



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Belgacemi Mohamed & Mlle BouTaiba Oum Hani

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

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : Protection des végétaux

Thème

**Dosage de la glomaline chez les mychorizes de quelques plantes
steppiques (*Astaragalus armatus* et *Peganum harmala*)**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
SARIDI ABDELKADER	MAA	Président
BENCHETOUH AHMED	MCA	Examineur
MALLEM Hamida	MCA	Rapporteur

Promotion : JUIN 2023

Titre : Dosage de la glomaline chez les mychorizes de quelques plantes steppiques Gadad (*Astaragalus armatus*) et Harmal (*Peganum harmala*)

Résumé

Les champignons mycorrhiziens arbusculaires, vivant dans les racines des plantes semblent être les seuls producteurs potentiels de la glomaline (glycoprotéine). Dans cette étude, nous avons dosé la quantité de la glomaline dans le sol sous des plantes steppiques (*A.armatus et P.harmala*) et sous le sol hors végétation de la Commune Oued Mzi (Laghout). La glomaline a été extraite suivant la méthode de Bradford wang et al(2014). Des observations microscopiques des fragments racinaires après coloration fongique nous ont permis la mise en évidence de la colonisation endomycorhizienn, en parallèle une analyse physique et chimique du sol a été réalisée. La concentration de la glomaline trouvée a été de 4.56 mg/g à 6.30 mg/g du sol, nous avons observé que les deux espèces étudiées ont présenté une mycorhization remarquable et non faible. Nous avons constaté l'absence totale des argiles dans la zone étudiée, le sol de la région de Oued Mzi est un sol à texture limoneux-sableux, faible en matière organique, à calcaire moyen, non Salin et à pH neutre. La libération de la glomaline peut expliquer le rôle biologique des plantes étudiées dans la réhabilitation des parcours dégradés.

Mots clés : Mychorhizes, Glomaline, Sol, Steppe, *Astragalus armatus*, *Peganum harmala*

Title : Dosage of glomalin in the mychorizes of some steppe plants (*Astaragalus armatus* and *Peganum harmala*)

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi, living in the roots of plants, seem to be the only potential producers of glomalin (glycoprotein). In this study, we measured the quantity of glomalin in the soil under steppe plants (*A.armatus* and *P.harmala*) and under the soil outside vegetation in the Oued Mzi (Laghouat) area. Glomalin was extracted using Bradford's method wang and al (2014). Microscopic observations of root fragments after fungal staining allowed us to highlight endomycorrhizal colonization, in parallel a physical and chemical analysis of the soil was carried out. The concentration of glomalin found was 4.56 mg/g to 6.30 mg/g of the soil, we observed that the two species studied presented a remarkable and not weak mycorrhization. We noted the total absence of clays in the studied area, the soil of the Oued Mzi region is a soil with a sandy -loamy texture, low in organic matter, with medium limestone, non-saline and at neutral pH. The release of glomalin may explain the biological role of the plants studied in the rehabilitation of degraded rangelands.

Key Words: Mycorrhizae, Glomaline, Soil, Steppe, *Astragalus armatus*, *Peganum harmala*

العنوان :

جرعة الجلومالين في الفطريات الجذرية لبعض نباتات السهوب قَدَّاد (*Astragalus armatus*) و الحرمل (*Peganum harmala*).

المخلص

يبدو أن الفطريات الجذرية ، التي تعيش في جذور النباتات ، هي المنتج الوحيد المحتمل للجلومالين (بروتين سكري). في هذه الدراسة ، قمنا بقياس كمية الجلومالين في التربة تحت نباتات السهوب) القتاد المسلح و الحرمل (وتحت التربة خارج الغطاء النباتي في منطقة واد مزي (الأغواط). تم استخراج الجلومالين باستخدام طريقة برادفورد (Bradford wang et al(2014) . سمحت لنا الملاحظات المجهرية لشظايا الجذر بعد تطيخ الفطريات بتسليط الضوء على الاستعمار الداخلي ، بالتوازي مع إجراء تحليل فيزيائي وكيميائي للتربة. كان تركيز الجلومالين الموجود 4.56 مجم / جم إلى 6.30 مجم / جم من التربة ، ولاحظنا أن النوعين المدروسين يمثلان تشوهاً فطرياً ملحوظاً وليس ضعيفاً. لاحظنا الغياب التام للطين في المنطقة المدروسة ، تربة منطقة واد مزي هي تربة ذات قوام طيني- رملي ، منخفضة في المواد العضوية ، ذات حجر جيرى متوسط ، غير ملحي ودرجة حموضة متعادلة. قد يفسر إطلاق الجلومالين الدور البيولوجي للنباتات التي تمت دراستها في إعادة تأهيل المراعي المتدهورة.

الكلمات المفتاحية : الفطريات الجذرية , الجلومالين , السهوب , التراب , القتاد المسلح , الحرمل .

REMERCIEMENTS

Merci Dieu le tout puissant, de m'avoir donné la Volonté et le courage d'accomplir de réaliser ce Travail. Grand merci à Madame MALLEM Hamida Je vous serai toujours reconnaissante pour vos avis indispensables, vos conseils éclairés et pour votre disponibilité. Vous m'avez fait bénéficier de vos connaissances, de votre immense expérience scientifique et de votre rigueur dans le travail. Vos critiques, suggestions et conseils m'ont accompagné durant toute la longue période d'élaboration de ce document. Je voudrai vous dire aussi que j'ai eu un grand plaisir à travailler sous votre direction.. J'espère que ce mémoire sera à la Hauteur et pourra compenser une partie de mes Efforts. Je remercie également les membres du jury Mr BENCHETOUH AHMED et Mr SARIDI ABDELKADER Qui m'ont fait l'honneur de présider et D'examen de ce travail de fin d'études. Enfin, je Tiens également à remercier toutes les personnes Qui ont participé de près ou de loin à la réalisation De ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire

A mes parents : Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé, longue vie et vous Gardez. Chère mère source d'amour, de tendresse, perle de ma vie Cher père la personne le plus digne mon estime et de mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments,
merci
Infiniment pour tous Les sacrifices que t'es imposé pour
m'assurer une belle vie.

À chers frères : Ahmida et Othman et Boubaker et Sid
Ahmed Mon cher Collègue Oum Hani
A tous mes oncles, et mon oncle kuider, que Dieu ait
pitié de lui.

Pour mes amis proches : Abdel Karim Othman et
Ahmed et dia aldine et Abdel Aziz et
Mohamed et la famille Belgacemi.

Et à tous qui ont contribué de près ou de loin pour que
ce projet.
Soit possible, je vous dis merci. Oum Hani.

MOHAMED

DEDICACES

Je dédie ce mémoire
À mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et
m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues
années d'études. En signe de reconnaissance qu'ils
trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour
tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour
me voir réussir dans mes études.

A toute ma famille

Et A toutes mes amies.

A tous les gens qui me connaissent et que je
connais en particulier Mohamed.

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent
pas devant les obstacles de la vie.

OUM HANI

I.	Résumé
II.	ملخص
III.	Abstract
IV.	Remerciements
V.	Dédicace
VI.	Liste des abréviations
VII.	Liste des figures
VIII.	Liste des tableaux

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

Chapitre 01 : Les mycorhizes

1.1	Les mycorhizes	4
1.1.1	Historique	4
1.1.2	Définition	4
1.1.3	La symbiose mycorhizienne	5
1.1.4	Mycorhizes arbusculaire	6
1.1.4.1	Généralité	6
1.1.4.2	Structures des Mychorizes arbusculaires (MA)	7
1.1.4.2.1	Hyphes	7
1.1.4.2.2	Arbuscules	8
1.1.4.2.3	Vésicule	8
1.1.5	Les principaux types de mycorhizes	9
1.1.5.1	Les ectomycorhizes	10
1.1.5.2	Endomycorhizes	10
1.1.5.3	Ectendomycorhizes	11
1.1.6	Rôle écologique	11
1.2	La Glomaline	12
1.2.1	Définition	12
1.2.2	Composition chimique	12
1.2.3	Le rôle de la glomaline	13

Chapitre 02 : La Steppe

2.1	La Steppe	15
2.1.1	Définition	15
2.1.2	Délimitation géographique de la steppe algérienne	15
2.1.3	Caractéristiques climatiques	16
2.1.4	Caractéristiques édaphiques	17

SOMMAIRE

2.1.5	Les causes de la dégradation de la steppe	18
2.1.5.1	Les causes naturelles	18
2.1.5.2	Les causes anthropiques (humains)	19
2.2	Généralités sur <i>Astragalus armatus</i> et <i>Peganum harmala</i>	20
2.2.1	L'espèce <i>Astragalus armatus</i>	20
2.2.1.1	Place dans la systématique	21
2.2.1.2	Description botanique	21
2.2.1.3	Répartition géographique	22
2.2.2	L'espèce <i>peganum harmala</i>	22
2.2.2.1	Classification botanique	23
2.2.2.2	Répartition géographique	24

Chapitre 03 : Matériel et Méthodes

3.1	Présentation des régions d'étude	25
3.2	Situation géographique du site d'étude	25
3.3	Echantillonnage des sols sur le terrain	26
3.4	Quantification de la glomaline	27
3.4.1	Description de la méthode de dosage	27
3.4.2	Mode opératoire	28
3.4.2.1	Prélèvements de sol rhizosphérique	28
3.4.2.2	Extraction de la glomaline	28
3.4.2.3	Détection	28
3.5	Analyse physique et physico-chimique et chimique du sol	29
3.5.1	Mesures physiques	29
3.5.1.1	Granulométrie de sol	29
3.5.1.2	Mesures chimique et physico-chimique et physique	31
3.5.1.2.1	Mesure de pH	31
3.5.1.2.2	Conductivité électrique (CE)	31
3.5.1.2.3	Dosage de matière organique	32
3.5.1.2.4	Dosage de calcaire total	33
3.6	Mise en évidence de la colonisation endomycorhizienne	34
3.6.1	Eclaircissement	34
3.6.2	Coloration	34
3.6.3	Observation microscopique	35
3.6.1	Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines	35
3.7	Analyses statistiques	35

Chapitre04 : Résultats et discussion

4.1	Résultats	38
4.1.1	Degré de mycorhization du fragment racinaire	38
4.1.2	Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines	39
4.1.3	Dosage de la glomaline dans le sol	44
4.1.4	Les analyses chimiques des sols	45
4.1.4.1	Le pH du sol	45
4.1.4.2	La conductivité électrique (CE)	46
4.1.4.3	Calcaire (CaCO ₃ %)	46
4.1.4.4	Matière organique (MO%)	47
4.1.5	Les analyses physiques des sols	48
4.1.5.1	La granulométrie	48
4.1.5.1.1	Le sable (%)	48
4.1.5.1.2	Limon (%)	49
4.2	Discussion	51
	Conclusion	55
	Références bibliographique	56
	Annexes	

% : pourcentage.

µm : micromètre.

A : astragalus

A : Intensité arbusculaire dans le système racinaire

a : Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée

BRSP : Bradford-réactive soil protéine

BSA : Bovine Serum Albumin

C° : degré Celsius.

Cm : centimètre

CMA : champignon mycorhize arbusculaire.

CO : Carbone organique

E : East

F : Fréquence

G : gramme

M : Intensité de mycorhization

m : Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés

M : mètre

M : mole

MA : Mycorhizes Arbusculaires

mg : milligramme.

min : minute

ml : millilitre

MO : Matière organique

N : Nord

P : peganum

pH : potentiel hydrogène.

RPM : révolutions par minute

T° : température.

Liste de figure

<i>Figure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
1	Schéma des processus d'échanges lors d'une symbiose mycorhizienne (Duhoux et Nicole, 2004)	6
2	Prolifération des hyphes, formation des arbuscules et des vésicules (Pierre, 2012)	7
3	Observation microscopique d'un arbuscule de <i>Glomus mosseae</i> colonisant la racine de poireau à l'intérieur d'une cellule végétale (Duhoux et Nicole, 2004).	8
4	Observation microscopique d'une vésicule (Chafi, 1999)	9
5	Principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale d'une racine modifiée (LETACON, 1985)	9
6	Ectomycorhizes formée entre une racine de <i>Pinus radiata</i> et de <i>Suillus brevipes</i> - Brundrett. 2008.	10
7	Limites de la steppe algérienne (Nedjraoui et al, 2008)	16
8	<i>Astragalus armatus</i> willd (APD,2021)	20
9	L'espèce <i>Peganum harmala</i> (Originale, 2023)	22
10	Carte de localisation de la région d'Oued M'Zi.	24
11	Présentation de la zone et de la méthode d'échantillonnage	25
12	Mode de prélèvement du sol sous la végétation et hors végétation	26
13	Étapes d'extraction de la glomaline (original 2023)	28
14	Les différents tamis utilisés pour le tamisage des sols (original)	29
15	Triangle des textures de sol.	29
16	Mesure du pH.	30
17	Détermination du calcaire total (original, 2023)	32
18	Eclaircissement des fragments racinaires par KOH au bain marie.	33
19	Coloration des racines par le bleu de trypan	34
20	Fragments de racines colorés (H : racine de harmel et A : racine d'astragale)	34
21	Notation du degré de mycorhization des fragments racinaires.	35
22	Notation de l'abondance des arbuscules dans les fragments racinaires d'après Trouvelot et al. 1986	36
23	Champignon MA colorée au bleu de trypan chez (a.c) plante <i>A. armatus</i> et (b.d) plante <i>P. harmala</i> (Mai 2023) (GX40)	37
24	Degré de mycorhization des fragments racinaires	38
25	Fréquence de la mycorhization chez <i>A.armatus</i> et <i>P. harmala</i>	39
26	Intensité de mycorhization (M%)chez <i>A.armatus</i> et <i>P. harmala</i> .	40
27	Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés (m%) chez <i>A.armatus</i> <i>et P. harmala</i>	41
28	Le nombre de vésicules dans les fragments racinaires (1cm) chez <i>A.armatus</i> et <i>P. harmala</i>	42
29	Dosage de la glomaline dans les sols sous végétation et hors végétation	43
30	pH des sols sous végétation et hors végétation	44
31	La conductivité électrique des sols sous végétation et hors végétation	45
32	Le taux de calcaire des sols sous végétation et hors végétation	46
33	Le taux de la matière organique des sols sous végétation et hors végétation	47

Liste de tableau

N°	Liste de tableaux	Page
01	La teneur en glomaline (mg g^{-1}) extraite dans différents environnements	14
02	Pourcentage des sables dans les sols sous végétation et hors végétation	48
03	Pourcentage des limons dans les sols sous végétation et hors végétation.	48

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Depuis 1970, la steppe a subi, de multiples transformations, ces transformations ont touché aussi bien l'aspect social et spatial, mais aussi la conduite de l'activité ancestrale traditionnelle. Elles sont fortement reliées aux transformations enregistrées à l'échelle locale, régionale ou nationale et dernièrement même internationale (Bensouiah, 1999).

Les steppes algériennes situées entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, couvrent une superficie globale de 20 millions d'hectares. Elles sont limitées au nord par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et au sud par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (Djebaili, 1978 ; Le Houerou et *al*, 1979 ; Djallouli, 1990).

Les steppes algériennes comptent quatre grands types de formations végétales : les steppes graminéennes à base d'alfa (*Setipa tenacissima*) et de sparte (*Lygeum spartum*) qui constituent des parcours médiocres ; et les steppes chamaephytiques à base d'armoïse blanche (*Artemisia herba alba*) dont les valeurs pastorales sont très appréciables ; et de *Hammada scoparia* localisées sur les regs ; enfin les formations azonales sont représentées par les espèces pasammophiles et les espèces halophiles de bonnes valeurs fourragères (Nedjraoui et Bédrani, 2006).

La dégradation des milieux naturels dans les zones arides et semi-arides s'est dramatiquement amplifiée au cours de ces dernières décennies en raison de l'accélération de la croissance démographique, des mutations socio-économiques et des transformations concomitantes des systèmes d'exploitation des ressources naturelles. L'extension des surfaces cultivées dans les zones steppiques, l'accroissement du cheptel et les modes de gestion et d'exploitation inappropriés ont entraîné différents processus de dégradation: défrichement et prélèvement du couvert végétal, surpâturage, érosion des sols et détérioration de leur fertilité (Le Houérou, 2006.et Nedjimi, 2012).

La dégradation est progressive et donc relativement lente se traduisant par des changements qui ne sont perceptibles que sur le très long terme. C'est probablement ce qui a marqué à l'échelle du siècle, le passage des steppes par exemple de l'Alfa aux formations à Armoïse blanche ou à Sparte (*Lygeum spartum*) ou à Remth (*Arthrophytum scoparium*). A cette échelle du temps et sur la base d'analyses essentiellement synchronique, les travaux de phytoécologie et de phytosociologie ont permis de décrire et d'interpréter ces successions végétales (Djebaili.1984 ; Aidoud et Lounis, 1997 ; Kadi et Hanifi ,1998).

INTRODUCTION

Les microorganismes vivant en symbioses avec les racines des plantes jouent un rôle majeur dans la nutrition de ces dernières. Parmi les microorganismes symbiotiques, les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) s'associent avec plus de 80 % des plantes terrestres (Smith et Read, 2008), en particulier, les espèces de la famille de Lamiacées (Naghibi et *al*, 2005).

La mycorhize (du grec *myco* : champignon et *rhiza* : racine) est une relation symbiotique entre les champignons et les racines des plantes par laquelle ils s'échangent des matières. D'une part la mycorhize satisfait les besoins du partenaire fongique en composés carbonés synthétisés par la plante hôte photosynthétiques, et d'autre part elle permet à la plante hôte de bénéficier d'une meilleure nutrition minérale grâce au réseau d'hyphe extraradiculaire qui s'étend bien au-delà de la zone du sol explorée par les racines (Smith et Read, 1997). La plupart des espèces végétales ne peuvent croître normalement sans leur symbiote fongique dont elles sont fortement dépendantes (Janos, 1980 ; Hetrick, 1984 ; Brundrett, 1991 ; Gobat et *al*, 2003).

La glomaline est une glycoprotéine synthétisée par les hyphes et les spores des champignons arbusculaires mycorhiziens (Morrissette, 2011). Cette glycoprotéine contient 30 à 40% de carbone (C), elle est supposée être stable et persistante dans le sol. De plus, cette glycoprotéine est connue par son importance et la multiplicité de rôles qu'elle joue dans la restauration des sols dégradés, par la séquestration de carbone dans le sol, en raison de sa stabilité élevée en carbone et en agrégats, ce qui conduit à une protection élevée du carbone organique dans les écosystèmes terrestres (Mohammed, 2020).

Selon Mallem (2018), *l'Astragalus armatus et Peganum harmala* sont deux espèces chamaephytes à faible valeur pastorale ont montré une prolifération remarquable dans les zones ensablées, ce sont des espèces qui apparaissent dans les zones anciennement cultivées et les zones sur pâturées, Chaieb (1997) a expliqué la prolifération de *A.armatus* par l'architecture racinaire de cette plante, favorisant l'absorption d'eau et encore à son pouvoir germinative élevé. Les modifications floristiques des écosystèmes pastoraux des régions arides et désertiques, sous l'effet de la pression animale et du déficit hydrique, affectent en premier lieu les graminées et les chamaephytes palatables. Le maintien de la productivité biologique du milieu demeure, dans de telles conditions, lié à l'apparition d'un nouveau type de végétation peu productif mais en équilibre avec ce nouvel environnement. Vu la prolifération rapide en milieu aride et pauvre et son pouvoir d'adaptation aux conditions

INTRODUCTION

extrêmes de l'aridité et sa capacité à restaurer la richesse microbienne et fongique et en azote des sols ensablés, *Astragalus armatus* peut jouer un rôle fondamental dans la stabilité et la fertilité des sols (Mallem, 2018).

En observant l'adaptation des plantes steppiques dans un milieu pauvre et aride, nous nous demandons si ces plantes participent à la stabilité des sols par des associations microbiennes symbiotiques au niveau du sol, favorisant la synthèse de la glomaline. L'objectif principal de notre étude est de doser la quantité de la glomaline existante dans les sols sous les plantes steppiques (*P. harmala* et *A. armatus*) et aussi d'évaluer le pourcentage de mycorhization chez chaque plante.

Ce travail s'articule sur quatre chapitres, dans le premier chapitre, nous avons évoqué des notions sur les mycorhizes et la glomaline. Le second chapitre a porté sur la steppe et les caractères généraux des espèces étudiées. Le troisième chapitre concerne l'expérimentation, avec une présentation de la zone d'étude, suivie de la méthodologie de travail et enfin en dernier chapitre ; les résultats et leurs discussions. Le mémoire se termine par une conclusion générale.

Chapitre01 : Les mycorhizes

Chapitre 01 : Les mycorhizes

1.1 La mycorhizes

1.1.1 Historique

Depuis le XIX^{ème} siècle, les rhizomes font l'objet d'études de descriptions et de répartition sur le globe. C'était la première fois que le mot "symbiose" était utilisé par Frank (1877) pour décrire la symbiose entre différents organismes (Louisanna et *al.*, 2003). De (Barry 1887) a ajouté l'idée d'un gradient dans la relation entre hôte et parasite qui peut être destructeur ou tolérant. C'est aussi Frank (1885) encore qui décrit les ectomycorhizes des arbres forestiers de la zone tempérée et les interprète en termes de symbiose (Garbaye. 2013).

Il faut cependant attendre le milieu du 20^e siècle pour qu'en Angleterre, à Oxford, John-Laker 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).

1.1.2 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 mycorhization est l'association symbiotique d'un champignon avec les racines d'une plante. En d'autres termes c'est une racine colonisée par un champignon mycorhizien qui on a modifié la morphologie. En effet, le champignon entoure d'un épais tissu de filaments (appelé le mycélium) l'extrémité des radicelles (Egli et Brunner, 2002).

C'est ainsi qu'apparait le manteau fongique (Guéguen et Garon, 2021). Le mot « mycorhize » signifie donc une collaboration entre un champignon et les racines d'une plante (Zougari-Elwedi et *al.* 2012). En fait, cette association résulte d'un commun accord entre la plante et le champignon (Haddouche, 2017).

Chapitre 01 : Les mycorhizes

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).

Les champignons ne sont pas tous des champignons mycorhizien. De fait, certains ne forment pas de symbiose avec les plantes (Egli et Brunner, 2002). On parle alors de champignon saprophytes ou pathogènes, selon qu'ils se nourrissent de cellules végétales mortes ou vivantes (Suty, 2015). Tout comme ces autres champignon, les mycorhiziens ont une forme dite mycélienne, constituée d'un réseau d'hyphes qui ressemble en fait à un amas de filament (Ponge, 1988). Ces hyphes leur permettent de parcourir des distances beaucoup plus longues que les racines des plantes, ce qui leur donne accès à des nutriments inaccessibles par les plantes de nutriments. Cette association, ou symbiose, se il existerait sept ou huit groupes de champignons mycorhiziens, chacun étant caractérisé par un type de mycorhize bien particulier (Egli et Brunner, 2002).

Les mycorhizes sont très répandus dans la nature, elles intéressent 95% des végétaux. L'union favorise la croissance des deux partenaires, elle permet aussi la fructification du champignon. Le végétal fournit au champignon des sucres. En retour, le champignon alimente la plante en éléments minéraux notamment en phosphore grâce à un réseau dense de filaments appelé mycélium extra matriciel qui augmente considérablement la surface de contact entre les racines des plantes hôtes et le sol (Sieverding, 1991).

Les 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 (Strullu, 1991 ; Norman et al.1995).

1.1.3 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 (Janos, 1980 ; Gobat

Chapitre 01 : Les mycorhizes

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 (Brundrett, 2009 ; Tedersoo et *al.* 2010).

Les associations mycorhiziennes entre les racines et les champignons sont fréquentes dans presque tous les écosystèmes naturels environ 90% des plantes terrestres sont en effet capables d'établir une symbiose pour échanger mutuellement des éléments nutritifs et nécessaires à leur bon développement. Les champignons hétérotrophes fournissent des éléments minéraux à la plante tel que l'azote et elle reçoit des molécules carbonées issues de la photosynthèse (Duhoux et Nicole 2004 et Redon 2009) (figure1). La racine joue un rôle dans le point de vue sanitaire, car elles stimulent les défenses de ses plantes hôtes. Pour les champignons, la symbiose leur permet de s'alimenter en substances carbonées via le système racinaire des plantes (Damas 2013 in Smaali 2013).

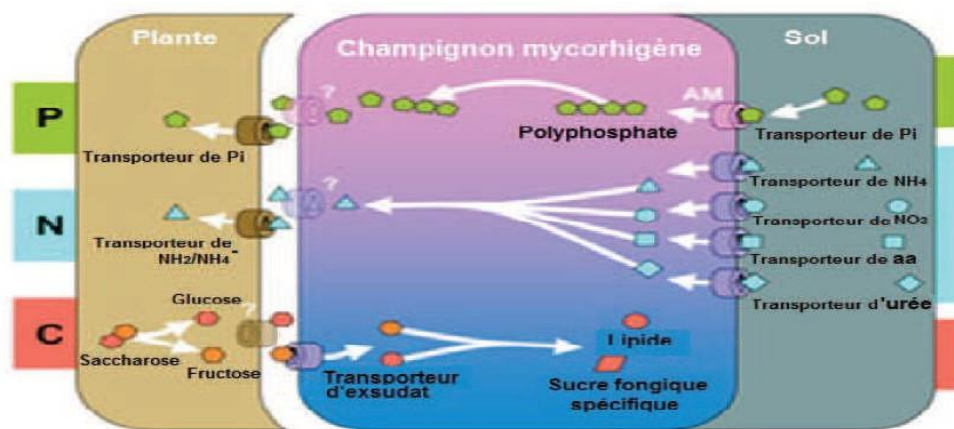


Figure 01 : Schéma des processus d'échanges lors d'une symbiose mycorhizienne (Duhoux et Nicole, 2004).

1.1.4 Mycorhizes arbusculaires

a. Généralités

Les mycorhizes à arbuscules (MA) représentent le type mycorhizien le plus répandu dans la flore actuelle (Smith & Read, 1997). Elles ont d'abord été reconnues et décrites en tant que mycorhizes endotrophiques ou mycorhizes vésiculaires-arbusculaires. Le

Chapitre 01 : Les mycorhizes

Le terme vésiculaire a finalement été abandonné car certains taxa ne forment pas de vésicules. Le terme arbusculaire, retenu pour désigner ce type de mycorhizes, réfère aux structures situées à l'intérieur des cellules corticales des racines appelées arbuscules (arbres nains) (Brundrett, 2009).

b. 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 (fig.02). Le terme propagule est utilisé pour les désigner puisque toutes ces structures servent à propager l'espèce (Fortin et *al*, 2008).

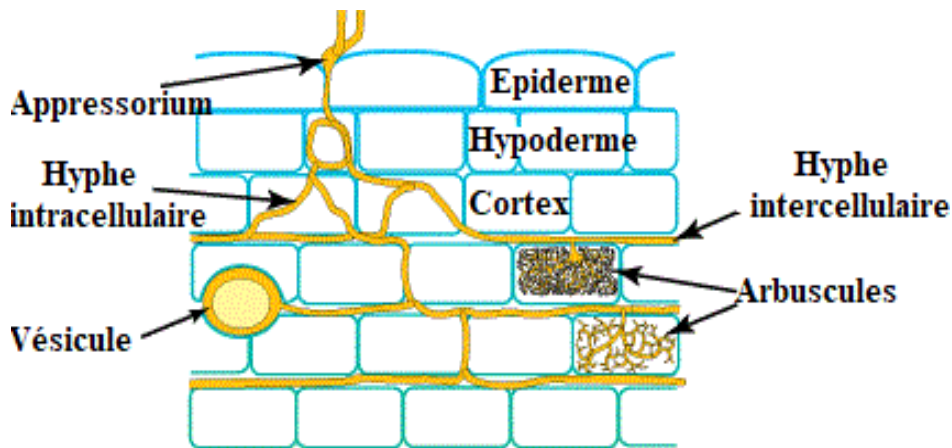


Figure 02. Prolifération des hyphes, formation des arbuscules et des vésicules (Pierre, 2012).

b. a. 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 *etal.*, 2002).

b. b. Arbuscules

L'arbuscule est l'unité d'échange entre la plante hôte et le champignon (fig.03). 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 03: observation microscopique d'un arbuscule de *Glomus mosseae* colonisant la racine de poireau a l'intérieur d'une cellule végétale (Duhoux et Nicole, 2004).

b. c. Vésicules

Les vésicules sont des structures de stockage qui sont des renflements sphériques formés par des champignons symbiotiques (fig.04), généralement localisés dans l'espace intercellulaire et parfois aussi dans certaines cellules du cortex racinaire (Garbaye, 2013).

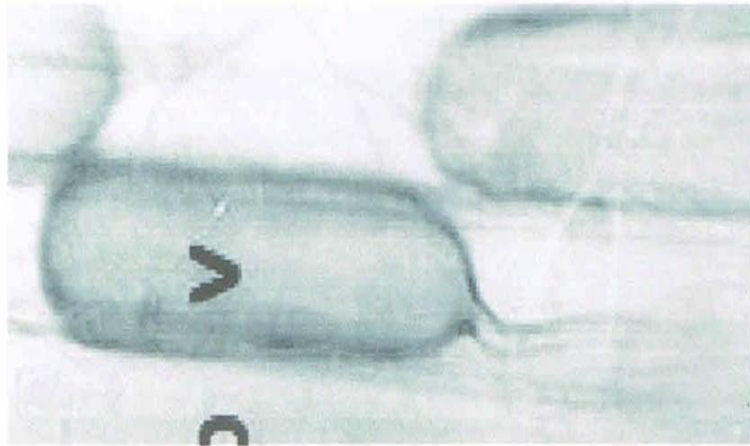


Figure 04: Observation microscopique d'une vésicule (Chafi, 1999).

1.1.5 Les principaux types de mycorhizes

Il existe différentes formes de mycorhizes : Les ectomycorhizes, les endomycorhizes ou les ectendomycorhizes, selon les caractères anatomiques de l'association (Peyronel et al, 1969), qui dépendent en fait directement des partenaires impliqués (Fig. 05). La classification des mycorhizes est basée donc sur le type de champignon associé, selon que celui-ci est asepté, c'est à-dire zygomycète de l'ordre des Glomales, ou septé, comme les ascomycètes ou basidiomycètes (Smith et Read, 1997).

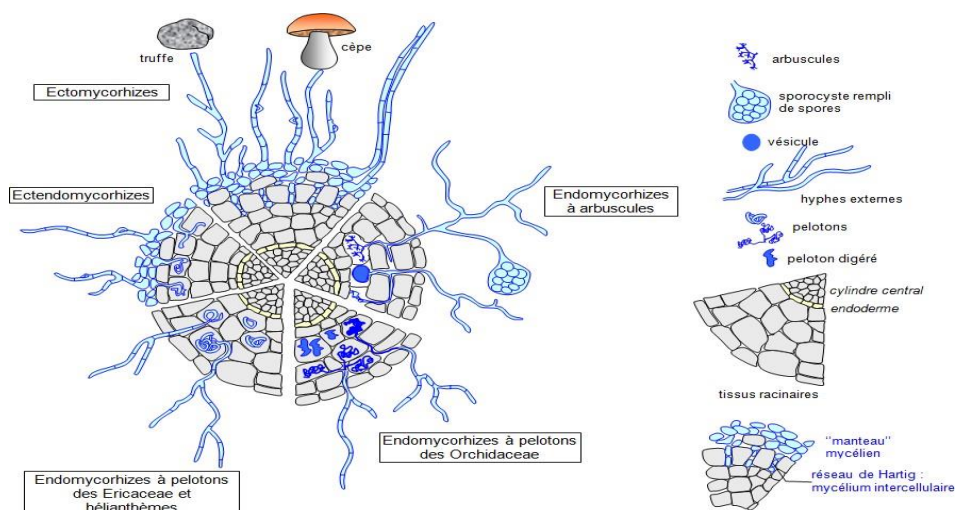


Figure 05 : Principaux types mycorhiziens représentés sur une coupe transversale d'une racine modifiée (Le tacon, 1985).

Chapitre 01 : Les mycorhizes

a. Les ectomycorhizes

Ces champignons supérieurs se retrouvent dans le sous-bois parce que, sauf exception, ils ne forment des mycorhizes qu'avec les plantes ligneuses, arbres ou arbustes. Beaucoup de ces champignons produisent des carpophores sur le tapis forestier. La symbiose ectomycorhizienne ne concerne que 3 % des espèces végétales (Mousain, 1991), mais elle a été (et est toujours) très étudiée car ces espèces constituent la majorité des ligneux à intérêt économique. Les champignons ectomycorhiziens 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).

Les ectomycorhizes (Figure 06) revêtent les racines latérales à structure primaire d'un manteau fongique, le mycélium ne se développe pas dans les cellules de l'hôte, mais plutôt vers l'extérieur des cellules. Les hyphes en s'accrochant les uns aux autres forment un manchon autour des radicelles et pénètrent aussi dans la racine, mais en se confinant aux espaces intercellulaires, formant dans le cortex un système complexe portant le nom de Hartig, chercheur qui l'a observé et décrit le premier. A partir de cet ancrage, le mycélium peut alors se développer et envahir le sol adjacent (Fortin et al, 2008).



Figure 06: Ectomycorhizes formée entre une racine de *Pinus radiata* et de *Suillus brevipes* - Brundrett. 2008.

b. Endomycorhizes

Le type de mycorhizes le plus dominant et les végétaux concernés sont beaucoup plus nombreux: arbres, arbustes, plantes maraîchères et les plantes de grandes cultures (Strullu, 1991; Garbaye, 2013). Cette symbiose entraîne peu de modification dans la morphologie racinaire (Toudert- Taleb, 2000) et se caractérise par la présence de mycélium intracellulaire

Chapitre 01 : Les mycorhizes

et l'absence de manteau fongique (Nezzar-Hocine, 1998). Selon l'hôte et la morphologie des hyphes fongiques, il existe deux groupes:

- Endomycorhizes à vésicules et arbuscules: sont formées généralement par les Glomeromycètes.
- 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).

c. Ectendomycorhizes

Ce sont des formations intermédiaires entre les deux types mycorhiziens précédents, C'est-à-dire, un manteau fongique et un réseau de Hartig (caractères d'ectomycorhizes) et des pénétrations dans des cellules corticales bien organisées au niveau structural (caractères d'endomycorhizes) (Strullu, 1991; Frendi, 2003).

Ce type de symbiose est relativement rare dans la nature (Durrieu, 1993), il est observé chez les Arbutacées, les Monotropies (Duponnois et *al.* 2013). Il est réalisé par les champignons appartenant aux Basidiomycètes, du genre: *Amanita*, *Laccaria*, *Paxillus*, ...etc. (Strullu, 1991).

1.1.6 Rôle écologique

En milieu naturel, les plantes sont associées à des communautés microbiennes très denses autour de leur racine (Garbaye, 2013). Si les bactéries constituent de loin la plus grande diversité d'espèces dans ces communautés microbiennes, les champignons sont aussi très présents.

Ainsi un gramme de sol naturel contiendrait près de 200 mètres d'hyphes fongiques (Leake et *al.* 2004). Parmi ceux-ci, plusieurs mètres sont constitués d'hyphes de champignons symbiotiques des plantes. Les mycorhizes sont les symbioses végétales les plus répandues dans les écosystèmes naturels ou cultivés (Smith et *al.* 2008). L'interaction entre la plante et le champignon se traduit par la mise en place d'un

Chapitre 01 : Les mycorhizes

réseau d'hyphes extramatriciel qui augmente la surface d'absorption de l'eau et de nutriments des racines.

Les endomycorhizes constituent le type de mycorhize le plus répandu et le plus ancien remontant à la première apparition des plantes terrestres il y a environ 450 millions d'années (Redecker et *al.* 2000). Ces champignons sont des symbiotes obligatoires non cultivables en l'absence de la plante-hôte. Un très grand nombre d'espèces sont capables d'interagir avec les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) notamment les Bryophytes, les Lycopodes, les Monilophytes, les Gymnospermes et les Angiospermes (Wang et Qiu, 2006).

1.2 La Glomaline

1.2.1 Définition

La glomaline est une glycoprotéine produite en abondance par les hyphes et les spores des champignons mycorhiziens. On la retrouve en grande quantité dans le sol et dans les racines (Rillig et *al.*, 2002) ce qui suggère que les champignons en produisent et en excrètent en excès. La découverte de la glomaline a d'abord été signalée en 1996 par Wright et Upadhyaya. On l'a d'abord remarquée pour deux caractéristiques apparentes : son abondante production par le champignon mycorhizien et la "ténacité" de la molécule. En effet, la glomaline s'avère très résistante à la décomposition microbienne (qui peut s'étendre sur 10 à 50 ans) et se dissout uniquement en conditions extrêmes : 121°C pendant au moins une heure dans une solution de citrate concentrée (Wright et Upadhyaya 1998). Ces propriétés en font un très bon agent protecteur.

La glomaline est une glycoprotéine hydrophobe et tolérante la chaleur produite par les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) (Wright et Upadhyaya 1996 ; 1998).

1.2.2 Composition chimique

La composition chimique de la glomaline est encore peu connue. Malgré cela, (Driver et *al.* 2005) ont démontré que cette substance est étroitement liée à l'intérieur de la paroi des hyphes et des spores, plutôt que d'être seulement relâchée dans l'environnement.

La glomaline, bien que non encore définie biochimiquement, est une glycoprotéine liée composée de 3 à 5% de C, de 4 à 6% d'hydrogène, de 33 à 49% d'oxygène et de 0,03 à 0,1%

Chapitre 01 : Les mycorhizes

de P. La glomaline contient également 0,8 à 8,8% de Fe, ce qui peut être responsable de la couleur rougeâtre de la glomaline. Une concentration en fer de 0,8 à 8,8% protège la glomaline de la dégradation, comme il a un rôle dans la matière organique et peut augmenter la stabilité thermique et les propriétés antimicrobiennes de la glomaline (Fokom et *al.* 2012).

1.2.3 Le rôle de la glomaline

La présence de la glomaline est révélatrice d'un sol en santé, souvent le résultat de pratiques de travail du sol réduit et d'une abondance de résidus de culture. La glomaline agit comme un liant (une colle) permettant ainsi de stabiliser les agrégats du sol (Wright et Upadhyaya 1996 ; 1998). Sa production atteint son maximum chez les mycéliums sénescents. Cette substance à décomposition lente comporterait le tiers du carbone séquestré dans les sols de la planète. Sa principale fonction porte sur la stabilisation des agrégats, à la façon d'une colle regroupant l'argile, le limon et le sable fin, avec des effets majeurs sur les propriétés physiques des sols. Ce grumelage assure une meilleure pénétration de l'eau réduisant les écoulements de surface, de meilleurs échanges gazeux et une rétention de l'eau et des minéraux, notamment le potassium. On peut dire que la glomaline est très étroitement liée à la fertilité des sols.

En plus de stabiliser le sol, la glomaline est capable d'immobiliser des métaux et de réduire ainsi le stress métallique chez les racines mycorhizées (Cornejo et *al.*, 2008 ; Seguel et *al.*, 2013). De plus, des études ont montré une contribution positive de la glomaline dans la tolérance des plantes hôtes à la sécheresse et la salinité (Augé et *al.*, 2001; Wu et *al.*, 2008; Hammer Rillig, 2011).

La quantité de la glomaline dans le sol peut changer d'un sol à un autre, selon le type de végétation, le type de sol, les pratiques agricoles et le climat, plusieurs auteurs ont quantifié la glomaline des sols dans leurs recherches, une synthèse des résultats trouvés est mentionnée dans le tableau 01. Nous constatons que les teneurs les plus élevées ont été trouvées dans les sols des forêts et les plus faibles quantités ont été observées dans le désert et l'Antractique.

Chapitre 01 : Les mycorhizes

Tableau 01 : La teneur en glomaline (mgg^{-1}) extraite dans différents environnements.

Environnement	Glomaline	Référence
Terres agricoles Forêt boréale Désert	0,3-0,7 mgg^{-1} 1,10 mgg^{-1} 0,003-0,13 mgg^{-1}	Wuest <i>et al.</i> (2005) Treseder <i>et al.</i> (2007) Rillig <i>et al.</i> (2003) ; Treseder et Turner (2007)
Forêt tempérée	0,60-5,80 mgg^{-1}	Nicholas et Wright (2005) ; Treseder et Turner (2007)
Prairie tempérée Forêt tropicales humides Antractique	0,23-2,50 mg g^{-1} 2,60-13,50 mgg^{-1} 0,007-0,15 mgg^{-1}	Batten <i>et al.</i> (2005) ; Nicholas et Wright (2005) Lovelock <i>et al.</i> (2004) Pohanka et Vleck (2018)
Forêt de pins plantée Forêt secondaire mixte	4,22 mg g^{-1} 4,99 mgg^{-1}	 Zhang <i>et al.</i> (2016)
Sol aride	<1 mgg^{-1}	Rillig <i>et al.</i> (2001)

La fonction de la glomaline est de protéger les hyphes de la perte d'eau et de nutriments. Mais la glomaline est aussi l'un des facteurs qui jouent un rôle important dans la formation et la stabilisation des agrégats du sol (Wright et Upadhyaya, 1998; Rillig, 2004 ; Purin et Rillig, 2007). La présence de glomaline augmente la rétention d'eau, le cycle des nutriments et réduit l'érosion des sols. Glomaline contribue également à l'amélioration de la porosité du sol, développement des systèmes racinaires, activités enzymatiques du sol pertinentes et croissance des plantes (Wang *et al.*, 2015).

La glomaline contient environ 37 % de carbone et, dans l'environnement du sol, se caractérise par une persistance allant de plusieurs mois à plusieurs années (Rillig *et al.*, 2001 ; Rillig, 2004).

Le rôle de la glomaline dans les écosystèmes et l'influence de l'occupation des sols sur sa teneur et sa stabilité ont été étudiés par Treseder et Turner (2007) et Bedini *et al.* (2007), entre autres. Il a été constaté que la glomaline peut être utilisée comme un indicateur efficace de la qualité du sol (Fokom *et al.* 2012, Vasconcellos *et al.* 2013) et comme l'un des critères pour définir les stratégies de gestion agricole (Fokom *et al.*, 2013). Glomaline était supposé être un indicateur sensible des changements de carbone du sol (Rillig *et al.* 2003).

Chapitre 01 : Les mycorhizes

Selon Aguilera et *al.* (2018), le champignon mycorhizien arbusculaire a le potentiel d'atténuer la phytotoxicité de l'Aluminium grâce à une barrière chimique, dans laquelle la glomaline séquestre l'Aluminium au-delà de la surface des racines, ce qui semble être un trait important de champignon mycorhizien arbusculaire et serait utilisé pour développer des stratégies de gestion des sols acides avec niveaux élevés d'Aluminium.

Chapitre 02 : La steppe

Chapitre 02 : La Steppe

2.1 La Steppe

2.1.1 Définition

La steppe est «une formation végétale, primaire ou secondaire; basse et ouverte dans sa physionomie typique et inféodée surtout aux étages bioclimatiques, arides et désertiques dont elle est l'expression naturelle » (Pouget 1980 ; Barbouze et Donnadiou 1987).

Le terme steppe, comme le définit (Le Houérou, 1995) évoque d'immenses étendues plus ou moins arides, à relief peu accusé, couvertes d'une végétation basse et clairsemée. Par contre plusieurs auteurs tels que (Senoussi *et al*, 2011), considèrent que la steppe comme un espace qui constitue une zone tampon entre le désert du Sahara et la " ceinture verte " du nord du pays. Pays des grands espaces plats et élevés où l'arbre est rare ou absent, l'alfa et l'armoïse sont les espèces caractéristiques.

C'est un écosystème caractérisé par une formation végétale hétérogène discontinue plus au moins dense, composée de plantes herbacées et arbustives xérophytes de hauteur limitée, et par des sols généralement maigres à faible taux en matière organique (Kadi et Achour, 2004).

Pour la phytogéographie, il s'agit de formations végétales basses et ouvertes, dominées par des espèces pérennes particulièrement des xérophytes en touffes, dépourvues d'arbres, où le sol nu apparaît dans des proportions variables (Le Houer ou, 1969 ; Adour, 1998).

2.1.2 Délimitation géographique de la steppe algérienne

Couvrant 20 millions d'hectares, la steppe algérienne forme un ruban s'étendant sur 1000 kilomètres de long et 300 kilomètres de large, se rétrécissant à seulement 150 km vers l'Est (Mohammedi, 2015). Nichées entre l'Atlas saharien au Sud et l'Atlas tellien au Nord (Figure 07), les steppes algériennes sont un spectacle à ne pas manquer, l'isohyète 400 mm crée une barrière au nord, coïncidant avec l'extension des cultures céréalières sèches. Pendant ce temps, au sud, l'isohyète 100 mm sert de limite sud à l'extension de l'alfa (*Stipa tenacissima*) (Hellal *et al*, 2014 ; Khaldi, 2014).

Les sols bioclimatiques varient ici du semi-aride inférieur frais au per-aride supérieur frais. Un tel zonage bioclimatique est actuellement en cours d'évaluation par des chercheurs qui étudient les impacts à la fois du changement climatique et du processus de désertification sur ces limites. En particulier, (Boubakeur 2009 et Nedjraoui *et al* 2008) se penchent sur ces questions. Ne couvrant que 4,8% du territoire algérien, la steppe joue un rôle crucial dans la

Chapitre 02 : La Steppe

protection de l'immense Sahara. Cela peut sembler petit comparé aux 84% qu'occupe le désert, mais l'importance de la steppe est immense. Cependant, la steppe est en lutte constante contre la désertification qui menace sa survie et les dures conditions du Sahara adjacent.

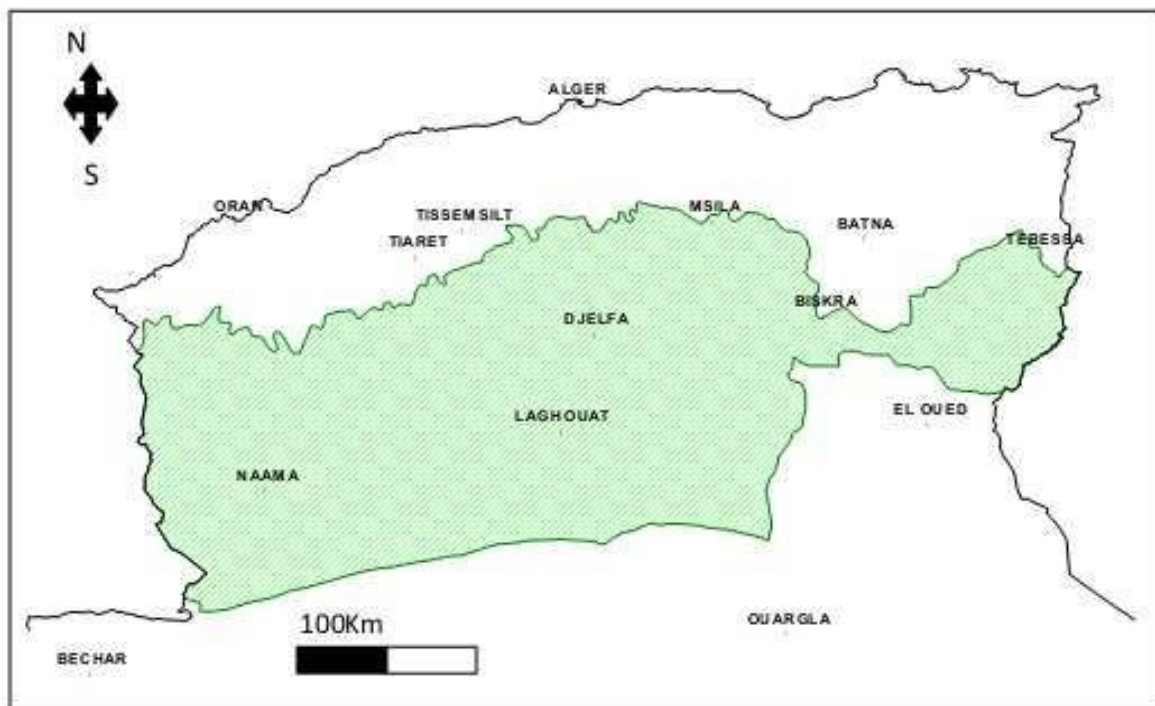


Figure 07 : Limites de la steppe algérienne (Nedjraoui et *al*, 2008).

Ne couvrant que 4,8% du territoire algérien, la steppe joue un rôle crucial dans la protection de l'immense Sahara. Cela peut sembler petit comparé aux 84% qu'occupe le désert, mais l'importance de la steppe est immense. Cependant, la steppe est en lutte constante contre la désertification qui menace sa survie et les dures conditions du Sahara adjacent

2.1.3 Caractéristiques climatiques

La steppe algérienne se caractérise par un climat semi-aride septentrional et la bordure sud a un climat sec. Les phases bioclimatiques vont du semi-aride inférieur frais où chaque couche supérieure froide est sèche. Les précipitations annuelles moyennes sont de

Chapitre 02 : La Steppe

271 mm, le mois le plus froid a une température minimale moyenne de $-0,5^{\circ}\text{C}$ et une température maximale moyenne la plus chaude est de $34,5^{\circ}\text{C}$. La Période sécheresse dure généralement plus de 7 mois d'avril à octobre (Benabdeli, 2000).

D'après Bouchoukh (2010), la zone aride se caractérise par une chaleur excessive et une précipitation insuffisante et variable; on y trouve cependant des contrastes climatiques. Ceux-ci résultent en général des différences de températures, de saison des pluies et de degré d'aridité.

2.1.4 Caractéristiques édaphiques

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 Guit, 2012) et (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). Les sols carbonates sont les plus répandus en Algérie notamment dans les écosystèmes steppiques et présahariens où ils représentent des vastes étendus encroutées. La steppe proprement dite ; généralement impropre aux cultures et à l'arboriculture, servant de terrain de parcours.

2.1.5 Les causes de la dégradation de la steppe

2.1.5.1 Les causes naturelles

La désertification, phénomène de perte de productivité des terres, est à la fois problème De l'Environnement et de Développement (Cornet, 2002). Cela a à voir avec le comportement humain et la variabilité climatique, mais aussi les changements de la biodiversité, en particulier dans le Maghreb (Hobbs et *al*, 1995). La Désertification dans les steppes d'Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie) est jugée préoccupante par les experts de ces régions (Abaab et *al*, 1995).

Chapitre 02 : La Steppe

Plus de 95 % des sols des zones arides sont calcaires, gypseux ou salins (Hallitim, 1988). En raison de la température élevée à long terme Tout au long de l'année, les précipitations subissent une évaporation intense après infiltration, ce qui entraîne des remontants vers la surface, les particules dissoutes se rassemblent dans la croûte.

Selon Pouget (1980), il existe deux types de dépressions salées aux niveaux des régions arides et semi-arides dont les termes vernaculaires sont Chott et Sebkha, la différence entre ces deux noms réside dans le mode d'alimentation.

Les écosystèmes steppiques sont marqués par une grande variabilité interannuelle des Précipitations. La diminution des précipitations est de l'ordre de 18 à 27% et la durée de la saison sèche aurait augmenté de 2 mois entre 1913-1938 et 1978-1990 (Djellouli et Nedjraoui, 1995).

Des données enregistrées montrent que ces phénomènes ont provoqué d'énormes pertes: près de 600.000 ha de terres en zone steppique sont totalement désertifiées sans possibilité de remontée biologique et près de 6 millions d'hectares sont menacées par les effets de l'érosion hydrique et éolienne (Ghazi et La Houati, 1997).

Les risques d'érosion éolienne et hydrique sont forts en steppes arides en raison de la violence des événements climatiques et de la faible protection du sol par la végétation. L'importance du recouvrement végétal est à la fois une conséquence de l'érosion et un indice de risque érosif, que l'on peut associer à des indices d'érodibilité pour faire des prédictions (Bensouiah, 2006).

Dans un milieu ouvert où la végétation a un recouvrement inférieur à 30%, l'action du vent opère un tri en emportant les fines particules telles que le limons et les argiles et laisse sur place des sols squelettiques à dominance d'éléments grossiers présentant un faible pouvoir de rétention d'eau, qui ne peut favoriser la remontée biologique. Ce type d'érosion provoque une perte de sol 150 à 300 t/ha/an, dans les steppes défrichées (Le Houérou H. N., 1996).

2.1.5.2 Les causes anthropiques (humains)

L'effectif du cheptel, pâturent en zones steppiques et dont la composante prédominante est la race ovine (environ 80% du cheptel), n'a cessé d'augmenter des 1968 à 1996 (6000 à 17000 têtes). Les troupeaux sont de petite taille car plus de 70% des propriétaires possèdent moins de 100 têtes et 90% des populations ovines appartiennent à des éleveurs privés. L'effectif du cheptel est traduit en équivalents-ovins, en utilisant les taux de conversion donnés

Chapitre 02 : La Steppe

par (Le Houerou 1985) et qui sont équivalents aux normes établies par l'Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT).

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 Houérou, 2001).

Compte tenu de l'état de dégradation des écosystèmes naturels et de la forte pression humaine et animale qui s'exerce sur ces écosystèmes, la reconstitution du couvert végétal ne peut plus être assurée dans la plupart des cas par les mécanismes naturels de régénération et nécessite le recours à des techniques récentes d'aménagement et de gestion des terres. Ces techniques se basent sur l'utilisation judicieuse des eaux de pluie et la plantation d'espèces ligneuses contribuant aussi bien à l'accroissement de la production qu'à la protection des sols contre l'érosion (Le Houérou, 1992).

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 (Nedjimi, 2012 a. Benabdeli, 2000).

Selon Chermat et *al.* (2016) la végétation de type steppique, sous l'effet de la forte pression anthropique et des aléas climatiques, connaît une modification notable de sa composition floristique. Cette évolution du tapis végétal se manifeste par une régression du taux de recouvrement, qui a chuté jusqu'à 80 % par endroits, et par la prédominance des espèces refusées par le bétail telles que : *Astragalus armatus*, *Atractylis serratuloides*, *Deverra scoparia*, *Erodium glaucophyllum*, *Hammada scoparia*, *Peganum harmala*, *Tetraena simplex*, *Thymelaea microphylla*. L.

2.2. Généralités sur l'*Astragalus armatus* et *Peganum harmala*

2.2.1 L'espèce *Astragalus armatus*

Astragalus armatus Willd. (Fabaceae) connu localement sous le nom de "ketad" est une espèce endémique à l'Algérie.



Figure 08: *Astragalus armatus* willd (APD, 2021).

2.2.1.1 Place dans la systématique

Selon la Classification APG III (2009) ; cette espèce suit la classification suivante :

Règne : Plante (plantae)

Classe : Dicotylédones

Sous classe : Dialypétales

Ordre : Fabales

Famille : Fabacées

Sous famille : Papilionacées

Tribu : Galegée

Genre : *Astragalus*

Espèce : *Armatus*

Sous espèce : *Astragalus armatus ssp.numidicus* (Coss. et Dur.) M

2.2.1.2 Description botanique

D'après Quezel et Santa (1962), *Astragalus armatus* Willd. Est une plante à gousses enfermées dans le calice fortement accrescent, vésiculeux papiracé, glabre réticulé. Arbuste de 20-50 cm à tiges plus au moins diffuses à rachis de feuilles s'indurant et se transformant en épines très fortes, à 3-8 paires de folioles très vite caduques. Fleurs d'un blanc rosé. Son nom vernaculaire est le suivant « Gdad », « El Guendoul » et « Chouk edderban » (APD, 2021).

2.2.1.3 Répartition géographique

Selon APD (2021), *L'Astragalus armatus* se rencontre au Maroc en Tunisie et en Algérien. Ils sont représentés par plus de 50 espèces délimitées dans plusieurs sections et dont 15 sont trouvées au Sahara de l'Algérie. Dans la flore de l'Afrique du Nord, 10 espèces d'*Astragalus* sont endémique en Algérie, le Maroc et la Tunisie (Anastas ,1998 et Bahn et *al.*, 2011).

2.2.2 L'espèce *Peganum harmala*

L'espèce *Peganum harmala* L., est une plante de la famille des Zygophyllaceae, les plantes appartenant à cette famille, sont très reconnaissables à l'aspect de ses herbes, arbustes, ou arbres. Dans la classification de Sheahan et Chase, (1996) constituent une famille avec environ 285 espèces, qui se subdivisent en cinq sous-familles et 27 genres. Elles sont largement distribuées dans les régions arides, semi-arides, les terrains salés, et les pâturages désertiques (Tahrouch et al, 1998 ; Asgarpanah et Ramezanloo, 2012).

Le genre *Peganum* tient son nom du grec et est attribué aux espèces de la rue, alors que le nom de l'espèce harmala dérive de celui de la ville Libanaise Hermel (Mars, 2009).



Figure 09: L'espèce *Peganum harmala* (Originale, 2023).

- **Classification botanique**

Bien qu'il appartienne à la famille des Zygophyllaceae mais sa position taxonomique est encore discutable et on a proposé une famille séparée Nitrariaceae pour ce genre (Shehan et chase, 1996). Cette espèce suit la classification suivante :

Embranchement Spermatophytes

Sous embranchement Angiospermes

Classe Dicotylédones

Sous classe Rosidae

Ordre Sapindales

Famille Zygophyllaceae

Genre *Peganum*

Espèce *Peganum harmala* L (Ozenda, 1991)

Chapitre 02 : La Steppe

- **Répartition géographique**

Cette plante est largement distribuée à travers le monde. Elle est particulièrement répandue dans les zones arides et sèches méditerranéennes dans les sols sableux et légèrement nitrés (Iserin, 2001). Selon Hammiche et *al.*, (2013) l'aire de répartition de cette espèce est comme suit :

- En Europe, elle est très commune dans les zones sèches, de l'Espagne à la Hongrie jusqu'aux steppes de la Russie méridionale.
- En Asie, elle est répandue dans les steppes de l'Iran et du Turkestan jusqu'au Tibet.
- Aux Etats-Unis, on la trouve en Arizona et au Texas ou on la nomme « Mexicanrue ».
- En Afrique, elle est, particulièrement, abondante dans les zones arides méditerranéennes du Moyen-Orient au Nord de l'Afrique (Tunisie, Sahara septentrional et central en altitude, Hauts-Plateaux algériens et Oranie, Maroc oriental)

En Algérie, *Peganum harmala* L est commune aux hauts plateaux, au Sahara septentrional et méridional, et aux montagnes du Sahara central. Il est réputé pour les terrains sableux, dans les lits d'oued et à l'intérieur des agglomérations (Ozenda, 1991).

Chapitre 03 : Matériel et Méthodes

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

3.1. Présentation des régions d'étude

Pour atteindre notre objectif nous avons choisi la *Commune Oued M'zi* 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

Au cœur de la chaîne montagneuse des Amours, centre de l'Atlas saharien, notre zone d'étude se situe au Sud West de la Commune Oued M'Zi (Fig10), au Nord-Ouest de la wilaya de Laghouat, elle est délimitée au Nord par les commune d'Oued Morra et d'Aflou, et au Sud par les communes d'Ain Madhi et El-Gheicha et Tadjmout. Notre zone d'échantillonnage se situe sur les cordonnés suivantes : position Sud Est, altitude 936m, (33.54° 997 N), (02.26 °.126E).

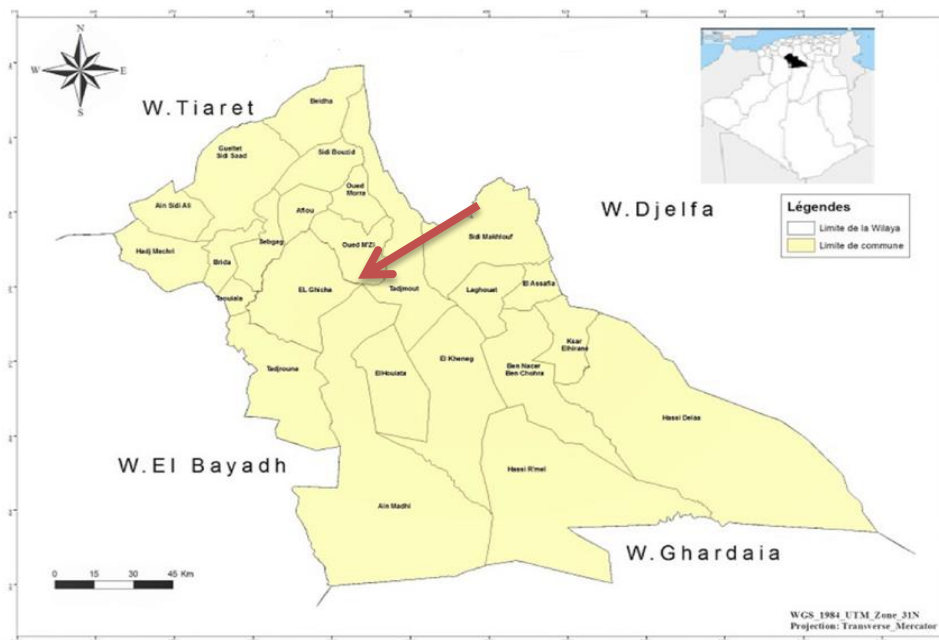


Figure 10 : Carte de localisation de la Commune Oued M'Zi.

3.3 Echantillonnage des sols sur le terrain

Le prélèvement des sols sous la végétation des espèces : *A.armatus* et *P. harmala* et des sols dépourvu de végétation (figure11), a été réalisé au mois Mars et Avril 2023, le prélèvement a été fait sous les coordonnées suivantes : 33°55'20.1N : 2°25'24.3 E.

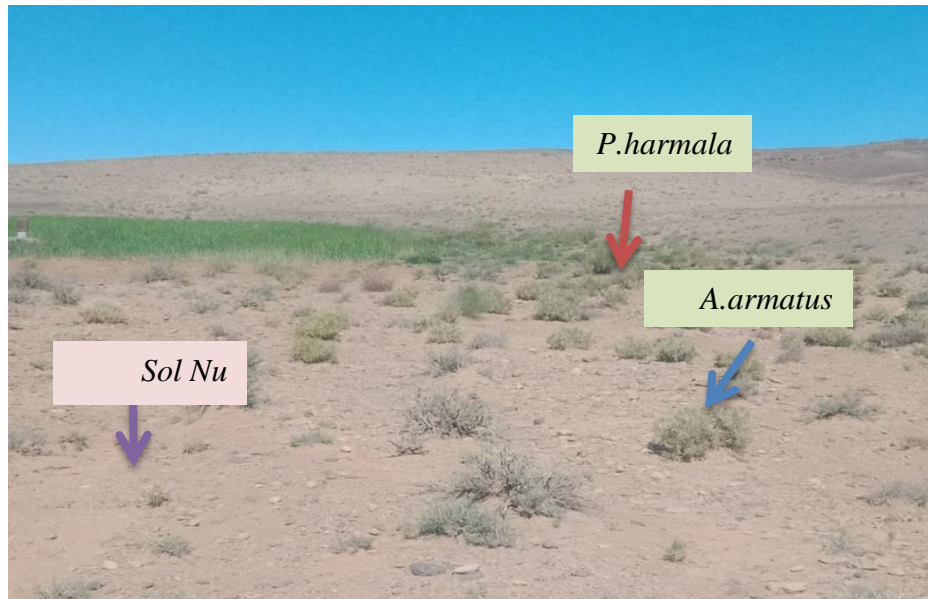


Figure 11: Présentation de la zone et de la méthode d'échantillonnage.

Nous avons pris 3 répétitions pour chacun. Les sols des trois échantillons sont prélevés à partir d'un profil racinaire de 15-20 cm de profondeur. Nous avons prélevé un poids de 500g pour chaque répétition. Les échantillons ont été conservés dans des sacs en plastique portant les informations suivantes : le nom du sol sous la plante ou hors plante, le numéro de la répétition, ensuite transportés au laboratoire et conservés à des températures ambiantes. Puis tamisés (2 mm pour le diamètre des mailles) pour obtenir une terre fine. La quantité du sol prélevé a été suffisante pour réaliser les analyses physiques et chimiques des sols, ainsi que le dosage de la glomaline. Des prélèvements des fragments racinaires de chaque plante ont été aussi réalisés au fur et à mesure pour faire des observations microscopiques des champignons mycorhiziens et calculer le taux de mycorhization.

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

Dans la figure 12 , on présente les espèces étudiées et le mode de prélèvement du sol.



Figure12. : Mode de prélèvement du sol sous la végétation et hors végétation.

3.4 Quantification de la glomaline

Les glycoprotéines, par exemple les protéines du sol liées à la glomaline (GRSP), sont des substances organiques collantes produites par les champignons mycorhizes arbusculaire.

La glomaline est une glycoprotéine hydrophobe et tolérante à la chaleur produite par les champignons mycorhizes à arbuscules (CMA). On la trouve sur les hyphes et les spores de champignons, dans la matière organique du sol. Cette présence est révélatrice d'un sol en santé, souvent le résultat de pratique de travail du sol réduit et d'une abondance de résidus de culture. La glomaline agit comme un liant (une colle) permettant ainsi de stabiliser les agrégats du sol.

3.4.1 Description de la méthode de dosage

Le protocole est inspiré selon Wang *et al* (2014), la glomaline dans les sols se définit comme des protéines du sol liées à la glomaline (glomaline- related soil protein : GRSP). Koide and peoples (2013) classifient la glomaline selon 3 fractions :

- **Fraction 1** : les protéines du sol réactives au Bradford (Bradford-réactive soil protein : BRSP) qui correspondent à la fraction labile ;
- **Fraction 2** : les protéines du sol réactives au Bradford (Bradford-réactive soil protein : BRSP) qui correspondent à la fraction récalcitrante ;
- **Fraction 3** : 1+2= total BSRP.

3.4.2 Mode opératoire

3.4.2.1. Prélèvements de sol rhizosphérique

Les prélèvements sont réalisés sur une profondeur de 10 à 15 cm à proximité de la plante étudiée : directement sous celle-ci, avec une partie importante de son système racinaire.

3.4.2.2 Extraction de la glomaline

Les **BRSP** sont extraites après passage à l'autoclave. Les fractions extraites sont dosées avec le réactif de Bradford au spectrophotomètre dans le visible 595nm. Le sol prélevé est tamisé puis stocké à 4°C. Peser 0,5 g dans un tube à centrifuger en polypropylène. Centrifuger les tubes à 10 000 rpm.

3.4.2.3 Détection

Récupérer les micropipettes dans un autre tube pour doser cette **fraction 1** de BRSP en utilisant la BSA (Bovine Serum Albumin) comme standard. Ajouter le tampon citrate dans le tube contenant le culot puis autoclaver. Centrifuger les tubes à 10 000 rpm (Fig13). Récupérer le surnageant dans un autre tube à centrifuger 15 min pour doser cette **fraction 2** de BSRP selon le protocole « Dosage des protéine Méthode Bradford » en utilisant la BSA (Bovine Serum Albumin) comme standard.

➤ **Solution tampon citrate**

21 g d'acide citrique dans 200ml d'eau distille en agitant 200ml d'hydroxyde de sodium 1M, 210ml d'acide chlorhydrique 1M et 300ml d'eau distillée. Compléter à 100ml avec de l'eau distillée.

➤ **Le réactif de Bradford**

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

Le réactif de Bradford est un mélange homogène de bleu de Coomacie G 250 (0.06g), d'acide orthophosphorique (3g), de chlorure de sodium (2.92g), et d'eau distillée (100ml).

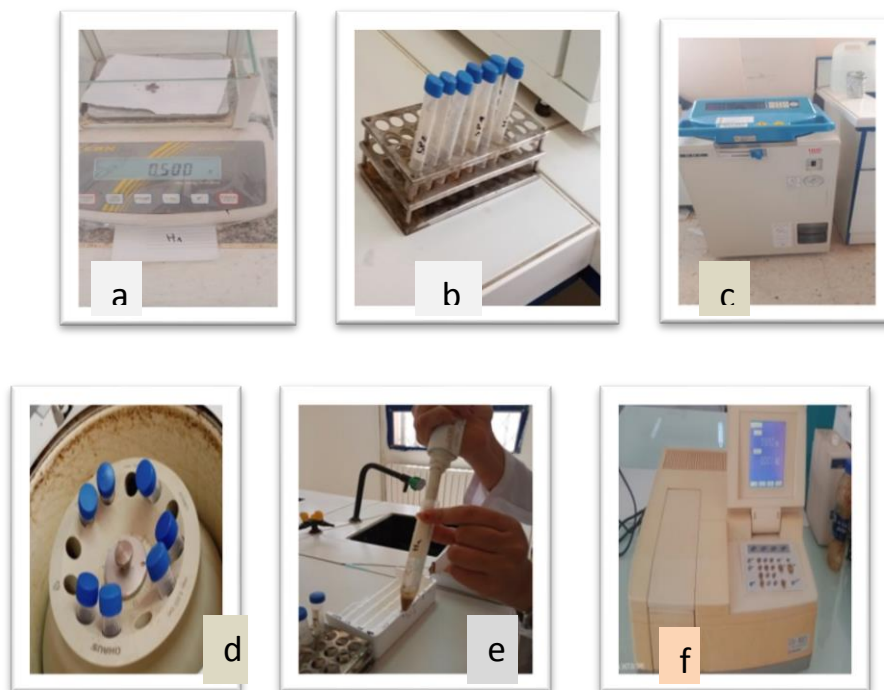


Figure 13: Étapes d'extraction de la glomaline (original 2023).

3.5 Analyse physiques et physico-chimique et chimiques du sol

3.5.1 Mesures physiques

3.5.1.1 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

3.5.1.2 Mesure chimique et physico-chimique et physique

3.5.1.2.1 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 (fig16)

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



Figure 16 : Mesure du pH.

3.5.1.2.2. 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

- 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.

3.5.1.2.3 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.

- **Protocole expérimental (dosage du carbone organique) :**

- **Méthode à la ferrions :**

- Peser 0.25 g de sol dans une fiole conique de 250ml et y ajouter 10ml de dichromate de sodium 1N ;
- Ajouter 20ml d'acide sulfurique concentré, agiter vigoureusement pendant 1 minute et laisser reposer pendant 30 minutes ;
- Titrer l'excès de dichromate de potassium avec le sulfate ferreux 0,5N. lors de l'apparition de la coloration violette ou bleu, titrer lentement jusqu'à la coloration finale verte.
- Les témoins doivent être analysés juste avant le titrage des échantillons de sols.
- Si le point de virage est dépassée, ajouter 0.5ml de la solution de dichromate de potassium 1N et poursuivre le titrage.
- Considérant que 1ml de dichromate de potassium 1N = 4mg de carbone.

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

$$\% C = \frac{\text{ml de dichromate de potassium 1N en excès} \times 0.004 \times 100}{\text{Poids du sol (g)}}$$

On considère que la matière organique M.O= C x 1.724.

3.5.1.2.4 Dosage du calcaire total

➤ **Mode opératoire** (fig17.)

- 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 :

$$\text{Taux de CaCo3 en \%} = (P' * v) / (P * V) * 100$$

- 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 17 : Détermination du calcaire total (original, 2023).

3.6. 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.

3.6.1 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 (Fig18). 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 18 : Eclaircissement des fragments racinaires par KOH au bain marie.

3.6.2 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.

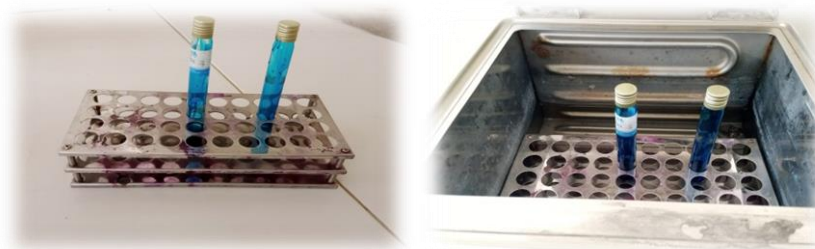


Figure 19 : Coloration des racines par le bleu de trypan.

3.6.3 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 (Fig20).

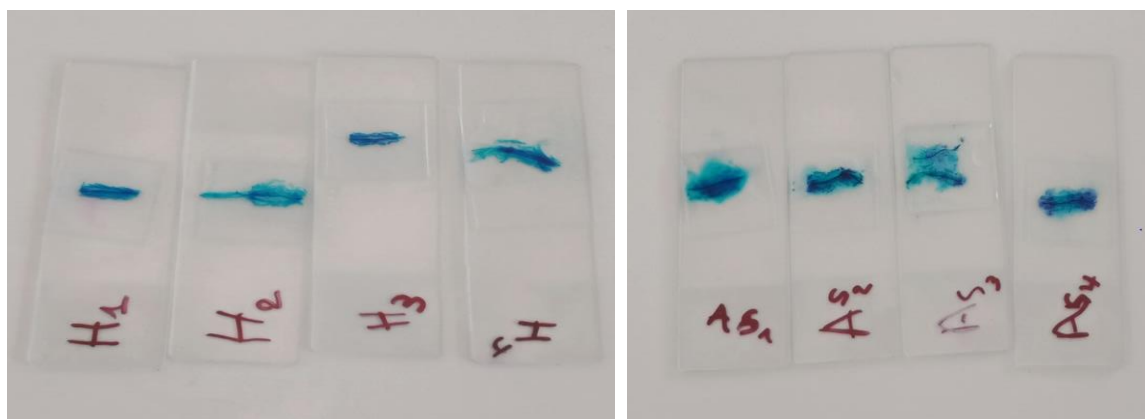


Figure 20 : Fragments de racines colorés (H : racine de harmale et A : racine d'astragale).

3.6.4 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).

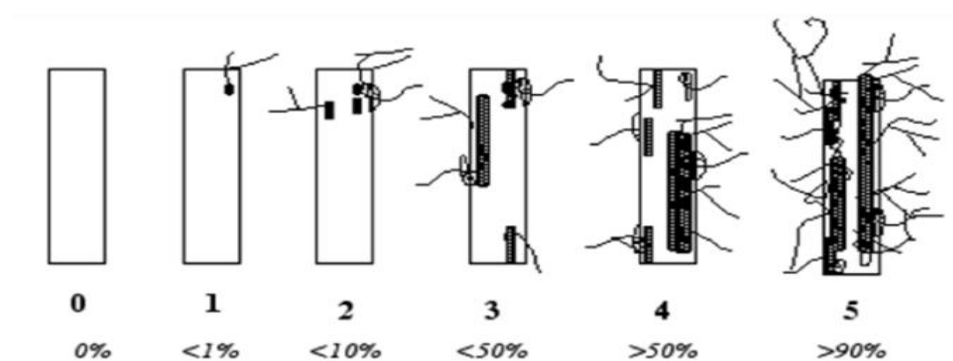


Figure 21 : Notation du degré de mycorhization des fragments racinaires.

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%

1. **Fréquence de la mycorhization** : $F\% = (\text{nombre de fragments mycorhizes} / \text{nombre total de fragments observés}) \times 100$
2. **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.
3. **Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés** : $m\% = M \times (\text{nombre total de fragments observés}) / (\text{nombre de fragments mycorhizés}) = M \times 100 / F$.

4. **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 $A3$, $A2$, $A1$. Avec $m_{A3} = ((95n_{5A3}+70n_{4A3}+30n_{3A3}+5n_{2A3}+n_{1A3})/\text{nombre de fragments mycorhizés}) * 100/m$, de même pour $A2$ et $A1$.
5. **Intensité arbusculaire dans le système racinaire** : $A\% = a \times (M/100)$

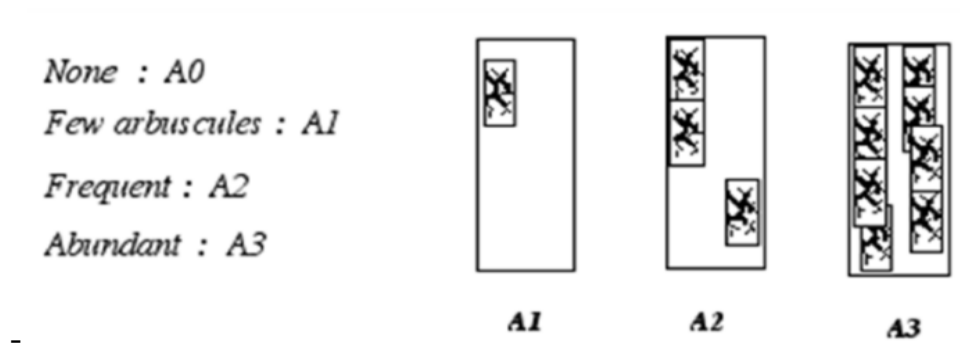


Figure 22 : Notation de l'abondance des arbuscules dans les fragments racinaires d'après Trouvelot et *al* 1986.

3.7 Analyses statistiques

Nous avons traité les données enregistrés 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 Trouve lot et *al.* (1986). Les observations de la mycorhization chez les deux plantes étudiées sont présentées dans la figure 23, nous pouvons voir nettement les hyphes et les vésicules.

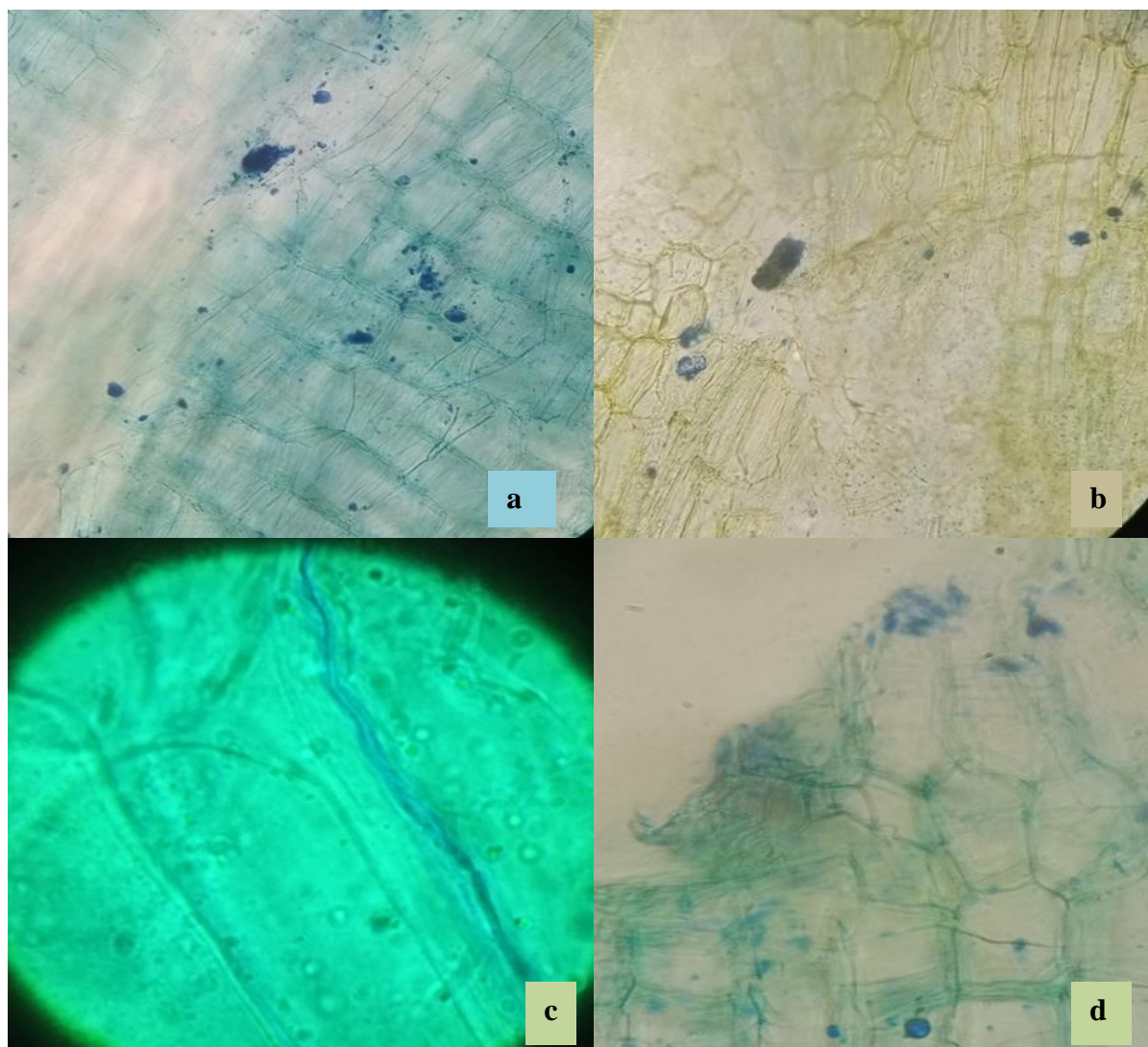


Figure 23 : Champignon MA colorée au bleu de trypan chez *A. armatus* (a.c) et *P. harmala* (b.d) (GX40) (original, Mai 2023).

Chapitre 04 : Résultats et discussion

Les résultats de calcul du degré de mycorhization racinaire chez les deux espèces sont présentés dans la figure 24.

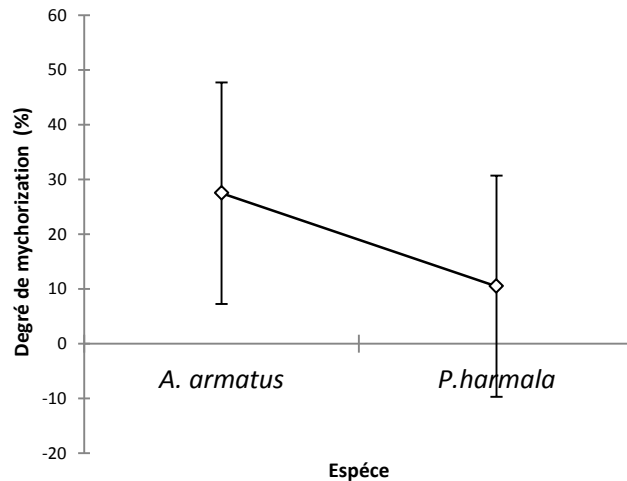


Figure24 : Degré de mycorhization des fragments racinaires.

Les résultats obtenus pour ce paramètre, nous ont permis de classer cette mycorhization selon le classement de Trouvelot et *al.* 1986 en **classe 03** ($\leq 50\%$), donc il existe une mycorhization chez les deux plantes steppiques, l'analyse statistique a révélé une différence non significative entre les deux espèces (Anova : $P=0.19$, Annexe 01), Nous avons noté que *P.harmala* a présenté la plus faible moyenne (11%), l'*A. armatus* a présenté une valeur plus élevée (28%), bien que les deux moyennes ont été classées dans le même groupe statistique (A).

4.1.2 Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines

a. Fréquence de la mycorhization : F%

Les résultats de calcul Fréquence de la mycorhization racinaire chez les deux espèces sont présentés dans la figure 25.

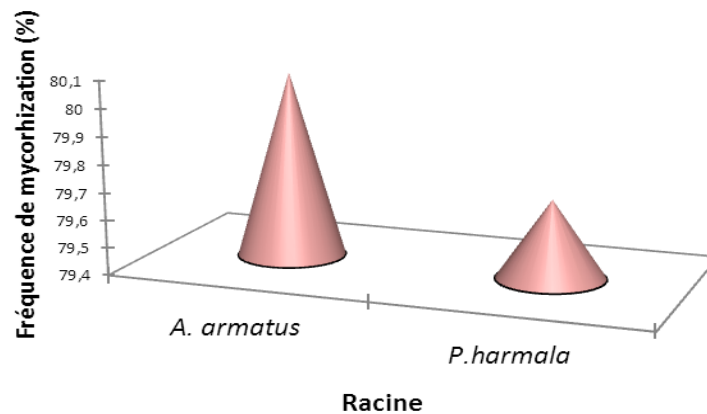


Figure25 : Fréquence de la mycorrhization chez *A.armatus* et *P. harmala*.

L'analyse de la variance en annexe 01, a révélé une différence non significative ($P=0,17$) entre les deux espèces étudiées. Les moyennes enregistrées ont indiqués des Fréquences entre 79.60 et 80.07%.

Nous avons noté que *P.harmala* a présenté une moyenne de 79.60 %, l'*A .armatus* a présenté une valeur de 80.07 %. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans le même groupe statistique A.

b. Intensité de la mycorrhization : M%

Les résultats de calcul de l'Intensité de mycorrhization racinaire chez les deux espèces sont présentés dans la figure26.

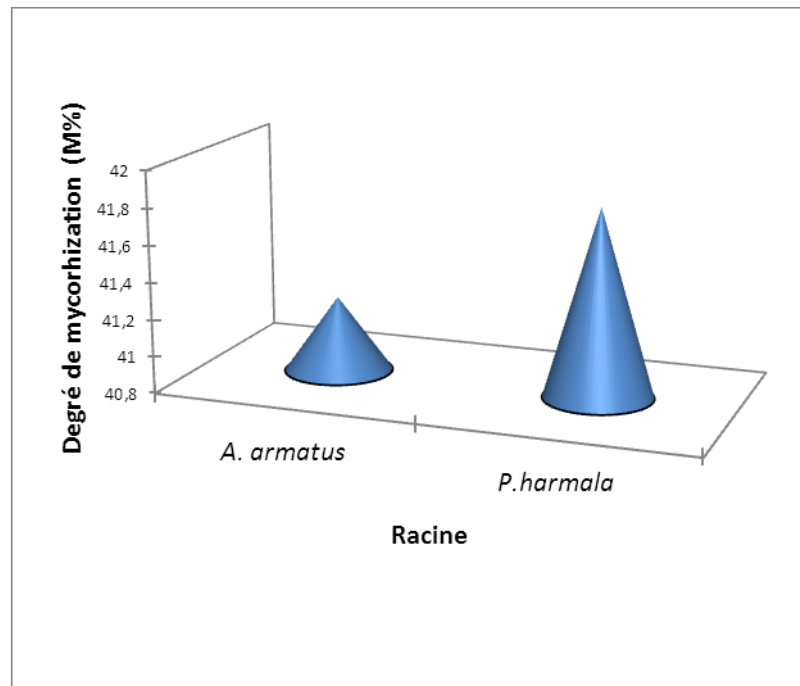


Figure 26: Intensité de mycorrhization (M%)chez *A.armatus* et *P. harmala*.

L'analyse de la variance en annexe 01, a révélé une différence non significative ($P=0,1779$) entre les deux espèces étudiés. Les moyennes enregistrées ont indiqués des moyennes entre 41,21 et 41,82% du degré de mycorrhization des racines des plantes étudiées.

Nous avons noté que *l'A .armatus* a présenté la valeur de 41,21 %, alors que *P.harmala* a présenté une valeur de 41,82 %. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans le même groupe statistique A.

c. Intensité de mycorrhization des fragments mycorhizés : m%

Les résultats de calcul de l'Intensité de mycorrhization des fragments mycorhizés de la mycorrhization racinaire chez les deux espèces sont présentés dans la figure27.

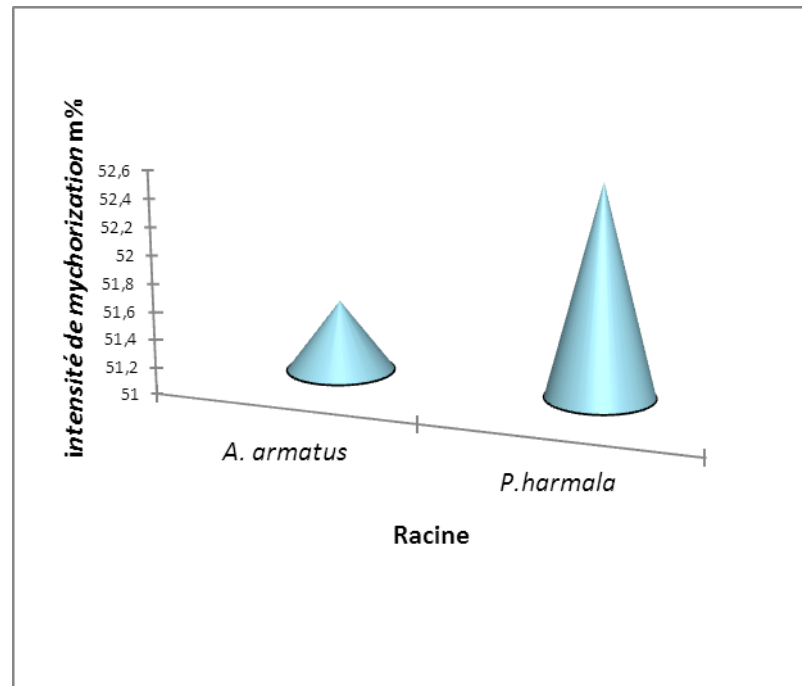


Figure27 : Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés (m%) chez *A.armatus* et *P. harmala*.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence non significative ($P=0,1779$) entre les deux espèces étudiés. Les moyennes enregistrées ont indiqués des intensités de mycorhization entre 51.52 et 52.54 % des fragments mycorhizés.

Nous avons noté que l'*A .armatus* a présenté la valeur de 51.52 %, et *P.harmala* a présenté une valeur de 52.54 %. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans le même groupe statistique A.

d. Le nombre de vésicules dans les fragments racinaires

Les résultats de calcul des vésicules des fragments racinaires a été estimé par simple observation au microscope (Gx40), le nombre chez les deux espèces sont présenté dans la figure 28.

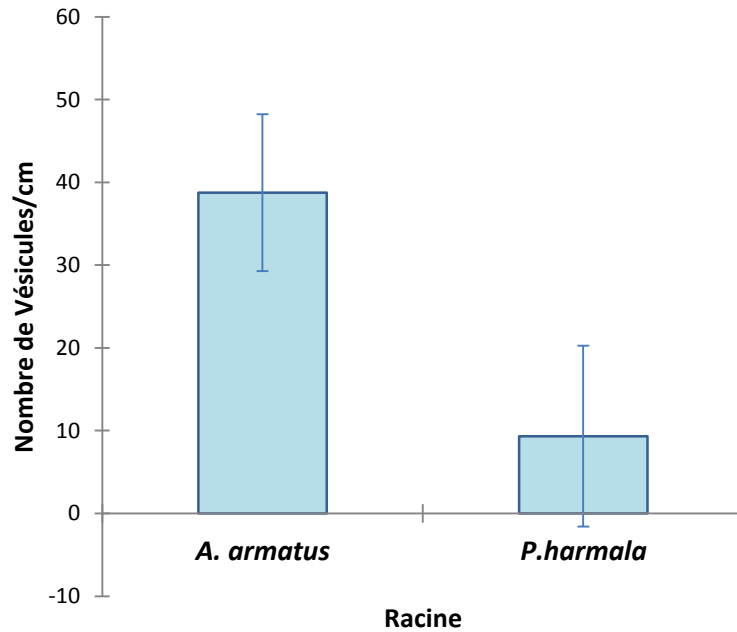


Figure28 : Le nombre de vésicules dans les fragments racinaires (1cm) chez *A.armatus* et *P. harmala*.

L'analyse de la variance en annexe 01, a révélé une différence hautement significative ($P=0,0008$) entre les deux espèces étudiés pour ce paramètre. Les moyennes enregistrées ont indiqués des vésicules entre 9.33 à 38.75 vésicules dans le fragment racinaire (1cm).

Nous avons noté que *P. harmala* a présenté la plus faible moyenne (9.333 vésicules/cm), l'*A. armatus* a présenté une valeur de 38.7 vésicules/cm. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans deux groupes statistiques A et B (annexe 1).

4.1.3 Dosage de la glomaline dans le sol

Les résultats que nous avons obtenus en analysant 6 échantillons du sol sous la végétation (sous les deux plantes étudiées) et hors végétation sont présentés dans la figure29.

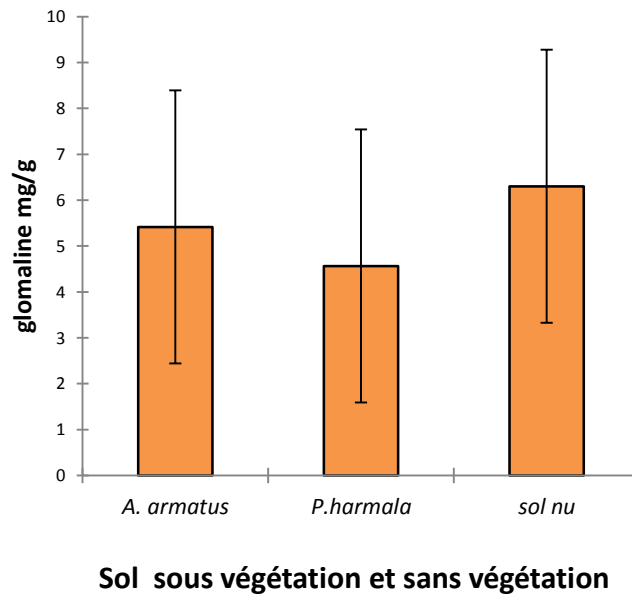


Figure29: Dosage de la glomaline dans les sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01, a révélé une différence non significative ($P=0.67$) entre les deux espèces étudiés et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs en glomaline dans la zone étudiée qui oscillent entre 4.56 mg/g et 6.30mg/g de sol.

Nous avons noté que *P.harmala* a présenté la plus faible moyenne (4.56mg/g), l'*A.armatus* a présenté une valeur intermédiaire (5.41 mg/g), la moyenne la plus élevée a été enregistrée dans le sol nu avec une valeur de 6.30 mg/g du sol. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans le même groupe statistique A (annexe1).

4.1.4 Les analyses chimiques des sols

4.1.4.1 Le pH du sol

Les résultats que nous avons obtenu en analysant 6 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la figure 30.

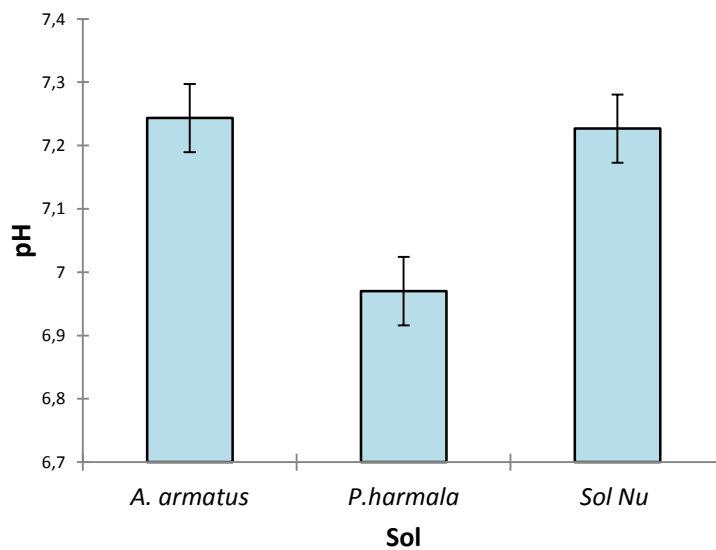


Figure 30 : pH des sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence hautement significative ($P=0,0085$) entre les deux espèces étudiés et le sol nu pour ce paramètre. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs en pH dans la zone étudiée qui oscillent entre 6.97 et 7.24. Les échantillons des sols sont classés comme des sols à pH neutre.

Nous avons noté que *P. harmala* a présenté la plus faible moyenne 6.97, quant à la valeur du pH du sol de *A. armatus* a été de 7.24, le sol nu a présenté un pH de 7.22. Statistiquement les moyennes ont été regroupées en deux groupe statistique différents A et B (annexe1), il apparait que la présence de *P. harmala* dans un milieu fait diminuer le pH.

4.1.4.2 La conductivité électrique (CE)

Les résultats que nous avons obtenus pour la CE, en analysant 6 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la figure 31.

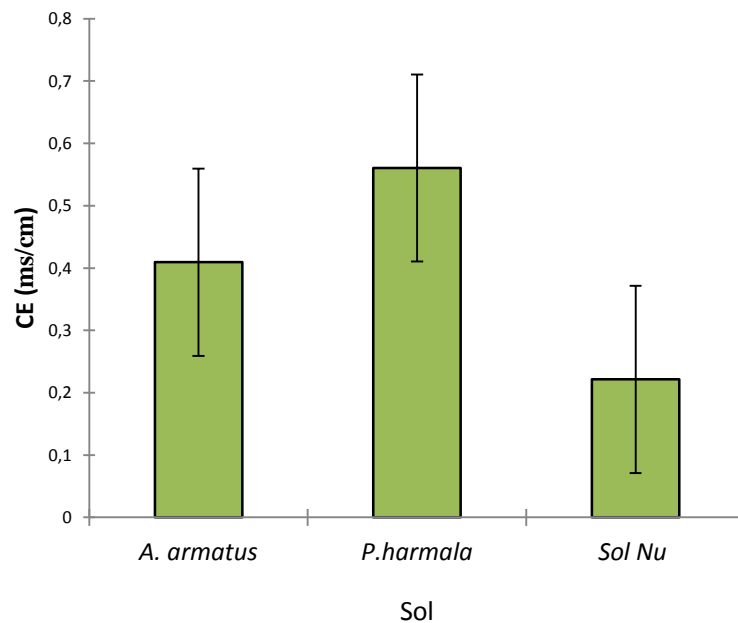


Figure 31 : La conductivité électrique des sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence significative ($P=0,0353$) entre les deux espèces étudiés et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs en CE dans la zone étudiée qui oscillent entre 0.30 ms/cm et 0.47 ms/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 (0.30 ms/cm), l'A .armatus a présenté une valeur intermédiaire (0.40 ms/cm), la moyenne la plus élevée a été enregistrée dans le sol de P.harmala avec une valeur de (0.47 ms/cm). Statistiquement les moyennes ont été regroupées en deux groupes statistiques différents A et B (annexe1).

4.1.4.3 Calcaire (CaCO_3 %)

Les résultats que nous avons obtenus en analysant 6 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la figure 32.

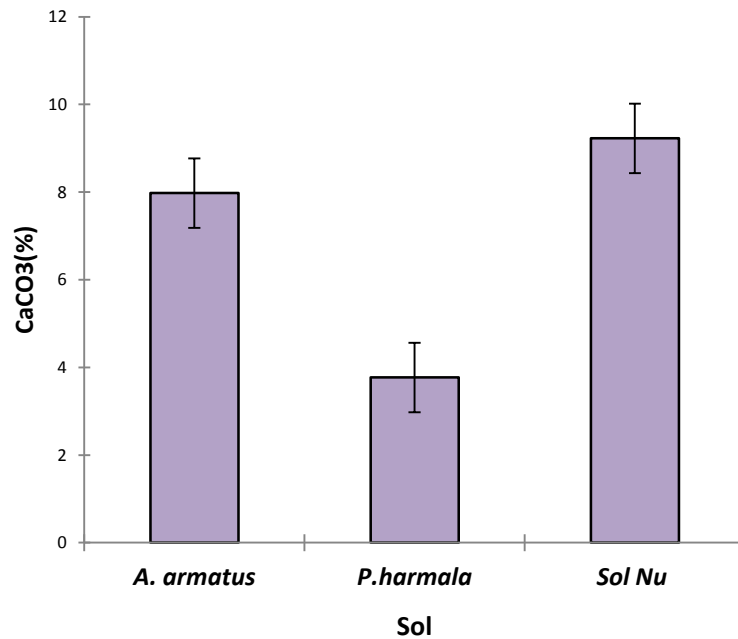


Figure 32 : Le taux de calcaire des sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence significative ($P=0,0073$) entre les deux espèces étudiées et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs en CaCO_3 dans la zone étudiée qui oscillent entre 5.38 et 8.10%. Selon les normes de calcaire des sols en annexe 2, les sols sont classés comme des sols à calcaire moyen.

Nous avons noté que *P.harmala* a présenté la plus faible moyenne (5.38%), l'*A.armatus* a présenté une valeur intermédiaire (7.48%), la moyenne la plus élevée a été enregistrée dans sol nu avec une valeur de 8.10%. Statistiquement les moyennes ont été regroupées en deux groupes statistiques différents A et B (annexe 1).

4.1.4.4 Matière organique MO (%)

Les résultats que nous avons obtenus pour le taux de la matière organique dans le sol, en analysant 6 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans la figure 33.

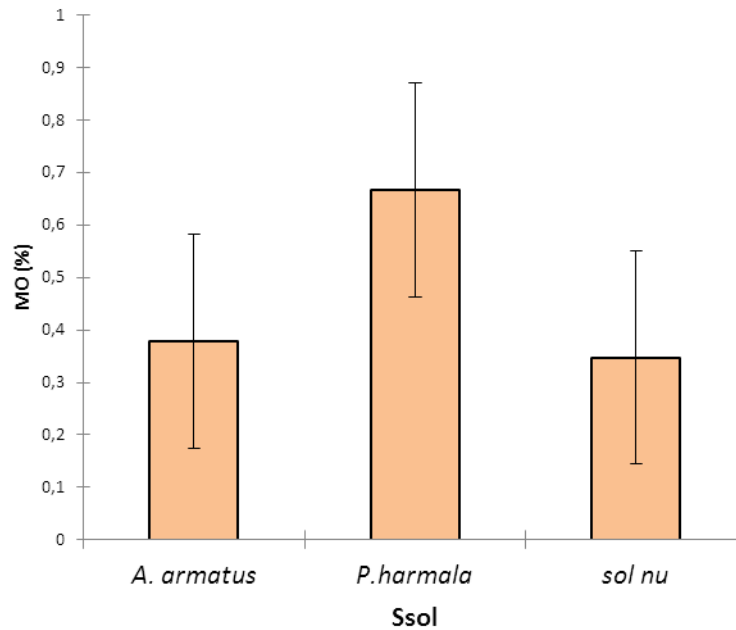


Figure 33 : Le taux de la matière organique des sols sous végétation et hors végétation.

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence non significative ($P=0,0607$) entre les deux espèces étudiées et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs en matière organique dans la zone étudiée qui oscillent entre 0.34% et 0.66% de sol. Selon les normes de matière organique des sols en annexe 2, les sols sont classés comme des sols extrêmement faible en matière organique.

Nous avons noté que le sol nu a présenté la plus faible moyenne (0.34%), l'*A. armatus* a présenté une valeur intermédiaire (0.37%), la moyenne la plus élevée a été enregistré dans le *P. harmala* avec une valeur de 0.66% dans sol. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans le même groupe statistique A (annexe1).

4.1.5 Les analyses physiques des sols

4.1.5.1 La granulométrie

a) Le Sable (%)

Les résultats que nous avons obtenus en analysant 6 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans le tableau 2.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

Tableau 02: Pourcentage des sables dans les sols sous végétation et hors végétation.

Sable %	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes statistique
sol nu	66,3889	1,7000	A
Sol de <i>P.harmala</i>	68,8889	1,7000	A
Sol d' <i>A. armatus</i>	69,0556	1,7000	A

L'analyse de la variance en annexe 01 a révélé une différence non significative ($P=0,4796$) entre les deux espèces étudiés et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont indiqués des valeurs de la variable Sable dans la zone étudiée qui oscillent entre 66.38% et 69.05% de sol.

Le tableau 2 montre que l'accumulation des sable chez *A. armatus* est plus élevée avec une valeur de 69.05 %, par contre nous avons enregistré un faible pourcentage dans le sol nu avec une valeur de 66.38%, le taux de sable accumulé dans le sol de *P.harmala* est de 68.88 %. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans le même groupe statistique A.

b) Limon (%)

Les résultats que nous avons obtenus en analysant 6 échantillons du sol sous la végétation et hors végétation sont présentés dans le Tableau 03.

Tableau03 : Pourcentage des limons dans les sols sous végétation et hors végétation.

% Limon	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes statistique
<i>Sol d'A. armatus</i>	30,9444	1,7000	A
<i>Sol de P.harmala</i>	31,1111	1,7000	A
Sol nu	33,6111	1,7000	A

L'analyse de la variance en annexe01 a révélé une différence non significative ($P=0,4796$) entre les deux espèces étudiés et le sol nu. Les moyennes enregistrées ont

Chapitre 04 : Résultats et discussion

indiqués des valeurs de la variable limon dans la zone étudiée qui oscillent entre 30.94% et 33.61% de sol.

Le Tableau 03 montre que l'accumulation des limons chez le sol nu est plus élevée avec une valeur de 33.61% , par contre nous avons enregistré un faible pourcentage dans l'*A.armatus* avec une valeur de 30.94%, le taux de sable accumulé chez *P.harmala* est de 31.11%. Statistiquement les moyennes ont été regroupées dans le même groupe statistique A.

Nous avons constaté l'absence totale des argiles dans la zone étudiée, le triangle texturale a indiqué que le sol de la région d'Oued Mzi est un sol à texture limoneux sableux.

4.2 Discussion

A travers notre étude nous avons observé que les deux espèces étudiées ont présenté une mycorhization remarquable et non faible en les comparants à d'autres espèces

Les résultats obtenus dans notre étude ont démontré que les espèces étudiées (*A.armatus* et *P.harmala*) ont présenté des taux de mycorhization presque identique (F%=80%, M%=40%, m=51%).

A travers notre étude nous avons mis en évidence la présence des mychorises de deux especes présentes dans un milieu aride à climat sec et sol pauvre et dégradé, cette association symbiotique peut bien expliquer l'adaptation et la croissance aisée de ces deux plantes , rappelant que, 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 (Ho et Trappe1973; Bevege et Bowen, 1975; Hirrel et Gerdemann1979). 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 connait 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

Chapitre 04 : Résultats et discussion

qui constitue un réseau tridimensionnel qui relie la plante au sol environnant (Jeffries et Barea, 2000 et Fortin *et al.*, 2008).

Concernant le taux de glomaline dans le sol nous avons noté une quantité remarquable dans cette zone, allant de (4.56 mg/g – 6.30 mg/g) la différence n'a pas été significative entre le sol des deux espèces étudiées et sol nu. Les valeurs trouvées ont été supérieures à celles de travaux de Rillig *et al.* (2001) 1mg/g et ceux de Rillig *et al.* (2003) ; Treseder et Turner (2007) qui ont trouvé des moyennes de 0.003mg/g – 0.13mg/g.

Lovelock *et al.* (2004) ont trouvé une teneur en glomaline plus élevée et qui a été trouvée dans la forêt tropicale humide (13,50 mg g⁻¹).

Nos résultats du dosage de la glomaline dans l'oued Mzi ont été proches de ceux de Taoualit Fatma (2021) qui a travaillé sur la glomaline des sols sous pistachier d'Atlas de la région de Dayate El Gouffa (Laghouat), a indiqué des valeurs de 1.74mg/g – 4.57mg/g.

En effet, le taux proche que nous avons trouvé entre le sol nu et le sol sous les deux plantes étudiées peut être expliqué par un sol non labouré ou la glomaline peut rester dans un sol stable plusieurs années, et ce selon (Wright et Upadhyaya 1998) qui ont noté que la glomaline s'avère très résistante à la décomposition microbienne (qui peut s'étendre sur 10 à 50 ans) et se dissout uniquement en conditions extrêmes : 121°C pendant au moins une heure dans une solution de citrate concentrée. Ces propriétés en font un très bon agent protecteur.

La présence de la glomaline est révélatrice d'un sol en santé, souvent le résultat de pratiques de travail du sol réduites et d'une abondance de résidus de culture. La glomaline agit comme un liant (une colle) permettant ainsi de stabiliser les agrégats du sol (Wright et Upadhyaya 1996 ; 1998). Sa principale fonction porte sur la stabilisation des agrégats, à la façon d'une colle regroupant l'argile, le limon et le sable fin, avec des effets majeurs sur les propriétés physiques des sols. Ce grumelage assure une meilleure pénétration de l'eau réduisant les écoulements de surface, de meilleurs échanges gazeux et une rétention de l'eau et des minéraux. On peut dire que la glomaline est très étroitement liée à la fertilité des sols.

De plus, des études ont montré une contribution positive de la glomaline dans la tolérance des plantes hôtes à la sécheresse et la salinité (Augé *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2008; Hammer & Rillig, 2011).

Chapitre 04 : Résultats et discussion

La glomaline contient environ 37 % de carbone et, dans l'environnement du sol, se caractérise par une persistance allant de plusieurs mois à plusieurs années (Rillig et *al.*, 2001 ; Rillig, 2004).

Concernant le nombre des vésicules qui a été différent entre les deux espèces, nous avons noté que *A. armatus* a présenté 38.7 vésicules /cm alors que *P.hamala* 9.33 vésicules /cm. Nous avons pu donc à travers nos observations mis en évidence la présence des vésicules chez les deux plantes étudiées. Les vésicules qui sont des structures de réserves, possèdent une paroi épaisse et contiennent des lipides. Les vésicules sont observées aussi bien entre les cellules racinaires des plantes qu'au sein de ces dernières. Elles ne sont pas présentes chez tous les CMA (Peyret Guzzon, 2014).

Les vésicules ont une très fine couche de paroi, en particulier dans les racines anciennes, de forme globulaire, oblongue, irrégulière ou rugueuse (par exemple, *Glomus*, *Pacispora*, *Acaulospora* et *Entrophospora* respectivement) (Redecker et *al.*, 2013).

Les vésicules ne sont pas présentes dans certains genres de l'ordre des Diversisporales, comme *Gigaspora* et *Scutellospora*. Elles jouent un rôle important dans le stockage des nutriments, car leurs cellules contiennent des niveaux élevés de lipides et de glycogène ; mais dans certains cas, elles peuvent assumer une fonction reproductive, car les vésicules peuvent former des spores qui agissent comme des propagules (Berbara et *al.*, 2006) et (Souza, 2015).

La présence des champignons mycorhiziens dans un sol pauvre en matière organique, a texture sableux limoneuse, et pH neutre , et un sol non salin à calcaire moyen , ce milieu semble favorable a la présence d'une telle association mycorhizienne .

Afin d'étudier la corrélation entre les variables du sol et la présence d'une mychorization chez les deux espèces, nous avons réalisé une ACP (analyse en composante principale) présenté dans la figure 34.

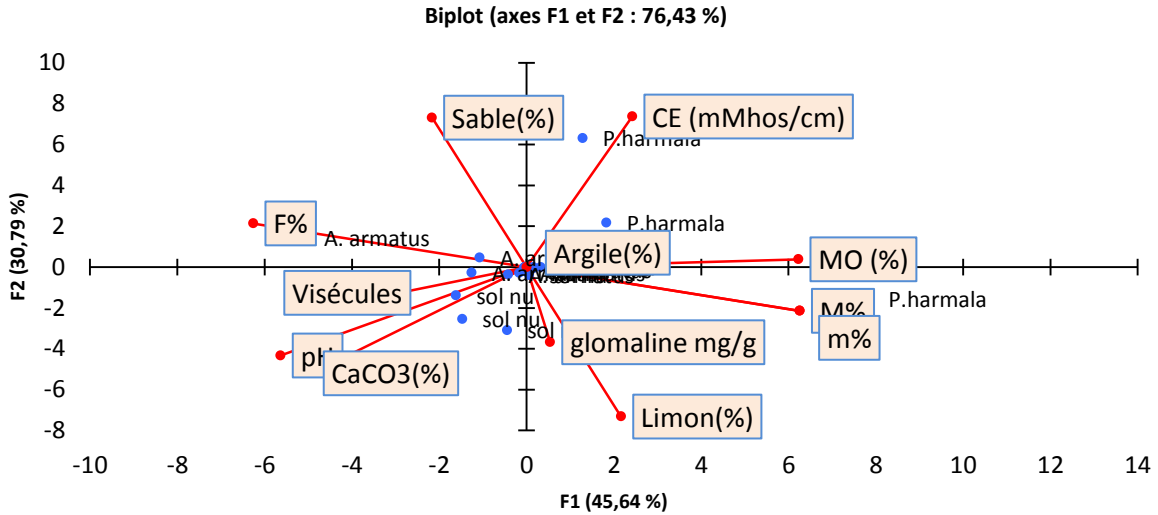


Figure34 : Analyse en composante principale reliant l'association mychorizienne et les variables du sol

D'après la figure (34), nous pouvons conclure que *P.harmala* a donné plus d'informations sur la mychorization (M% et m%) que celle de *A.armatus*. cette mychorization a été corrélée avec la MO%, et la présence de limon. La glomaline a été corrélée avec le sol Nu synonyme d'un sol à structure dont les agrégats sont liés,

Cependant, *A.armatus* a donné plus d'information pour la fréquence de mychorization F% et le nombre de vésicules, avec la présence du CaCO3 et le pH plus élevé que ceux du sol de *P.harmala*.

Conclusion

Conclusion

La symbiose mycorhizienne joue un rôle important dans le système sol-plante, notamment en favorisant la nutrition des plantes et en améliorant leur résistance stress biotique et abiotique. Champignons mycorhiziens arbusculaires, vivant dans Les racines des plantes semblent être les seuls producteurs potentiels de glomaline, cette association fait augmenter le stockage du carbone et de l'azote dans le sol, impliquant principalement dans les agrégats du sol.

A travers notre étude nous avons observé que les deux espèces étudiés ont présenté une mycorhization remarquable et non faible (F%, M%, m%..) en les comparants à d'autres espèces.

Dans le cadre de cette étude, nous avons dosé la quantité de la glomaline dans le sol sous *A.armatus* et *P.harmala* et le sol hors végétation de la Oued Mzi (Laghouat)..

Afin d'estimer la présence de la glomaline, nous avons analysé les sols en utilisant la méthode de Bradford. Les résultats des analyses du sol sous végétation (*A. armatus*, *P. harmala*) et sol hors végétation, montrent une quantité dans cette zone. La concentration de la glomaline trouvée a été de 4.56 mg/g à 6.30 mg/g du sol, qui est une quantité remarquable et bien supérieure à d'autres biotopes.

Les résultats de l'analyse de l'ACP, nous ont montré que la quantité de la glomaline est non liée aux variables du sol. Nous avons constaté l'absence totale des argiles dans la zone étudiée, le sol de la région d'Oued Mzi est un sol à texture limoneux sableux, faible en matière organique, à calcaire moyen, non Salin et à pH neutre. La présence d'une association mycorhizienne avec des plantes xérophiles dans des milieux avec des conditions d'aridité extrêmes a permis la libération de la glomaline, ce qui peut expliquer le rôle biologique des plantes étudiées dans la réhabilitation des parcours dégradés.

En perspectives, il serait souhaitable de refaire l'étude avec d'autres plantes steppiques, et poursuivre la recherche en identifiant les champignons responsable de la mycorhization chez ces plantes et dans les régions arides.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbott L.K., Robson A.D., 1982**-The rôle of VAM fung in agriculture and the sélection of fung for inoculation. *Aus. J. Agr. R.*, pp 33 : 389.
- Aidoud .D- L. F., 1997** – Le complexe alfa-armoise-sparte (*Stipa tenacissima* L.,*Artemisia herba alba*-Asso, *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie : structure et dynamique des communautés végétales. Thèse. Doct. Etat, Univ. AixMarseille, Marseille, 263p.
- Aidoud A., 1998.** Fonctionnement des écosystèmes Méditerranéens. Conférences du réseau and conservation. Nova Science Publisher, Inc. New York:157-170.
- Aubert G., 1978** : Méthodes d'analyses des sols. Centre régional de documentation pédagogique. Marseille. 191p.
- Augé.RM.** (2001) Water relations, droguet and vésiculaire -arbusculaire mycorhize symbioses. *Mycorhize* 11: 3–42.
- Batten KM, Six J, Scow KM, Rillig MC. 2005.** Plant invasion of native grassland on serpentine soils has no major effects upon selectes physical and biological properties. *SoilBiol.Biochem.* 37 : 2277-2282.
- Bedrani S., A. Mouhous, 2006,** Pour des politiques plus efficaces de lutte contre la désertification. Conf. Intern. Université des Nations Unies ; Alger, Déc. 2006.
- Benabdeli K., 2000.**Evaluation de l'impact des nouveaux modes d'élevage sur l'espace et l'environnement steppique : cas de Ras El Ma (Sidi Bel Abbes - Algérie). In : Bourbouze A. (ed.), Qarro M. (ed.). Rupture : nouveaux enjeux, nouvelles fonctions, nouvelle image de l'élevage sur parcours. Montpellier : CIHEAM. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 39). 129 - 141p.p.
- Bensouiah R., 2006.** Vue d'ensemble de la steppe algérienne. Doc en ligne: (<http://desertification.voila.net/steppealgerienne.htm>), consulté le 15 Mai 2023.
- Bensouiah, R. 1999.** La dynamique socio-économique des espaces pastoraux algérienne (cas de la région Djebel Amour). Mémoire master of science. CIHEAM, Montpelli. 190 p.
- Berbara R.L.L, Souza F.A., Fonseca, H.M.A.C. (2006).** Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FENANDES, M. S. (ed). *Nutrição Mineral de plantas*. SBCS, Viçosa, pp 54–79. In Souza, T. (2015). *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, 153P.
- Bevege D.I., Bowen G.D., 1975.** Endogone strain and host plant difference in development of vesicular-arbuscularmycorrhizas. In: *Endomycorrhizas* (Ed. by F. E. Sanders, B. Mosse et P.B. Tinker), Academic Press, New York and London, 149-174 pp.
- Bouazza, M., 1995,** Etude phyto-écologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et *Lygeum spartum* L. au Sud de Sebdou (Oranie, Algérie). Thèse de Doctorat en Sciences. Université de Tlemcen, Algérie.

Références bibliographiques

- Boubakeur G. (2009)** les changements climatiques dans le milieu steppique (évaluation et impact)-cas de Djelfa, thèse de Magister en sciences agronomiques, université De Djelfa, Algeria.
- Bouchoukh I., 2010.** Comportement éco physiologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. Thèse de magistère. Université Mentouri –Constantine.112p.
- Bourbouze A., Donadiou R., 1987.** L'élevage sur parcours en région méditerranéennes. CIHEAM / IAM-M, Montpellier.104p.
- Brundrett M (1991),** Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances. Ecological Research* 21: 171-313.
- Brundrett. MC., 2008.** Mycorrhizal Associations: The Web Resource. Date accessed.<mycorrhizas.info>. (Consultée 02Mai 2023).
- Brundrett M.C. (2009).** Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil* 320:37–77.
- Chafi A. et Fortas., Z 1999** – Les mycorhizes des plantes des zones arides algériennes. *Bois et forêts des Tropiques*, 262 (4) : 77-79.
- Chaieb, M., (1997)** ‘‘Comportement biologique comparé d'*Astragalus armatus* Willd. subsp. *Tragacanthoides* (Desf.) M. et de *Rhizoglyphus suaveolens* Desf. sur la steppe sableuse dégradée de la zone aride tunisienne’’, *Ecologia mediterranea*, V. 23, n°314 : 45-52.
- Châtaigner, J.M. et Duponnois, R. (2017).** Les microorganismes du sol : des outils biologiques pour satisfaire les objectifs du développement durable (ODD). F.F.E. *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 1: 94 - 97.
- Chermat, S., Gharzouli, R., & Djellouli, Y. (2016).** Phytodynamique des groupements steppiques de djebel Zdimm en Algérie nord-orientale. *Ecologia mediterranea*, 42(1), 51-63.
- Cornejo P, Meier S, Borie G, Rillig MC, Borie F. (2008)** Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. *Science of the Total Environment* 406: 154–160.
- Baize. D, 2000.** Guide des analyses courantes en pédologie. Paris : INRA.
- Damas O., 2013 :** Mycorhizes, auxiliaires discrètes du jardinier. *Revue de la société nationale d'horticulture de France et de ses sociétés adhérents*. 3p.

Références bibliographiques

- Djebaili S., 1978.** Recherches phytosociologiques et phytoécologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct. Montpellier, 229p.
- DJEBAILI S., 1984-** Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. ed. OPU, Alger. 159p.
- Djellouli Y., 1990,** Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct. Sciences, USTHB., Alger, 210.
- Driver J.D., W.E. Holben M.C. Rillig. 2005.** Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscularmycorrhizal fung. *SoilBiology& Biochemistry.* 37 : 101-106.
- 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.
- Durrieu G., 1993.** Ecologie des champignons. Edition Masson. 70P. *Environm.* 33:99-109.
- Fokom R., Adamou S., TeugwaM.C BegoudeBoyogueno A.D., Nana W.L., Ngonkeu M.E.L., Tchameni N.S., Nwaga, D., TsalaNezomo G., AmvamZollo P.H. 2012.** Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. *Soil Till. Res.* 120 : 69-75.
- Fortin, JA, Plenchette, C and Piché, Y. 2008.** Les mycorhizes La nouvelle révolution verte. Multi Mondes. Québec, Canada, 129p.
- Frendi T., 2003.** Contribution à l'étude de la mycorhization chez le Peuplier Blanc (*Populus alba*). Master en Biologie et Physiologie végétale. FSBSA, UMMTO. 76P.
- Garbaye J., 2013.** La symbiose mycorhizienne: une association entre les plantes et les champignons. Paris. Editions Quæ, 251p.
- Gobat, J.M., Aragno, M. & Matthey, W. (2003).** Le sol vivant, 2e Edition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne. 568 p.
- Guessoum, A. 2001.** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada Biskra. Mémoire Ing, agro, Univ Batna, Algérie, 50p.
- Hellal B, AYAD Nadira, AYACHE A, CHARIF H et HELLAL T (2014)** Biomasse et taux de recouvrement de l'armoise blanche des parcours steppiques du sud de la préfecture de Tlemcen, *Revue Ecologie-Environnement*, N°10, pp.
- Hirrel M.C, Gerdemann J.W, 1979.** Enhanced carbon transfer between onions infected with a vesicular-arbuscularmycorrhizal fungus. *New Phytologist*, 83: 731– 738.

Références bibliographiques

- Ho I., Trappe J.M., 1973.** Translocation of 14C from Festuca Plants to their Endomycorrhizal Fungi. *Nature*, 244: 30–31.
- Htar, M.S. and Siddiqui, Z.A. 2008.** Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotectants against plant pathogens. In: Siddiqui ZA, Akhtar MS et Futai K. (eds) *Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry*. Springer Netherlands, Pp 61-97.
- Jamagne M, (1976).** Bases et techniques d'une cartographie des sols, vol : 18, n° Horssérie. Ed. INRA. Paris, 142 p.
- Janos DP (1980),** Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12, 56-64
Hetrick BAD (1984), Ecology of VA mycorrhizal fungi. In: Powell, C.LÍ., Bagyaraj, D.J. (Eds.), *VA Mycorrhizae*. CRC Press, Boca Raton.
- Javot H., Pumplin N., Harrison M.J. (2007).** Phosphate in the arbuscularmycorrhizal symbiosis: transport properties and regulatory roles. *Plant Cell and Environment*, v.30, p.310- 322.
- Jeffries P., Barea J M., 2000-** Arbuscular mycorrhiza: a key component of sustainable plant–soil ecosystems. In: Hock B (ed) *The Mycota : Fungal associations*, Vol. IX. Springer, Berlin, pp 95–113.
- KADI- H- ACHOUR H., 1998-**l'alfa en Algérie (syntaxonomie, relations milieu végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Docteur ES sciences. USTHB. Alger. Intro+196,198.
- Kadi-Hanifi-Achour H., 2004.**Diagnostic phytosociologique et phytoécologique des formations à Alfa en Algérie : Proposition de gestion. InFerchichi A. (comp., Ferchichi
- Khelil, A., 1997,** L'écosystème steppique : Quel avenir ? Edition Dahleb, Alger. L'espace et l'environnement steppique. Commune de Ras El Ma (Sidi Bel Abbes-Algérie). *Options Médit.*, 39: 129-141.
- Le Houerou H. N., 1969.** La végétation de la Tunisie steppique. *Ann. Inst. Natl. Rech. Agron Tunis*, vol. 42 (5): 624p.
- Le Houerou H.N., 1990.** Définition et limites bioclimatiques du SaharaSécheresse- Vol, N°4 pp246-259.
- Le Houérou H. N., 1992.** Agroforestry and sylvopastoralism to combat land degradation in the mediterranean basin: old approaches to new problems. *Agri. Ecosy. Environm.* 33:99-109.
- Le Houérou H. N., 1995.** Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sècheresse n : 2-1995-vol 6.* 167-182p.
- Le Houérou H. N., 2001.** Biogeography of the arid steppe land north of the Sahara. *J. Arid Environ.*, 48: 103-128.

Références bibliographiques

- Le Houérou H. N., 2006.** Environmental constraints and limits to livestock husbandry in arid lands. *Sécheresse*, 17 (1-2): 10-18.
- Le Tacon F., 1985 :** Les mycorhizes : une coopération entre plante et champignons
Volume 16. 624p.
- Leake J., Johnson D., Donnelly D., Muckle G., Boddy L., Read D. (2004)** Networks of power and influence : the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Journal of Botany* 1045: 1016–1045.
- Lovelock CE, Wright SF, Clark DA, Ruess RW. 2004.** Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *J. Ecol.*, 92 : 278-287.
- Luttge U., Kluge M. et Bauer G. (2002).** Botanique. 3^{ème} édition, *Tec et Doc Lavoisier*, Paris: 439- 450.
- Mallem H. (2018) :** Etude du potentiel de la végétation steppique dans la lutte contre la déflation éolienne. Thèse doctorat en sciences agronomiques, Univ. Blida 1, Algerie, 129p.
- Mathieu, C ; Pirltain. 2009.** Les principaux sols du monde. Voyage au centre de l'épiderme de la planète terre. Lavoisier, Editions Tech et Doc. 233p.
- Mederbal, K, 1992,** Compréhension des mécanismes de transformation du tapis végétal: approches phyto-écologiques par télédétection aérospatiale et analyse dendroécologique de *Pinus halepensis* Mill., dans l'ouest Algérien. Thèse d'Etat Ès Sciences, Université d'Aix Marseille III, 229.MESOE (Méditerranée Enseignement Secondaire Observation et Environnement), 50 p.
- Mohammed B.H. 2020.** Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(1) :191-196, 2021.
- Mohammed Halima, Labani Abderrahmane et Benabdeli Khéloufi,(2006)** « Essai sur le rôle d'une espèce végétale rustique pour un développement durable de la steppe algérienne », Développement durable et territoires [En ligne], Varia, mis en ligne le 17 juillet 2006, consulté le 26 juillet 2015. URL : <http://developpementdurable.revues.org/2925>;DOI:10.4000/developpementdurable.2925.
- Morrisette N. 2011.** Les mycorhizes éricoïdes : un potentiel biotechnologique pour favoriser l'établissement de plants de bleuet sur les sites perturbés par l'exploitation des sables bitumineux en forêt boréale canadienne. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 90p.
- 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.

Références bibliographiques

- 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 arid environment*. 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 arides et semi-arides du Maghreb ». Université KASDI MERBAH - Ouargla- Algérie, du 21 au 24 Novembre 2011. 41-53p.p.
- 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).
- 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.
- Nicholas KA, Wright SF. 2005.** Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. *SoilSci.*, 170 : 985-997.
- 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.
- Peyronnel B, Fassi B, Fontana A, Trappe JM (1969),** Terminology of Mycorrhizae. *Mycologia*, 61 : 41 0-41 1.
- Pierre, J. P. (2012).** Les glomeromycota: Mycorhize VAM et Geosiphon pyriformis (Kutzing) Wettstein, *mycological research*, 92: 01-17.
- Pohanka M., Vlcek V. 2018.** Assay of glomalin using a quartz crystal microbalance biosensor. *Electroanalysis*. 30 : 453-458.
- Pouget M., 1980.** Les relations : sol-végétation dans les steppes sud algéroises. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. (O.R.S.T.O.M), Paris. 555p.

Références bibliographiques

- Redecker D. Kodner R. Graham LE (2000).** Glomalian fungi from the ordovician. *Science* 289: 1920-1921.
- Redecker, D., Schüßler, A., Stockinger, H., Stürmer, S. L., Morton, J. B., Walker, C. (2013).** An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, 23(7), 515-531. In Souza, T. (2015). *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, 153P.
- Redon P.H., 2009 :** Rôle de champignons mycorrhizes 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.
- Rillig, M.C. 2002.** Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biology & Biochemistry*. 34:1371-1376.
- Rillig MC, Ramsey PW, Morris S, Paul EA. 2003.** Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. *Plant Soil*. 253 : 293-299.
- Rillig MC., Wright SF., Nichols KA., Schmidt WF., Trorn M.F. 2001.** Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest. *Plant and Soil*. 233 : 167- 177.
- Sahraoui, A. L. (2013).** La Mycorrhize 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 *Sécheresse- Vol, N°4* pp246-259.
- Senoussi A., Chehma A. et Bensemaoune Y., 2011** La steppe algérienne à l'aube III^{ème} millénaire : quel devenir. *Annales des Sciences et Technologie* Vol. 3, N° 2. 129-138p.p.
- Smaali, M., 2013.** Symbioses racinaires chez l'olivier (*Olea europea L.*) sous climat arid : cas du verger de Messaâd (Wilaya de Djelfa). Mémoire de Master II en Sciences Biologique, option Oléiculture et Oléitechnie, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 50p.
- Smith SE, Read DJ (1997),** *Mycorrhizal symbiosis*. Second edition. Academic Press ; Harcourt Brace and Company Publishers, 605p.
- Smith, S.E. and Read, D.J. (2008)** *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd Edition, Academic Press, London.
- Souza, T. (2015).** *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, 153P.

Références bibliographiques

- Strullu D. G., 1991.** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Edition Lavoisier. 254P.
- Taoualit Fatma (2021).** Extraction et dosage de la glomaline du sol sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie).
- Tedersoo, L. & Nara, K. (2010).** General latitudinal gradient of biodiversity is reversed in ectomycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 185 : 351-354.
- Tommerup IC (1992).** The rôle of mycorrhiza in plant populations and communistes. *Mycorrhiza*, 1:123-125.
- Toudert-Taleb K., 2000.** La mycorhization du Pin d'Alep: Etude des mycorhizes et sélection des Bactéries Auxiliaires de la mycorhization (BAM), application à la mycorhization et à la lutte contre un agent de fonte de semis. Magister en Biologie, option: écologie et biologie des populations. FSBSA, UMMTO. 111P.
- Treseder KK., Turner KM. 2007.** Glomalin in ecosystems. *SoilSci. Soc. Am. J.* 71 : 1257- 1266.
- 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 signification fonctionnelle. In: Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S (eds) *Physiology and genetics aspects of mycorrhizae*. INRA, Paris, pp 217-221.
- Wang B., Qiu YL. (2006).** Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16: 299-363.
- 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.
- Wright, S.F., and A. Upadhyaya. 1998.** A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*. 198:97-107.
- Wuest SB, Caesar-TonThat TC, Wright SF, Williams JD. 2005.** Organic matter addition, N, and residueburning effects on infiltration, biological, and physical properties of an intensivelytilled silt-loamsoil. *Soil Tillage Res.* 84 :154-167.
- Zhang J., Tang X, He X, Liu J. 2016.** Glomalin-relatedsoilproteinresponses to elevated CO₂and nitrogen addition in a subtropical forest Potentialconsequences for soilcarbon accumulation. *SoilBiology&Biochemistry.* 83 : 142-149.

L'ANNEXE

ANNEXE

Annexe 1

1.1 Données statistiques du dosage de la glomaline

- a. Analyse Type III Sum of Squares (glomaline mg/g) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Ssol	2	6,2910	3,1455	0,4172	0,6663

- b. Ssol / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (glomaline mg/g) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
P.harmala	4,7094	1,1210	2,3201	7,0987	A
A. armatus	5,4188	1,1210	3,0295	7,8080	A
sol nu	6,1574	1,1210	3,7681	8,5467	A

1.2 Données statistiques de l'analyse du pH du sol

- a. Analyse Type III Sum of Squares (pH) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Ssol	2	0,0704	0,0352	6,6726	0,0085

- b. Ssol / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (pH) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
P.harmala	7,0583	0,0297	6,9951	7,1215	A
sol nu	7,1867	0,0297	7,1235	7,2499	B
A. armatus	7,1950	0,0297	7,1318	7,2582	B

1.3 Données statistiques de l'analyse de la conductivité électrique CE

- a. Analyse Type III Sum of Squares (CE (mMhos/cm)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Ssol	2	0,0867	0,0433	4,2122	0,0353

- b. Ssol / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (CE (mMhos/cm)) :

ANNEXE

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
sol nu	0,3092	0,0414	0,2209	0,3975	A	
A. armatus	0,4032	0,0414	0,3149	0,4915	A	B
P.harmala	0,4789	0,0414	0,3906	0,5672		B

1.4 Données statistiques de l'analyse du Calcaire

a. Analyse Type III Sum of Squares (CaCO₃(%) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Ssol	2	24,5249	12,2625	6,9657	0,0073

b. Ssol / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (CaCO₃(%) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
P.harmala	5,3800	0,5417	4,2255	6,5345	A	
A. armatus	7,4838	0,5417	6,3292	8,6383		B
sol nu	8,1088	0,5417	6,9542	9,2633		B

1.5 Données statistiques de l'analyse du matière organique

a. Analyse Type III Sum of Squares (MO (%) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Ssol	2	0,3729	0,1864	3,3980	0,0607

b. Ssol / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (MO (%) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
sol nu	0,3474	0,0956	0,1436	0,5512	A	
A. armatus	0,3781	0,0956	0,1742	0,5819	A	
P.harmala	0,6669	0,0956	0,4631	0,8707	A	

ANNEXE

1.6 Données statistiques de l'analyse régression de la variable Sable (%) :

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

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Ssol	2	26,7778	13,3889	0,7721	0,4796

c. Ssol / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Sable(%)) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
sol nu	66,3889	1,7000	62,7653	70,0124	A
P.harmala	68,8889	1,7000	65,2653	72,5124	A
A. armatus	69,0556	1,7000	65,4320	72,6791	A

1.7 Données statistiques de l'analyse Régression de la variable Limon (%) :

a. Analyse Type III Sum of Squares (Limon(%)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Ssol	2	26,7778	13,3889	0,7721	0,4796

Ssol / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Limon(%)) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
A. armatus	30,9444	1,7000	27,3209	34,5680	A
P.harmala	31,1111	1,7000	27,4876	34,7347	A
sol nu	33,6111	1,7000	29,9876	37,2347	A

1.8 Données statistiques du dosage de Fréquence F%

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Racine	1	0,5232	0,5232	2,0488	0,1779

Racine / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (F%) :

ANNEXE

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
P.harmala	79,6875	0,2063	79,2380	80,1370	A
A. armatus	80,0781	0,1787	79,6889	80,4674	A

1.9 Données statistiques du dosage d'Intensité de mycorhization : M%

Analyse Type III Sum of Squares (M%) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Racine	1	1,2841	1,2841	2,0488	0,1779

Racine / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (M%) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
A. armatus	41,2109	0,2799	40,6011	41,8208	A
P.harmala	41,8229	0,3232	41,1187	42,5271	A

1.10 Données statistiques du dosage Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés : m%

Analyse Type III Sum of Squares (m%) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Racine	1	3,5658	3,5658	2,0488	0,1779

Racine / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (m%) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
A. armatus	51,5210	0,4664	50,5047	52,5372	A
P.harmala	52,5408	0,5386	51,3673	53,7143	A

ANNEXE

1.11 Données statistiques du dosage Vésicule

Analyse Type III Sum of Squares (Vésicule) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Racine	1	2966,8810	2966,8810	19,6609	0,0008

Racine / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Vésicule) :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
P.harmala	9,3333	5,0150	-1,5935	20,2601	A
A. armatus	38,7500	4,3431	29,2871	48,2129	B

ANNEXE

ANNEXE 2

2.1 Normes d'analyse du sol selon (Baize, 2000)

Tableau n° 01: Normes de la salinité de sol.

Nature de sol	Conductivité électrique (CE mmohs/cm)
Non salin	Moins de 0,25
Faible salinité	0,25-0,75
Salinité élevée	0,75-2,25
Salinité très élevée	Plus que 2,25

Tableau n° 02: Normes du calcaire de sol.

CaCO₃%	Moins de 01	Non calcaire
	1-5	Calcaire bas
	5-25	calcaire moyen
	25-50	Calcaire élevé
	50-80	Calcaire très élevé
	Plus que 80	Calcaire en excès

Tableau n°03 : Critères de classification de la matière organique.

MO%	0-1	Pauvre
	1-1.5	Plus faible
	1.5-2.5	Faible
	2.5-3.5	Moyenne
	3.5-4.5	Moyenne élevée
	4.5-5	Elevée
	≥ 5	Plus élevée