-fr.topographic-map.com/map-112jzs/Laghouat/> (consulter le 11.05.2024)
- 9)- <https://atlas-sahara.org/Zygophyllaceae/Peganum%20harmala/Peganum%20harmala.html?cat=Zygophyllaceae> (consulter le 10.05.2024)
- 11)- <https://identify.plantnet.org/fr/k-world-flora/species/Peganum%20harmala%20L./data> (consulter le 10.05.2024)

L'ANNEXE

L'annexe

ANNEXE 01 : Test ANOVA

Mycorhization

Synthèse (Moyennes estimées) - Espèce :

	Fréquence de mycorhization (F%)	Intensité de mycorhization (M%)	Intensité de mycorhization des fragments (m%)	Intensité arbisculaire (a%)	A%
R.vesicarius	48,333 ab	23,567 b	48,360 b	59,527 b	15,372 a
A.armatus	68,333 b	21,283 b	29,993 ab	48,398 ab	11,721 a
P.harmala	45,000 ab	11,683 ab	24,810 ab	20,500 ab	3,947 a
G.linearis	26,667 a	0,767 a	3,723 a	1,343 a	0,015 a
Pr > F	0,0295	0,0210	0,0114	0,0217	0,1111
Significatif	Oui	Oui	Oui	Oui	Non

pH

Analyse Type III Sum of Squares (pH) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés		F	Pr > F
SOL sous plante	4	0,9378	0,2345		5,0851	0,0169
Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
R.vesicarius	6,9400	0,1240	6,6638	7,2162	A	
G.linearis	6,9967	0,1240	6,7204	7,2729	A B	
A.armatus	7,4333	0,1240	7,1571	7,7096	A B	
P.harmala	7,4467	0,1240	7,1704	7,7229	A B	
Sol nu	7,5367	0,1240	7,2604	7,8129	B	

CE

Analyse Type III Sum of Squares (CE (us /cm)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés		F	Pr > F
SOL sous plante	4	3163043,4293	790760,8573		2,7005	0,0923
Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
Sol nu	105,3667	312,4197	-590,7477	801,4810	A	

L'annexe

A.armatus	130,0000	312,4197	-566,1144	826,1144	A
G.linearis	350,0000	312,4197	-346,1144	1046,1144	A
R.vesicarius	362,3333	312,4197	-333,7810	1058,4477	A
P.harmala	1353,3333	312,4197	657,2190	2049,4477	A

Le calcaire

Analyse Type II Sum of Squares (Calcaire (%)) :

Source	DD	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
SOL sous plante	4	139,5954	34,8989	154,9729	0,0001

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
P.harmala	2,2567	0,2740	1,6462	2,8671	A
A.armatus	6,6667	0,2740	6,0562	7,2771	B
G.linearis	10,0000	0,2740	9,3895	10,6105	C
R.vesicarius	10,0000	0,2740	9,3895	10,6105	C
Sol nu	10,0000	0,2740	9,3895	10,6105	C

Matiere organique

Analyse Type III Sum of Squares (Matière organique (%)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
SOL sous plante	4	1,9493	0,4873	6,8082	0,0065

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
G.linearis	0,2000	0,1545	-0,1442	0,5442	A
Sol nu	0,4333	0,1545	0,0892	0,7775	A B
A.armatus	0,6000	0,1545	0,2558	0,9442	A B C
R.vesicarius	0,9333	0,1545	0,5892	1,2775	B C
P.harmala	1,2167	0,1545	0,8725	1,5608	C

Les sables

Analyse Type III Sum of Squares (Sable (%)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
SOL sous plante	4	3306,0507	826,5127	8,4418	0,0030

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
Sol nu	23,0000	5,7128	10,2711	35,7289	A

L'annexe

A.armatus	26,0000	5,7128	13,2711	38,7289	A
R.vesicarius	31,0000	5,7128	18,2711	43,7289	A
G.linearis	44,5667	5,7128	31,8378	57,2955	A B
P.harmala	63,3333	5,7128	50,6045	76,0622	B

Les limons

Analyse Type III Sum of Squares (limons (%)) :

Source	DD		Moyenne des carrés	F	Pr > F
	L	Somme des carrés			
SOL sous plante	4	2343,5027	585,8757	19,0525	0,000 1
Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
A.armatus	11,0667	3,2016	3,9331	18,2003	A
Sol nu	12,3667	3,2016	5,2331	19,5003	A
R.vesicarius	14,5000	3,2016	7,3664	21,6336	A
P.harmala	16,6667	3,2016	9,5331	23,8003	A
G.linearis	44,5333	3,2016	37,3997	51,6669	B