



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Biologiques

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

En Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale

Thème

Extraction et dosage de la glomaline du sol sous pistachier de l'Atlas
(*Pistacia atlantica*) de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie).

Présenté par M^{elle} : TAOUALIT Fatma

Le 13/11/2021

Devant l'honorable jury composé de :

Mlle ZAREB A. MAA à l'UMMTO.....Présidente

Mme SMAIL SAADOUN N. Professeur à l'UMMTO..... Promotrice

M^{elle} MECHIAH F. Doctorante à l'UMMTO..... Co-promotrice

Mlle OUZID Y. MCB à l'UMBB..... Examinatrice

2020/2021

Remerciements

Je remercie mon DIEU tout puissant, qui m'a donné la force, la volonté et le courage d'effectuer ce travail.

J'exprime toute ma gratitude, mon profond respect à ma promotrice Mme. SMAIL-SAADOUN Noria, qui m'a encouragé et guidé par ses conseils, son aide, et surtout pour sa gentillesse.

A Melle. MECHIAH Fahima, ma co-promotrice, qui m'a aidé et facilité la hache, je la remercie beaucoup pour sa gentillesse et sa compréhension.

Mes sincère respects à Mlle ZAREB A, d'avoir accepté de présider mon jurés et examiner mon travail.

A mon examinatrice Mlle OUZID Y, d'avoir accepté d'examiner ce travail

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé au niveau de la faculté et toutes mes amies qui m'ont aidé,

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, soyez rassurées qu'aucune d'elles n'est oubliée.

Merci à tous...

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Ceux qui j'ai aimé avec beaucoup d'affection et je suis très fière de les avoir et tous les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leur porte : mes très chers parents « ma mère **Chabanne Sadia** et mon père **Taoualit Arab** ».*

Mes chères sœurs : Malika, Fatiha et Ouardia.

Mes chers frères : Youcef, Mourad, AHCEN, Azedinne et Ferhat.

Aux personnes les plus chers à mon cœur et qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les plus difficile ; Que Dieu les garde.

À mes très chères et précieuses amies : Kahina, Kenza, Yasmine, Assia, Sabrina et Nadia.

Liste des abréviations

CMA : Champignons mycorhiziens arbusculaires

GRSP : Protéine de sol lié à la glomaline

AIA : Acide-indole-3 acétriqque

ABA : Acide abscissique

MeJA: Jasmonate de méthyle

DSE : Endophyte cloisonné foncé

AMF : Champignons arbusculaires mycorhizogènes

Liste des figures

Figure 01 : représentation schématique des principaux effets de CMA et de la glomaline dans le sol et les plantes.....	09
Figure 02 : pistachier de l'Atlas (<i>Pistacia atlantica</i> Desf.) (Djenidi, 2012).....	11
Figure 03 : système racinaire du pistachier de l'Atlas (Ait Slimane, 2004).....	13
Figure 04 : feuilles du pistachier de l'Atlas (Mechiah, 2015).....	14
Figure 05 : fruits immatures du pistachier (Mechiah, 2015).....	16
Figure 06 : fruit mûre de pistachier de l'Atlas (Djenidi, 2012).....	16
Figure 07 : carte de distribution de <i>Pistacia atlantica</i> Desf. dans le monde (Alyafi (1979) ; Browiez (1988) et Khaldi (comm. pers. Zohary (1996) ; modifié par Belhadj (2007)).....	16
Figure 08 : répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie d'après Monjauze (1980) modifié par Kebci (2008).....	17
Figure 09 : localisation de la wilaya de Laghouat (Google.fr, 2021).....	23
Figure 10 : image satellite montrant la localisation de dayate El Gouffa (Google Earth, 2021).....	24
Figure 11 : diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la station d'étude (2002-2012) (Boubrima, 2014).....	25
Figure 12 : sujet 1, dayate El Gouffa (Laghouat, avril 2016).....	26
Figure 13 : sujet 2, dayate El Gouffa (Laghouat, avril 2016).....	27
Figure 14 : sujet 3, dayate El Gouffa (Laghouat, avril 2016).....	28
Figure 15 : sujet 4, dayate El Gouffa (Laghouat, avril 2016).....	28
Figure 16 : sujet 5, dayate El Gouffa (Laghouat, avril 2016).....	29
Figure 17 : sujet 6, dayate El Gouffa (Laghouat, avril 2016).....	29

Figure 18 : ACP comparative concernant les différents paramètres chimiques de sol échantillonnés au niveau de dayate El Gouffa (Laghouat) 2016.....30

Liste des tableaux

Tableau 01 : classification botanique de <i>Pistacia atlantica</i> Desf. (Yaaqobi et al.,2009).....	12
Tableau 02 : intervalles des pH, taux de calcaire total et taux de matière organique des sols sous pistachier de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie.....	18
Tableau 03 : quantité de la glomaline extraite en (mg g ⁻¹) sous pistachier de l'Atlas.....	27
Tableau 04 : teneur en glomaline extraite en (mg g ⁻¹) dans différents environnements.....	28
Tableau 05 : matrice de corrélation de Pearson entre la quantité de la glomaline et les différentes composantes du sol (CaCO ₃ , pH, MO, H.H, A, L, S) recensés au niveau des sols sous le pistachier de l'Atlas au niveau de la dayate El Gouffa.....	29

Sommaire

Introduction générale	2
Chapitre 2 : la glomaline	4
1. Introduction.....	5
2. Composition chimique.....	5
3. Rôle de la glomaline.....	6
3.1. Stabilité des agrégats.....	6
3.2. Bioremédiation.....	6
3.3. Réduire les effets de la sécheresse et du stress salin.....	7
4. Facteurs affectant la teneur en glomaline.....	7
5. Prestation bénéfiques des champignons mycorhiziens arbusculaires et de la GRSP dans les sols dégradés.....	8
Chapitre 1 : le pistachier de l'Atlas	10
1. Introduction.....	11
2. Systématique.....	11
3. Caractéristiques botaniques.....	12
3.1. Système racinaire.....	12
3.2. Tronc.....	13
3.3. Bois.....	14
3.4. Feuille.....	14
3.5. Inflorescence.....	15
3.6. Fleurs.....	15
3.7. Fruit.....	15
4. Ecologie et aire de distribution.....	16
5. Exigences édaphiques.....	17
6. Exigences climatiques.....	19
6.1. Pluviométrie.....	19
6.2. Température.....	19
6.3. Lumière.....	19
6.4. Vent.....	19
7. Utilisation des différentes parties de l'arbre.....	20

Chapitre 3 : matériels et méthodes.....	22
1. Description de la zone d'étude.....	23
1.1. Situation géographique.....	23
1.2. Bioclimat de la zone d'étude.....	24
2. Echantillonnage des sols sur le terrain.....	26
3. L'échantillonnage, la technique de conservation et de préparation des sols.....	30
4. Extraction et dosage de la glomaline.....	30
5. Analyses statistiques.....	30
Chapitre 4 : résultats et discussion.....	32
1. Quantité de glomaline extraite	33
2. Corrélation entre les variables de différentes composantes du sol sous pistachier de l'Atlas.....	34
3. Analyse en composante principale (ACP).....	36
Conclusion générale.....	38
Références bibliographiques	40
Résumé	

Introduction générale

Un service essentiel des champignons arbusculaires mycorrhizogènes (AMF) dans les sols naturels ainsi que dans les sols dégradés est l'altération bénéfique de la structure du sol, ainsi que l'amélioration de l'absorption des nutriments et de l'eau par les plantes grâce à une symbiose mutuelle (Lehmann *et al.*, 2017). Ces champignons forment une relation symbiotique dans les racines d'environ 80% de tous les taxons végétaux et cette symbiose est bénéfique aux deux organismes (Allen, 1991).

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à la glomaline dans le sol sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans le pays des dayas en Algérie (Laghouat). La glomaline est une glycoprotéine synthétisée par les hyphes et les spores des champignons arbusculaires mycorrhiziens (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).

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) une espèce qui occupe une superficie importante. C'est l'une des rares espèces arborescentes encore présente dans les régions semi-arides et arides, voir même sahariennes (Monjauze, 1980). En Algérie le pistachier de l'Atlas est l'un des arbres endémiques de l'Afrique du Nord, et sa rusticité ainsi que la possibilité de croître sur les sols pauvres sont des caractéristiques qui le rendent intéressant quant à son utilisation dans les programmes de reforestation et de sylviculture dans les zones semi-arides et arides, en plus de sa fonction écologique, l'espèce assure d'autres fonctions économique et socioculturelle.

En générale, le pistachier de l'Atlas se régénère et pousse toujours à l'intérieur du *Ziziphus lotus* qui constituerait une bonne protection aux jeunes pousses contre les vents et le pâturage. En plus de cela, le sol où les feuilles du *Z. lotus* tombent deviendrait acide et faciliterait la germination des graines (Belhadj S. 2001).

Nous avons effectué ce travail de recherche au niveau du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (U.M.M.T.O).

L'objectif principal de notre étude est de doser la quantité de glomaline existant dans les sols sous pistachier de l'Atlas, au niveau de dayate El Gouffa (Laghouat). Nous sommes intéressés pour la première fois à ce travail qui est la première étape à l'identification de la glomaline et son rôle dans l'adaptation de cette espèce aux conditions extrêmes des milieux.

Ce travail s'articule sur deux parties, la première, étant la synthèse bibliographique où nous avons évoqué dans un premier chapitre, sur la glomaline. Le second chapitre porte les caractères généraux de notre espèce d'étude. La deuxième partie concerne l'expérimentation, avec une présentation de la zone d'étude, suivie de la méthodologie de travail et enfin les résultats et leurs discussions. Le mémoire se termine par une conclusion générale.

Chapitre 1 : la glomaline

1. Introduction

La glomaline est une glycoprotéine produite en abondance par les hyphes et les spores des champignons mycorrhizogènes. Elle a été retrouvée en grande quantité dans le sol et dans les racines, ce qui suggère que ces champignons en produisent et en excrètent en excès (Rillig *et al.*, 2002). Ces champignons libèrent de la glomaline, en raison de sa stabilité et de son hydrophobie et agit comme un liant organique, aidant à restaurer les matières particulaires dans le sol et à favoriser la formation et l'amélioration de la stabilité des agrégats (Rillig *et al.* 2017). Les premières découvertes de cette glycoprotéine se réfèrent à des études avec des anticorps dans des champignons mycorrhizogènes arbusculaires initiées par Sara et Wright en 1987. Cette appellation "glycoprotéine glomaline" fait référence au taxon des Glomales, auquel appartenait les champignons endomycorhizogènes à l'époque (Wright *et al.*, 1996).

Cette glycoprotéine a été remarquée pour ses deux caractéristiques apparentes : son abondante production par le champignon mycorrhizien 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, Arunkumar. 2021).

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 N-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% 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).

3. Rôles de la glomaline

3.1. Stabilité des agrégats

La glomaline ainsi que les hyphes des champignons mycorrhiziens arbusculaires contribuent à l'amélioration de la qualité du sol, en favorisant l'agrégation du sol (Rillig *et al.*, 2003). Une augmentation de la concentration de GRSP (protéine de sol liée à la glomaline) dans le sol améliore les propriétés physiques, telles qu'une diminution de la densité apparente et une augmentation de la porosité du sol, de la teneur en eau et de la capacité de rétention d'eau (Gispert, 2013 ; Singh, 2016 ; Arunkumar. 2021). En plus de cet effet direct sur la structure du sol, la GRSP réduit l'érosion du sol et améliore son épaisseur en formant des agrégats (Gispert, 2013 ; Arunkumar. 2021).

Des études récentes ont montré que la GRSP était la source la plus importante de C (carbone) dans la matière organique du sol (Single *et al.*, 2017 ; Whang *et al.* 2018 ; Arunkumar B R. 2021). Rillig *et al.* (2001) ont estimé que la GRSP contient environ 37% de carbone et il est responsable de 4 à 5% du carbone total du sol.

Plusieurs études sur la GRSP ont fourni des données importantes sur son rôle pour faire face au problème de dégradation des sols. La décomposition microbienne de la GRSP libère une gamme de nutriments, tels que le carbone (30-40%), l'azote (3-5%), le phosphore (3-4%), le fer (1-9%), et d'autres nutriments (S, K, Ca, Mg, Zn et Cu) dans le sol pour l'absorption des plantes (Singh *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018). De plus, cette glomaline peut améliorer directement la croissance des plantes, en améliorant l'activité de l'AMF dans le sol (Singh *et al.*, 2020).

3.2. Bioremédiation

Les champignons mycorrhiziens arbusculaires jouent un rôle crucial dans les zones dégradées ou polluées par les métaux lourds, aidant les plantes à survivre dans des conditions aussi stressantes (Conversa *et al.*, 2019 ; Song *et al.*, 2020).

Les glomalines jouent également un rôle clé en tant qu'agents actifs dans la tolérance aux métaux lourds. Selon Purin et Rillig (2007), l'une des fonctions de la glomaline dans le champignon mycorhizien arbusculaire est la formation de complexe protéine-métal. Les études menées par Chern *et al.* (2007) a révélé la contribution du GRSP dans la décrémentation de la phytotoxicité induite par le Cd, le Cu et le Zn. Dans des sols contaminés par des métaux lourds, Gonzalez-Chavez *et al.* (2004) ont constaté que les GRSP peuvent

éteindre jusqu'à 80 mg de Cd, de Pb et 4300 mg Kg⁻¹ de Cu. La GRSP produite par les champignons arbusculaires mycorrhiziens a la capacité de séquestrer l'Al³⁺ dans la rhizosphère (Seguel 2013).

Selon Aguilera *et al.*, (2018), le champignon mycorrhizien 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 mycorrhizien arbusculaire et serait utilisé pour développer des stratégies de gestion des sols acides avec niveaux élevés d'Aluminium.

3.3. Réduire les effets de la sécheresse et du stress salin

La sécheresse et la salinité sont des facteurs de stress graves et extensifs du sol, intensifiés par le changement climatique, qui produisent une dégradation des terres, dont les effets négatifs sur la croissance des plantes peuvent être atténués par l'action de CMA (champignons mycorrhiziens arbusculaires) et de la GRSP (Chi *et al.*, 2018 ; Ji *et al.*, 2019).

Une étude menée par Chi *et al.* (2018) a montré que la GRSP appliqué de manière exogène pouvait fortement stimuler la morphologie des racines et la croissance des plantes en cas de stress hydrique. La GRSP peut également moduler les concentrations de phytohormones, en particulier les auxines (IAA), l'acide abscissique (ABA) et le jasmonate de méthyle (MeJA), en cas de stress hydrique. Par conséquent, le traitement exogène des GRSP est suggéré comme régulateur de croissance des plantes pour améliorer la tolérance à la sécheresse (Chi *et al.*, 2018). Wu *et al.* (2008) ont montré que l'inoculation avec *Funneliformis mosseae* et *Diversispora versiformis* augmentait la production de GRSP en cas de déficit hydrique, en favorisant la stabilité des agrégats du sol. Ji *et al.* (2019) a révélé que les CMA et la GRSP contribuent à la formation et à la stabilité de macroagrégats dans l'eau du sol, même dans des conditions de stress hydrique.

4. Facteurs affectant la teneur en glomaline

Très peu d'informations sont disponibles concernant la teneur en glomaline affectée par différents facteurs (Mohammed, 2020).

Les pratiques de gestion tel que le travail du sol, la quantité et la qualité des engrais appliqués, le surpâturage et les stratégies de protection des plantes ont un impact sur la viabilité des champignons mycorrhiziens arbusculaires et la structure de la communauté (Oehl

et al., 2004 ; Jarecki *et al.*, 2005). D'après les recherches de Wright et Upadhyaya (1998), dans des sols cultivés et non perturbés, ils ont observé que la stabilité des agrégats et la fraction de glomaline facilement extractible augmentaient dans les sols non perturbés.

Les structures protéiques du sol liées à la glomaline et leurs différences dépendent de la teneur en carbone organique du sol, ainsi que de la profondeur du sol (Wang *et al.*, 2020). De nombreuses études ont montré que l'inoculation d'AMF augmentait fortement la concentration de GRSP dans la rhizosphère (Xie *et al.*, 2013).

5. Prestation bénéfiques des champignons mycorhiziens arbusculaires et de la GRSP dans les sols dégradés

La dégradation du sol par l'érosion, le compactage, la perte d'activité biologique, l'acidification, la salinisation ou d'autres processus peuvent réduire la qualité du sol en modifiant les attributs du sol, tels que la biodiversité du sol, la teneur en GRSP, la matière organique du sol, l'état des nutriments, la teneur en carbone organique et labile, la texture, la capacité de rétention d'eau disponible, la structure, la profondeur maximale d'enracinement et le pH (Priscila Silva *et al.*, 2021). Les sols dégradés captent moins de carbone de l'atmosphère, interférant avec le changement climatique. En revanche, lorsqu'ils sont gérés de manière durable, les sols peuvent jouer un rôle essentiel dans la réduction du changement climatique par la séquestration du carbone (Figure 8).

Ces perturbations édaphiques limitent l'établissement de la végétation et la restauration des sols. Etant donné que le rétablissement de la végétation est une étape pionnière pour récupérer avec succès les terres dégradées, une assistance abiotique et biotique est souvent fournie pour atténuer ces stress végétaux (Priscila Silva *et al.*, 2021).

L'inoculation avec des microbes bénéfiques du sol dans la rhizosphère est considérée comme une option vitale pour améliorer l'établissement de communautés végétales et accélérer la restauration des écosystèmes terrestres dégradés (Chaudhary *et al.*, 2020).

Dans ce contexte, plusieurs études indiquent une amélioration de la croissance et de la productivité des plantes inoculées à l'AMF dans des sols dégradés en conditions de terrain. De plus, des études indiquent que la mycorhization peut induire 19 à 26 % plus de EE-GRSP et 13 à 20 % plus de T-GRSP dans la mycorhizosphère après inoculation d'AMF (Wu), ce qui implique que l'inoculation d'AMF pourrait aider à la production de fractions GRSP endogènes pour une utilisation ultérieure (Chaudhary *et al.*, 2020).

Compte tenu de l'importance de cette protéine, une étude menée par Arunkumar. (2021) sur la gestion la glomaline dans les sols, a abouti aux résultats suivants :

- le labour du champ endommage la masse hyphale ou les connections qui produisent la glomaline, l'endommagement de la masse hyphale conduit à réduire le développement des colonies et des hyphes pour démarrer l'action lors de la culture de la deuxième ou la prochaine saison dans la zone racinaire ;
- utiliser des légumineuses ou des cultures de paillis pour améliorer la colonisation du champignon mycorhizien arbusculaire dans la rhizosphère racinaire ;
- sur le terrain, le niveau de phosphore doit être maintenu en quantité adéquate, ce qui aide le champignon mycorhizien à arbuscule à coloniser rapidement.

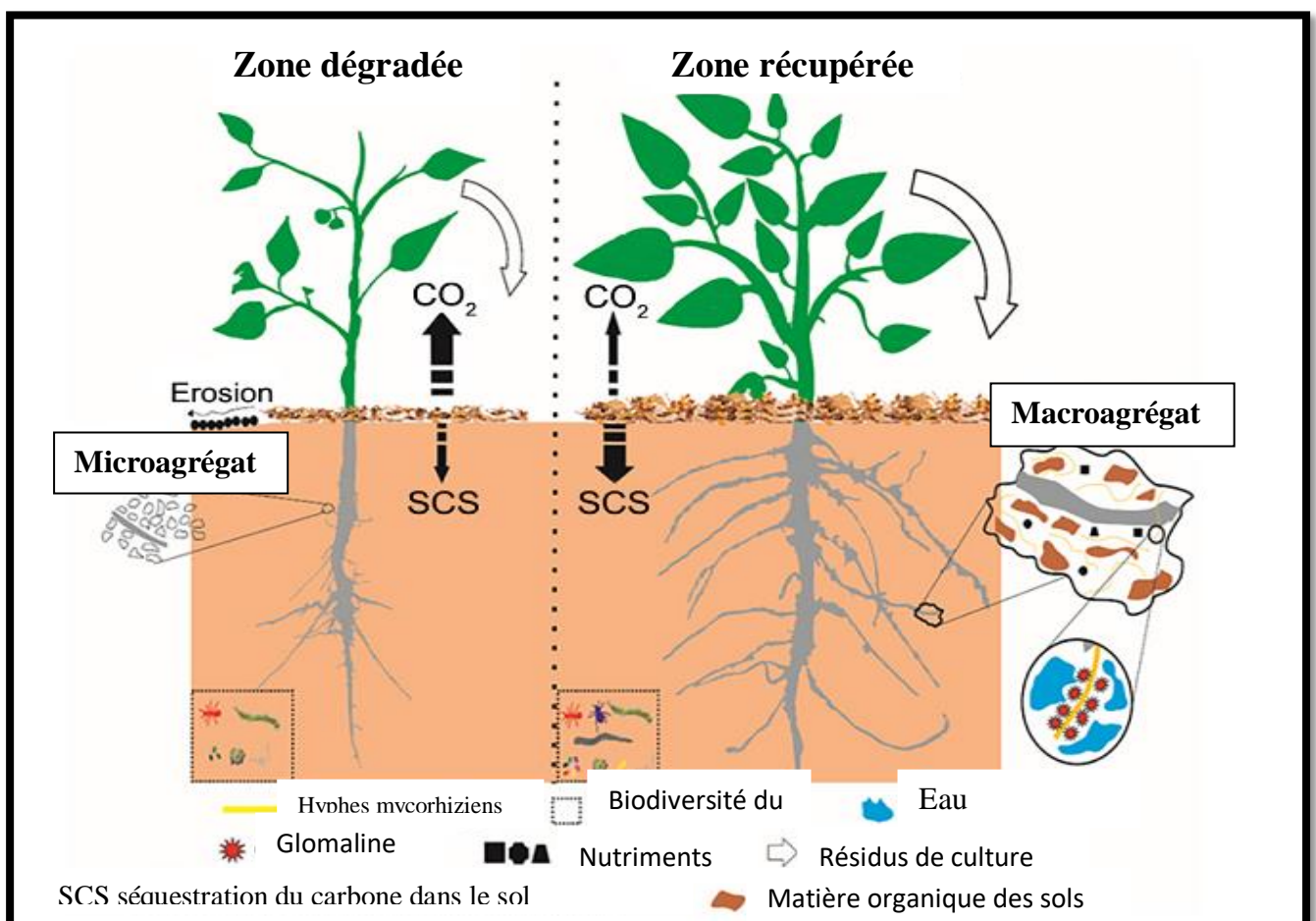


Figure 1 : représentation schématique des principaux effets de l'AMF et de la glomaline dans le sol et les plantes (Singh *et al.*, 2020).

Chapitre 2 :
le pistachier de l'Atlas

1. Introduction

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.), connu sous le nom vernaculaire de « Bétoum » ou « Botma » au singulier, est un arbre puissant à croissance rapide, pouvant atteindre 20 m de hauteur dans les conditions favorables (Larouci et Rouibat, 1987). La cime est généralement hémisphérique et volumineuse, dont la frondaison couvre plus de 150 m²(Brichet, 1931). Cet arbre est l'une des rares espèces encore présentes dans les zones semi-arides et arides d'Afrique du Nord, même au Sahara (Monjauze, 1980) (Figure 1).



Figure 2 : pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) (Djenidi, 2012).

2. Systématique

La classification botanique du pistachier de l'Atlas est synthétisée dans le tableau 1.

Tableau 1. Classification botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Yaaqobi *et al.*, 2009).

Règne	Plantea
Embranchement	Trancheobionta
Super-division	Spermatophyta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Sapindales
Famille	Anacardiaceae
Genre	<i>Pistacia</i>
Espèce	<i>Pistacia atlantica</i> Desf.

3. Caractéristiques botaniques

3.1. Système racinaire

Le système racinaire de cette espèce est pivotant et plus vigoureux que celui de pistachier vrai (Ait Radi, 1979). Au stade juvénile, il développe rapidement un pivot pour que la plante puisse se fixer au sol et s'alimenter. Mais au stade adulte, le pivot peut se développer et se lignifier, comme il peut disparaître et laisser place aux racines secondaires pour se développer et donner par la suite un système racinaire à extension latérale ou superficielle (Chaba *et al.*, 1991 ; Ait Slimane, 2004 ; Limane *et al.*, 2014 ; Boubrima, 2014 ; Hamitouche, 2016 et Limane, 2018). Ozenda (1977) fasciné devant l'hypertrophie du système racinaire des végétaux désertiques, écrivait que les racines du pistachier présentaient un allongement de 1,5 m en une seule saison ! Selon Germana (1997), elles peuvent atteindre 5 à 6 m de profondeur.

Selon Limane et Boubrima, (2014), deux principaux types d'architecture racinaire ont été identifiés chez le pistachier de l'Atlas ; l'un est le type superficiel et l'autre est le type généralisé : le type superficiel est caractérisé par la concentration du système racinaire dans les 50 premiers centimètres du sol, les racines sont longues, très ramifiées et plutôt épaisses. Le système généralisé est caractérisé par la présence de racines peu profondes qui plongent à plus de 50 cm de profondeur. Ces racines sont généralement épaisses, avec peu de ramifications (Figure 2).



Figure 3 : système racinaire du pistachier de l'Atlas (Limane, 2018).

Cette architecture racinaire développée par le pistachier de l'Atlas est basée sur les caractéristiques physico-chimiques des sols qu'il colonise. Dans les sols à texture sableuse, cet arbre développe un système racinaire peu profond. Dans les couches limono-calcaires plus profondes qui peuvent retenir un réservoir d'eau pendant la saison sèche, il établit un système racinaire plus complexe avec de fortes racines profondes, capables d'exploiter ces niveaux inférieurs (Limane *et al.*, 2014).

Le système racinaire du pistachier de l'Atlas établit des relations symbiotiques principalement avec des espèces fongiques pour faire face aux conditions climatiques et édaphiques. Ces microorganismes sont observés et confirmés par plusieurs travaux menés au laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou à savoir : Abed (2006), Ait Zegagh-Benamane (2006), Mellah (2007), Amarache et Chelli (2008), Smail *et al.* (2008), Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009), Raab (2010), Redjdal (2010), Yazag (2013), Ferhani (2015), Mechiah (2015), Hales (2016), Haddouche (2017), Limane (2018) et Mechiah (2021). Ces travaux montrent que le pistachier de l'Atlas établit des associations symbiotiques de type mycorhizien (AMF) et endophytiques (DSE).

3.2. Tronc

Le pistachier de l'Atlas possède un tronc individualisé et à frondaison hémisphérique

(Quézel et Santa, 1963). Ce tronc mesure en moyenne 2 m de circonférence (Nègre, 1962). Sa couronne est en boule au jeune âge, puis se développe en demi-sphère. Pour Emberger (1942), c'est un arbre à couronne volumineuse arrondie.

3.3. Bois

Le bois du bétoum est lourd, de bonne conservation, c'est donc un bois d'artisanat et bien entendu, un bois excellent pour le chauffage et la carbonisation (Monjauze, 1980 ; Chenoune, 2005). Quant à l'écorce, elle est d'abord rouge, puis grisâtre assez claire avant de devenir rhytidome dur et crevassé, disposé en damier et noirâtre comme celui du frêne oxyphylle (Monjauze, 1980).

3.4. Feuilles

Les feuilles du pistachier de l'Atlas sont composées et astipulées (Quézel et Santa, 1963). Elles commencent à réapparaître au printemps, après l'apparition des fleurs (Monjauze, 1968). Elles sont grandes, imparipennées, caduques, rachis ailé, leur taille varie de 1,4 à 24,5 cm de longueur, 1,6 à 21,9 cm de largeur, (El Zerey-Belaskri et Benhassaini, 2016) (Figure 3).

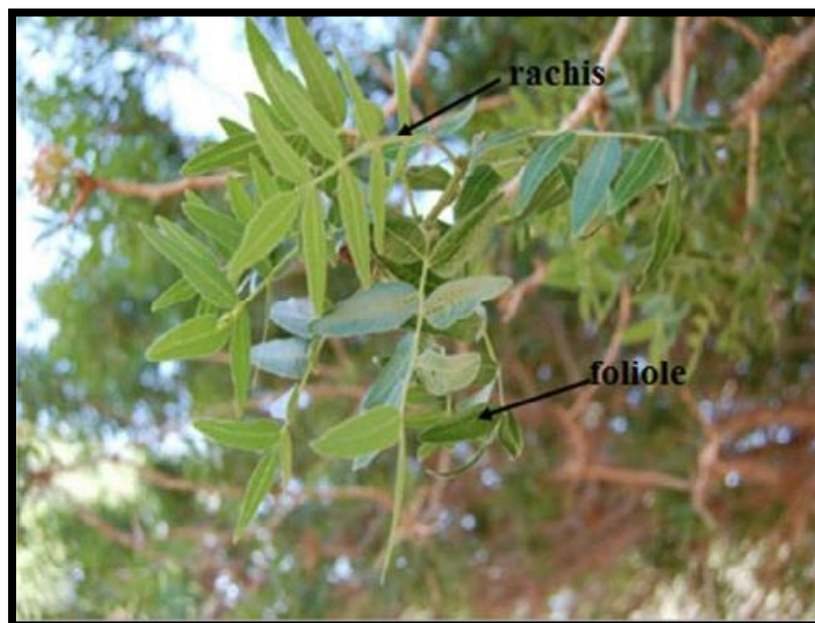


Figure 4 : feuilles du pistachier de l'Atlas (Mechiah, 2015).

Ces feuilles sont bien adaptées au manque d'eau. En effet, les travaux de Smail-Saadoun (2005) ont montré chez les populations étudiées, l'absence totale de stomates au

niveau de la face adaxiale des feuilles et la présence des stomates au niveau de la face abaxiale des feuilles.

Hadj Benamane et Ould Amrouche (2009) ont signalé la présence des mycoendophytes dans les feuilles de cette espèce. Cela est confirmé par les travaux de Zareb (2014) sur les feuilles de la population de Timzerth et Benfodil (2015) sur la population d'El Gouffa. D'après ces auteurs, les mycoendophytes hébergés par les feuilles du pistachier de l'Atlas sont présents dans tous les tissus, à savoir quelques cellules épidermiques, les stomates, le parenchyme et les tissus conducteurs avec un taux de colonisation et une diversité importante.

3.5. Inflorescence

Le pistachier de l'Atlas a une inflorescence en grappe rameuse. La floraison apparaît juste avant la feuillaison et débute la mi-mars (Yaaqobi *et al.*, 2009).

3.6. Fleurs

Les fleurs sont apétales (Yaaqobi *et al.*, 2009) et rougeâtres en grappes terminales pour les fleurs mâles et axillaires pour les fleurs femelles (Monjauze, 1980). Les fleurs mâles et femelles sont portées par des pieds différents. Quelques pieds monoïques ont été observés dans la plaine de Tafrata (Maroc), dont les fleurs mâles et femelles sont portées par des rameaux différents (Yaaqobi *et al.*, 2009) et à Izmir en Turquie (Isfendiyaroglu, 2009). Ce sont des fleurs régulières avec une tendance à la zygomorphie (Yaaqobi *et al.*, 2009).

3.7. Fruit

Le fruit est une drupe, dont le nom vernaculaire est "khodiri". Il est consommé par les habitants (Belhadj *et al.*, 2008). Ces fruits sont verts, de 8 mm de taille (Yousfi *et al.*, 2003), légèrement ovales quelque fois plutôt allongées, plus rarement sensiblement trapus ou un peu aplatis, à épiderme qui se ride en séchant sur un endocarpe induré, mais très mince, abritant deux cotylédons exalbuminés riches en huiles et comestibles : ce sont de petites noix (Monjauze, 1980) riches en matières grasses (Maamri, 2008) (Figures 5 et 6).

La fructification débute vers la fin du mois de mars. Les fruits prennent au départ une couleur jaune, qui change progressivement au rouge puis au bleu. Ils atteignent leur maturité au mois de septembre, tout en ayant une couleur vert foncé (Yaaqobi *et al.*, 2009).



Figure 5 : fruits immatures du pistachier de l'Atlas (Mechiah, 2015)



Figure 6 : fruits mûr du pistachier de l'Atlas (Djenidi, 2012).

4. Ecologie et aire de distribution

D'après Zohary (1952, 1987) et Quézel et Médail (2003), le pistachier de l'Atlas est commune des deux régions ; méditerranéenne et irano-touranienne. Cependant, Manjauze (1980) et Ozenda (1983) la qualifie d'endémique de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie et la Libye) (Belhadj *et al.*, 2008) (Figure 6).

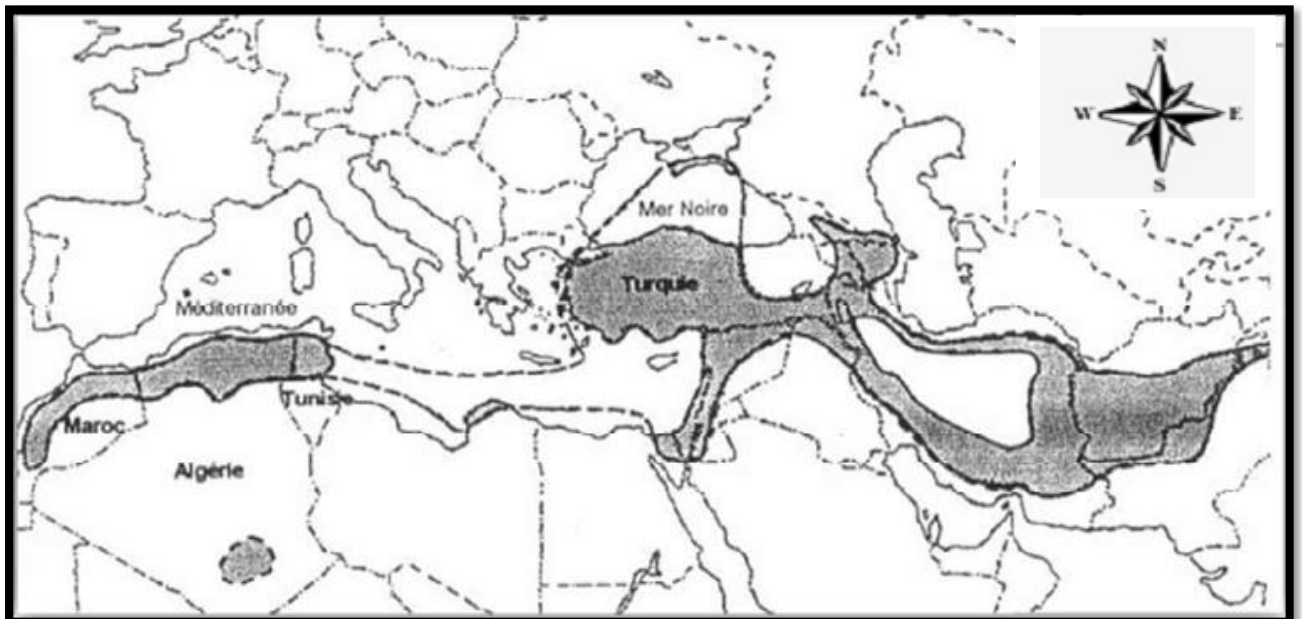


Figure 7 : carte de distribution de *Pistacia atlantica* Desf. dans le monde (Alyafi (1979) ; Browiez (1988) et Khaldi (comm. pers. Zohary (1996) ; modifié par Belhadj (2007)).

Le pistachier de l'Atlas est une espèce assez commune en Algérie, mais il trouve son optimum dans les régions arides et semi-arides, notamment les Hautes Plaines où il prospère dans les lits d'oueds et les dayas. Des peuplements plus ou moins vastes se retrouvent, ici et là, dans le Hoggar et dans l'Atlas, où le pistachier n'est arrêté dans son expansion que par la concurrence que lui opposent d'autres espèces bien plus adaptées au froid et à l'humidité (Monjauze, 1980) (Figure 7).

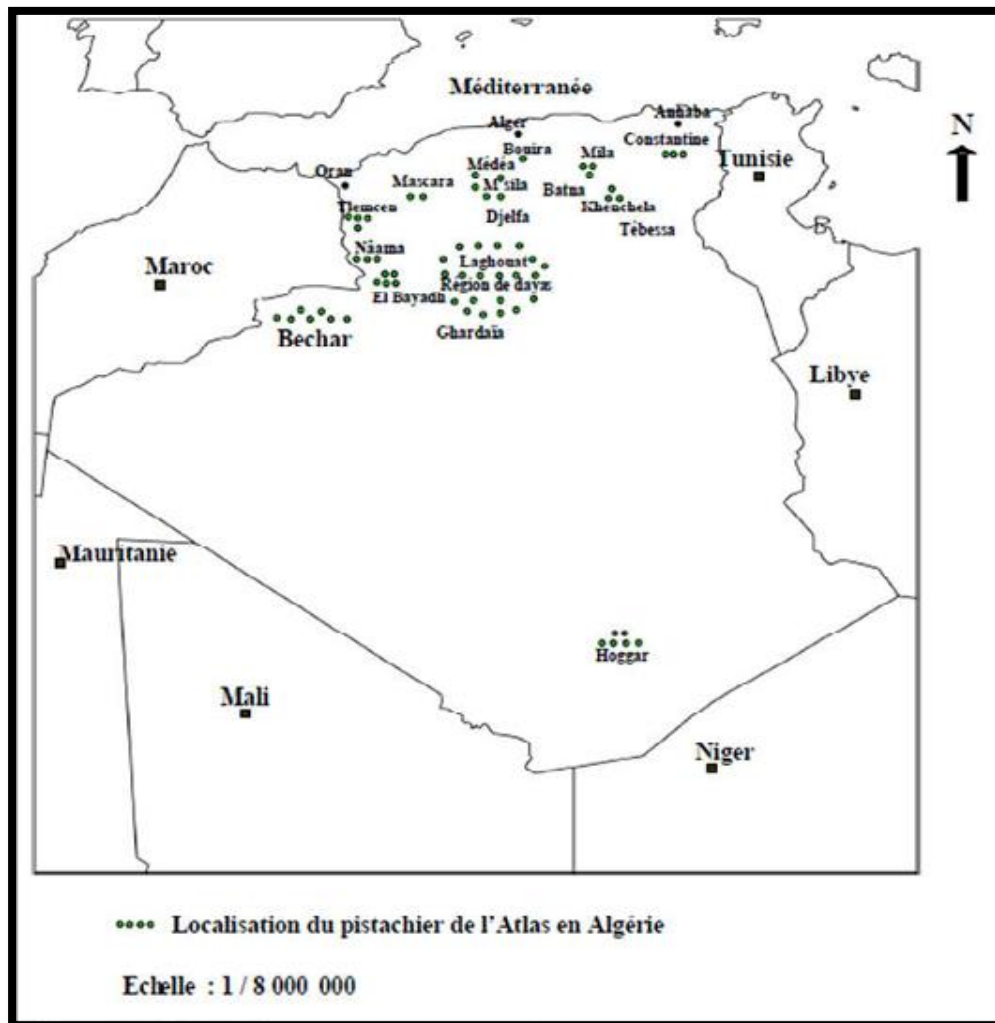


Figure 8 : répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie d'après Monjauze (1980) modifié par Kebci (2008).

5. Exigences édaphiques

Du point de vue édaphique, le bétoum s'accommode à une large gamme de sols, sauf les sables. Cette espèce préfère généralement les terrains argileux ou limoneux. Il se trouve aussi sur les roches calcaires, où les racines pénètrent les fissurations (Khaldi et Khoudja, 1996). Selon Quézel et Médail (2003), il peut occuper les fentes de rochers et de falaises (sous

forme d'individus prostrés et plaqués aux rochers), les terrains plats sur sols profonds ou très rocailloux et les lits d'oueds, ou les grandes dépressions temporairement humides.

En Algérie, concernant les sols sous pistachier de l'Atlas, plusieurs travaux ont été effectués au niveau du laboratoire « Ressources Naturelles » à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou sur une multitude de stations, suivant un gradient d'aridité croissant. Ces travaux sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2. Intervalles des pH, taux de calcaire total et taux de matière organique des sols sous pistachier de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie par le laboratoire des ressources naturelles à l'UMMTO.

Population	pH	CaCO₃ (%)	MO (%)	Texture
El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	7,50-8,70	5,25-81,25	2,59-4,65	70% des sols sont à texture limoneuse et 30% sont à texture sablo-limoneuse
Boucédraia (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	7,39-8,40	2,53-13,56	0,60-3,61	Limono-sableuse à limoneuse fine
Aiat, Timzerth(Laghouat) (Deguiche, 2008)	8,07-8,51	5,62-51,87	0,1-2,43	Sablo-limoneuse, limono-sableuse, limoneuse fine et limoneuse très fine.
Aiat, Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	7,57-7,8	9,58-13,75	0,21-1,26	sablo-limoneuse à limono-sableuse.
Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	7,53-8,02	10,41-22,80	1,33-3,41	50% des sols sont à texture limoneuse fine, 25% sont à texture limono-sableuse et 25% sont à texture limono-argileuse.
Tilrhemt (Laghouat) (Bounceur, 2009)	8,26-8,44	7,81-25,31	0,49-1,21	50% des sols sont à texture limoneuse fine, 25% sont à texture limono-sableuse et 25% sont à texture limono-argileuse.

<p>El Gouffa (Laghouat) (Hamitouche, 2016)</p>	8,10-8,33	4,53-18,75	0,22-1,41	<p>50% des sols sont à texture limoneuse fine à limoneus, 50% sont à texture limono-sableuse et limono-argileuse.</p>
--	-----------	------------	-----------	---

Ces auteurs affirment que les sols sous pistachier de l'Atlas sont à pH basique. Cela est confirmé par les résultats trouvés par Brown (1994), qui dit que le pistachier de l'Atlas se retrouve dans des sols à pH élevé. D'après ce tableau, cette essence se localise au niveau des sols faiblement à fortement calcaires, à teneur variable en matière organique. Ce taux change d'une station à l'autre. Nègre (1962) indique que le pistachier de l'Atlas s'adapte à tous les sols, excepté des sols sableux.

6. Exigences climatiques

6.1. Pluviométrie

Cette espèce ne présente pas une exigence envers la pluviométrie puisqu'on la trouve à Mitidja avec des précipitations qui dépasse 1000mm par an et au sud à Ghardaïa avec 70 mm par an (Dahmani, 2011).

Selon Benhassaini et Belkhodja (2004), cette espèce se contente d'une faible pluviométrie, de l'ordre de 150 mm et parfois moins.

6.2. Température

D'après Larouci et Rouibat (1987), le pistachier de l'Atlas est une espèce héliophile, il résiste aux températures basses et élevées, il peut aller de -12°C à plus de 49°C (Kaska, 1994).

6.3. Lumière

Le bétoum est une essence héliophile à l'état adulte. Pour les semis, ils se trouvent dans les touffes de *Zizyphus lotus* L. Ils bénéficient sans difficulté de la lumière pour leur croissance (Ait Radi, 1979).

6.4. Vent

En général, cette espèce se régénère et pousse toujours à l'intérieur des touffes de

Zizyphus lotus L. qui constituerait une bonne protection aux jeunes pousses contre les vents et le pâturage. Son système racinaire vigoureux lui assure une bonne fixation au sol (Monjauze, 1968).

7. Utilisation des différentes parties de l'arbre

Pistacia atlantica est un arbre à la fois protecteur et productif (Monjauze, 1967). Il fournit un bois lourd peu résilient de bonne conservation. C'est un bois d'artisanat et un bois excellent pour le chauffage et la carbonisation (Monjauze, 1980). Cette essence peut être utilisée dans le reboisement pour la protection de la steppe pastorale, en raison de sa rusticité et sa résistance à la sécheresse. Dans ce cadre, en Algérie, 100 ha environ ont été plantés chaque année en *Pistacia atlantica* dans les actions du barrage vert (Chaba *et al.*, 1991). En plus de ça il a l'avantage aussi d'être un bon porte-greffe et un bon pollinisateur pour *Pistacia vera* (Isfendiyaroglu *et al.*, 2001 ; Ozekeret *et al.*, 2006 et Maria *et al.*, 2010).

Les feuilles du pistachier de l'Atlas donnent un extrait phénolique qui présente une activité antifongique considérable et qui trouve ses utilisations dans le domaine pharmacologique (Benhamou *et al.*, 2008).

Le fruit du pistachier de l'Atlas est une source importante de nourriture, même si les fruits sont plus petits et sont pas de valeur commerciale comme celles produites dans les vergers principalement à partir de la culture de *Pistacia vera* L. (Poureza *et al.*, 2008). Les graines sont séchées, écrasées ou moulues et ramassées avec de l'eau sucrée et consommées en boulettes ou bien séchées et croquées telles quelles comme des cacahuètes (Belhadj, 2001). De plus, le fruit de *Pistacia atlantica* donne une excellente huile de table, obtenue à partir des graines qui contiennent environ 55% d'huile (Daneshard et Aynehchi, 1980 et Maamri, 2008). Très utile comme antiseptique, antifongique, les maladies abdominales, elle est utilisée contre les hémorroïdes, les fissures anales et les vers intestinaux (Baba Aissa, 2000, Aghili, 2009, Avicenna, 2012) ; elle est également utilisé dans la préparation de cosmétiques adoucissants (Chief, 1982).

La résine qui suinte de l'arbre est largement utilisée en industrie agro-alimentaire pour préparer les masticatoires et en médecine dentaire (Chief, 1982). Le suintement du tronc d'arbre donnant l'ancre rouge est utilisé dans la tannerie des peaux (Yousfi *et al.*, 2003).

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

Ce travail a été réalisé au niveau du Laboratoire des Ressources Naturelles (LRN), de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Il porte sur l'extraction et dosage de la glomaline du sol sous le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie).

1. Description de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

Laghouat est située à 400 Km au sud d'Alger sur l'axe routier Alger-Ghardaïa. Elle se trouve à 750m d'altitude au sud de l'Atlas Saharien. La wilaya s'étale sur une superficie de 25057 Km² (Amghar et Kadi-Hanifi, 2002). Elle est limitée au Nord par les wilayas de Tiaret et Djelfa, à l'est par les wilayas de Touggourt et El Oued, à l'ouest par la wilaya d'El Bayadh et au sud par la wilaya de Ghardaïa (Figure 9).



Figure 9 : localisation de la wilaya de Laghouat (Google.fr, 2021).

Les dayas de Laghouat sont à fond très plat, jamais complètement imperméables, de formes régulière et peuplées de *Pistacia atlantica* Desf., *Zizyphus lotus*, ainsi que d'autres espèces végétales adaptées à la texture et au régime de submersion temporaire. Cette végétation offre aux dayas un effet oasis, faisant d'elles un refuge d'une biodiversité importante (Pouget, 1980). Notre station d'étude est une daya nommée par la population locale de la région par : El Gouffa. Cette daya est située à 80 km au Sud-Ouest du chef-lieu de la ville de Laghouat. Notre daya est de type jeune. Elle est située à une altitude allant de 900 à 1000 m (Figure10).

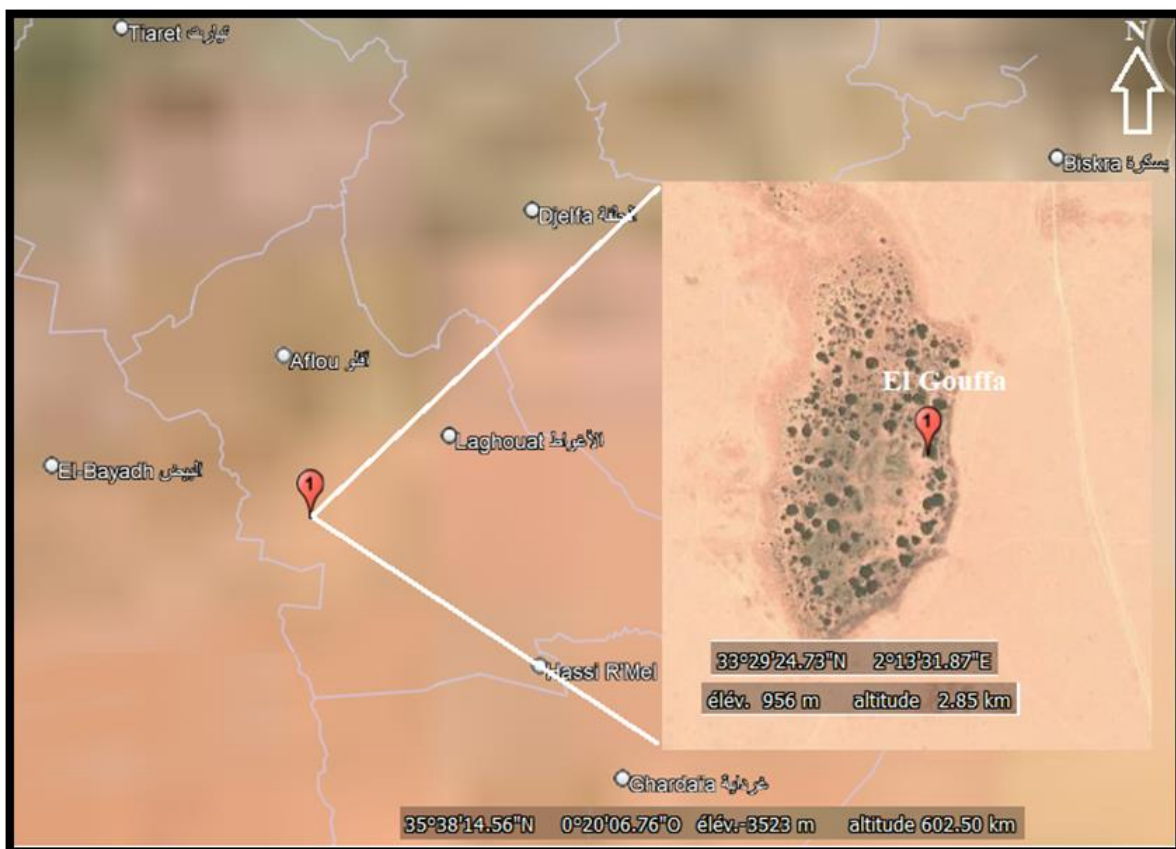


Figure 10 : image satellite montrant la localisation de dayate El Gouffa (Google Earth, 2021).

1.2. Bioclimat de la zone d'étude

Notre daya étant dépourvue de stations météorologiques (O.N.M), il est possible d'illustrer les caractéristiques essentielles de son climat en prenant les données bioclimatiques de la station météorologique de Laghouat comme référence. Cette station se situe à 777 m d'altitude, 33° 53' Nord de latitude 02° 31' Est de longitude sur la route de khenag (Boubrima, 2014).

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953) permet de définir la période sèche, en mettant en regard les précipitations et les températures. La saison sèche apparaît quand la courbe des précipitations se positionne au-dessous de celle des températures. Le diagramme Ombrothermique tracé pour Laghouat pour la période (2002-2012) (Figure 11) montre que la saison sèche dure toute l'année.

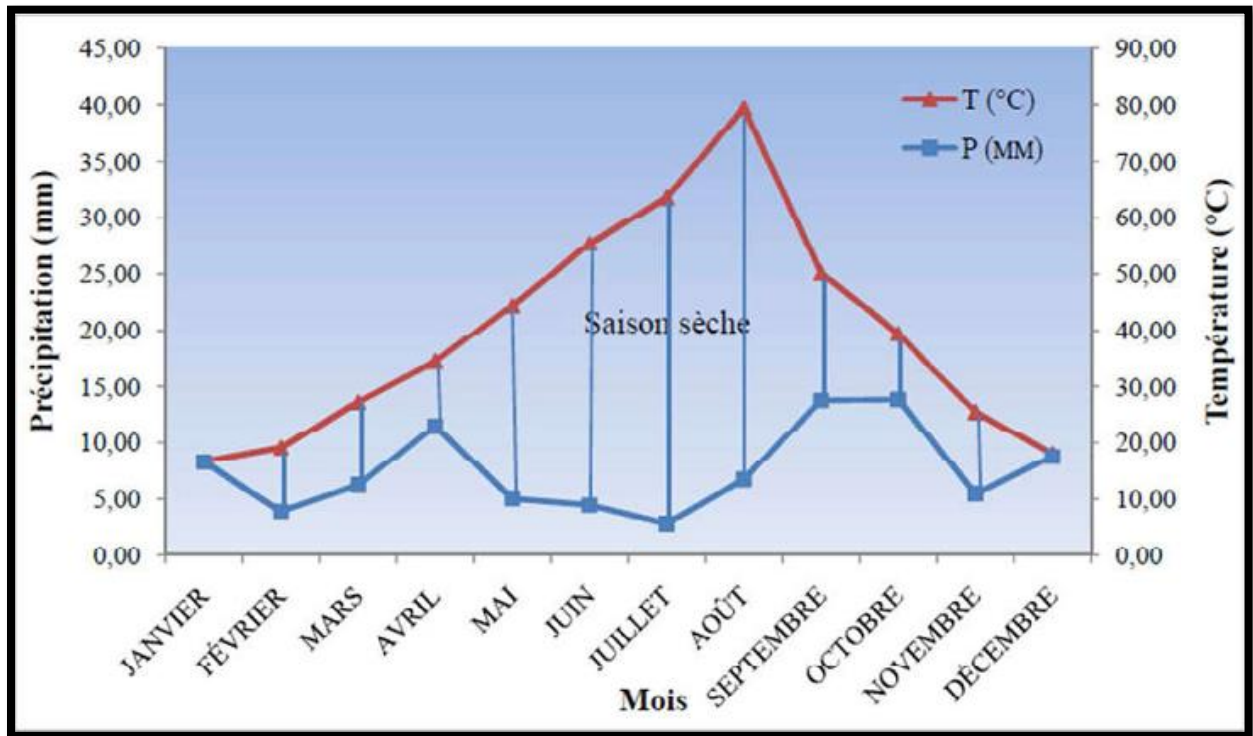


Figure 11 : diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la station d'étude (2002-2012) (Boubrima, 2014).

Cependant, l'analyse du climat et la zonation écoclimatique de Le Houérou (1995) de notre station d'étude durant la période (2002-2012) a révélé que notre daya se place dans l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais, qui se caractérise par la présence et la dominance d'espèces steppiques strictes, l'infiltration de certaines espèces sahariennes et quasi-inexistence d'espèces d'affinité forestière en dehors des zones favorisées par le ruissellement (Boubrima, 2014).

2. Echantillonnage des sols sur le terrain

Les sols du pistachier de l'Atlas, objet de notre étude ont été récoltés au mois d'avril, 2016. L'échantillonnage des sols s'est porté sur six sujets de classes d'âges différentes qui ont été choisis d'une manière subjective. Les caractéristiques générales des sujets sont résumées ci-dessous.



Sujet 1 : mâle âgé

Altitude : 968,95 m

Latitude : 33°29' 534 N

Longitude : 2°13' 344 E

Figure 12 : sujet 1, dayate El Gouffa
(Laghouat, avril 2016).



Sujet 2 : femelle âgée

Altitude : 966,52 m

Latitude : 33° 29' 606 N

Longitude : 2°13' 358 E

Figure 13 : sujet 2, dayate El Gouffa

(Laghouat, avril 2016).

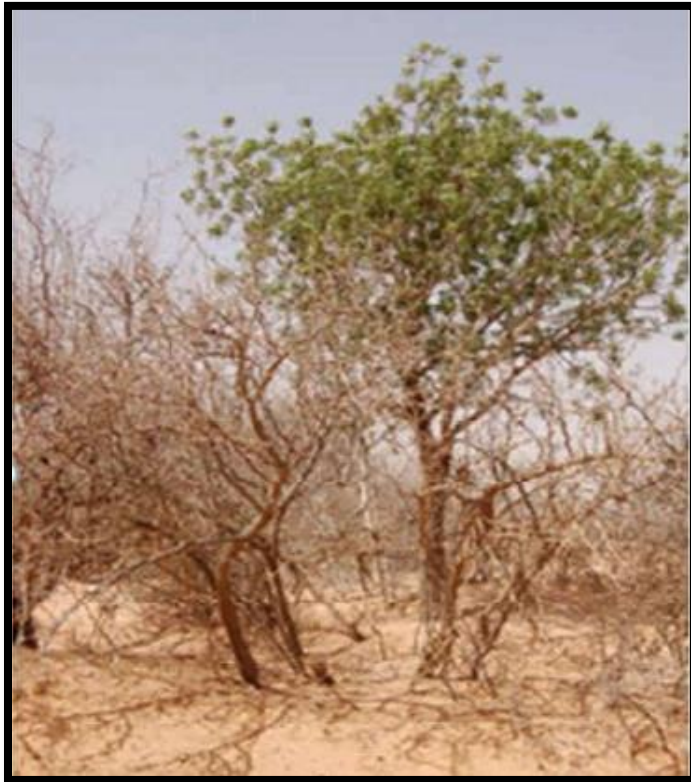


Figure 14 : sujet 3, dayate El Gouffa
(Laghout, avril 2016).

Sujet 3 : mâle moyen

Longitude : 957,3768 m

Latitude : 33°29' 694 N

Altitude : 2°13' 354 E



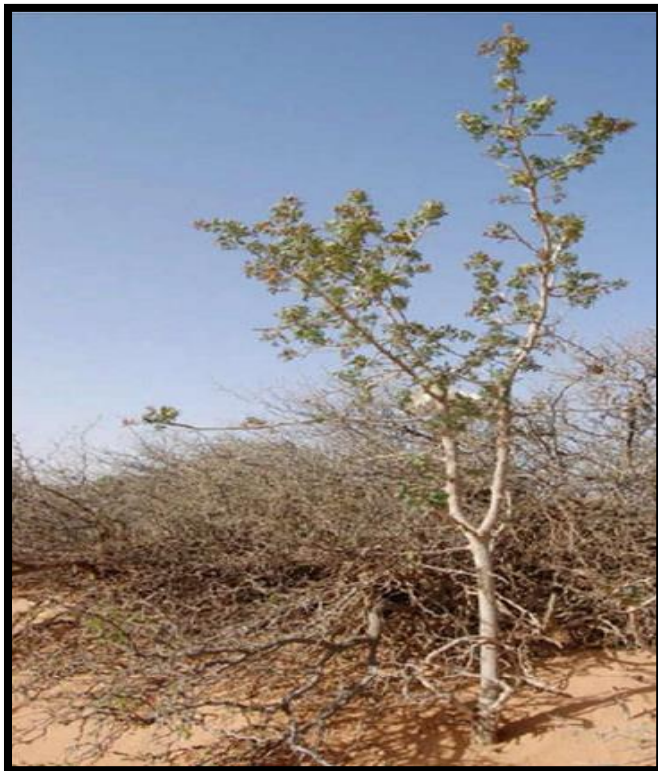
Figure 15 : sujet 4, dayate El Gouffa
(Laghout, avril 2016).

Sujet 4 : femelle moyenne

Longitude : 965,9112 m

Latitude : 33°29' 529 N

Altitude : 2°13' 308 E



Sujet 5 : immature

Longitude : 965,30 m

Latitude : 33°29' 702 N

Altitude : 2°13' 405 E

Figure 16 : sujet 5, dayate El Gouffa
(Laghouat, avril 2016).



Sujet 6 : immature

Longitude : 959,5104 m

Altitude : 33°29' 709 N

Latitude : 2°13' 362 E

Figure 17 : sujet 6, dayate El Gouffa
(Laghouat, avril 2016).

3. L'échantillonnage, la technique de conservation et de préparation des sols

Les sols des six sujets sont prélevés à partir d'un profil racinaire, à 20 cm de profondeur. Ils ont été conservés dans des sacs en plastique portant les informations suivantes : le nom de la daya, le numéro du sujet et le niveau échantillonné, ensuite transportés au laboratoire et conservés à des températures ambiantes. Les sols ont été séchés à l'air libre pendant 48 heures, puis tamisés (2 mm pour le diamètre des mailles) pour obtenir une terre fine.

4. Extraction et dosage de la glomaline

L'extraction de la glomaline a été effectuée comme décrit par Bradford. Des solutions contenant 1 g de sol et 8 ml de citrate de sodium (pH=7 pour la glomaline facile à extraire), (pH=8 pour la glomaline difficile à extraire), ont été stérilisés à l'aide de l'autoclave à une température de 121°C pendant 20 minutes. Les extraits refroidis ont été centrifugés pendant 30 minutes à une vitesse de 6000 tours par minute. Le sol et les débris ont sédimenté au fond des tubes à centrifugation. Le précipité a été extrait deux fois, le premier extrait a été utilisé pour l'extraction de la glomaline facile à extraire, le deuxième extrait a été utilisé pour la glomaline difficilement à extraire.

La glomaline est concentrée dans le surnageant. Le surnageant a été récupéré dans des tubes pour doser la fraction de GPRS, en ajoutant du citrate, le colorant (bleu de coomassie) et en utilisant la BSA (Bovine Serum Albumin) comme standard. Le dosage est effectué par le spectrophotomètre. La concentration de la glomaline a été exprimée à mg g^{-1} .

5. Analyses statistiques

Nous avons effectué des analyses statistiques des résultats obtenus de dosage de la glomaline des sols prélevés. D'abord, nous avons commencé par une analyse de la variance, qui est une analyse de deux variables différentes, une quantitative une autre qualitative. L'étude de ces variables se fait dans le but de montrer la relation d'indépendance entre ces deux variables.

Dans cette analyse de la variance, on fait référence à deux hypothèses qui sont H_0 qui est une hypothèse nulle et qui correspond à l'absence de différence significative et H_1 qui est une hypothèse alternative, c'est-à-dire qu'il y a une différence significative. Dans cette analyse, nous prenons un risque de $\alpha=0.05$ (5%) (Dagnelie, 2013).

Des analyses en composantes principales (A.C.P) sont réalisées en vue de mettre en évidence la relation entre les paramètres chimiques des sols échantillonnés. Les analyses sont faites grâce au logiciel Stat Box 6.40. L'analyse en composantes principales a pour objet d'étudier la relation qui existe entre plusieurs variables quantitatives. Les résultats sont donnés sous forme de graphes : un graphe de variables et un autre graphe des individus. Dans notre étude les variables représentent les paramètres chimiques du sol (pH, CaCO₃ total, MO, S, CR, H.H, A et Glomaline totale) et les individus représentent les sols. Dans l'ACP, le graphe des individus est lu simultanément avec celui des variables, il permet de déduire l'individu qui donne la meilleure ou la plus faible valeur de la variable. Ce dernier est donné par le cercle des corrélations, de rayon R=1 (Dagnelie, 2011).

Des analyses de la variance (ANOVA) sont faites grâce au logiciel Stat Box6.40, pour mettre en évidence la présence de différences significatives entre les différents sujets échantillonnés.

Une analyse en composantes principales (A.C.P) est réalisée, pour mettre en évidence la distribution de la glomaline au niveau de six sujets de dayate El-Gouffa (Laghouat) en fonction des caractéristiques édaphiques du sol.

chapitre 4 : Résultats et discussion

1. Quantité de glomaline extraite

Le tableau 3 présente la quantité de la glomaline extraite des sols sous six pistachiers de l'Atlas échantillonnés dans la région d'El Gouffa (Laghouat).

D'après ce tableau, la quantité de glomaline dans les sols échantillonnés sous le pistachier de l'Atlas varie entre 1,74 et 4,57 mg g⁻¹. La valeur la plus élevée se trouve au niveau du sujet 4 avec 4,47 mg g⁻¹, suivi par les sujets 6 avec 4,22 mg g⁻¹, le sujet 5 avec 4,09 mg g⁻¹, le sujet 3 avec 3,79 mg g⁻¹. Ces quatre sujets mentionnés précédemment (jeune et immature) contiennent la plus grande quantité en glomaline, contrairement au sujet 2 (femelle âgée) avec 2,80 et le sujet 1 (mâle âgé) qui contient la plus faible quantité avec 1,74 mg g⁻¹.

Tableau 3 : quantité de glomaline extraite (mg g⁻¹) sous pistachier de l'Atlas.

Sujets	Glomaline pH 7 (mg g ⁻¹)	Glomaline pH 8 (mg g ⁻¹)	Glomaline totale (mg g ⁻¹)
S1	0,70	1,03	1,74
S2	1,52	1,28	2,80
S3	2,49	1,30	3,79
S4	2,53	2,04	4,57
S5	2,15	1,94	4,09
S6	2,18	2,04	4,22

Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus par Zerrar (en cours), qui a travaillé sur les sols de dayate Saadi à Hassi Delâa (Laghouat) échantillonnée en avril 2016. Les valeurs les plus élevées dans ses sols sont de 5,85 mg g⁻¹ et les plus faibles sont de 2,78 mg g⁻¹.

Une quantité de glomaline importante a été trouvée au niveau des quatre sujets (3, 4, 5 et 6) (immature et moyen âge) dans les sols sous le pistachier de l'Atlas au niveau de dayate El Gouffa (Laghouat) cette différence est liée au fait que ces sujets ont été échantillonnés au niveau des nebkhas. Ces sols (Nebkhas) entourent les pistachiers de l'Atlas au moyen âge. Les nebkhas sont un type de dune ancrée qui se forme par accumulation de sédiments autour d'herbes, d'arbustes ou d'arbres. Les nebkhas sont très répandus dans les milieux secs et côtiers. Ils ont une importance considérable car ils peuvent être des « îlots de fertilité » et avoir des effets hydrologiques et biologiques majeurs.

La quantité de glomaline sous le pistachier de l'Atlas au niveau de dayate El Gouffa (Laghouat) montre une quantité significativement importante par rapport à la bibliographie dans différents environnements (Tableau 4). La teneur en glomaline la plus élevée a été trouvée dans la forêt tropicale humide (13,50 mg g⁻¹) et la teneur en glomaline la plus faible a été observée dans le sol désertique du monde (0,003 mg g⁻¹). Dans les sols agricoles, la teneur en glomaline varie entre 0,30 et 0,70 mg g⁻¹ (Wang *et al.*, 2018).

Tableau 4 : la teneur en glomaline (mg g⁻¹) extraite dans différents environnements

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

2. Corrélation entre les variables de différentes composantes du sol sous pistachier de l'Atlas

Les coefficients de corrélation de Pearson ont permis de mesurer l'intensité de la relation linéaire entre deux variables (Tableau 6). Les résultats ont permis de noter des corrélations significativement négatives entre la glomaline et le taux de CaCO₃ (calcaire total), (-0,90), avec le taux de l'humidité hygroscopique (-0,91) et avec le taux d'argile (-0,87) (Tableau 5). Comparativement aux résultats de Zerrar (en cours), la glomaline totale a été

significativement corrélé positivement aux taux de limons (0,83) dans les sols de dayate Hassi Delâa.

De plus, d'autres corrélations significativement négatives ont été notées entre le taux de limons et sables (-0,93). Par ailleurs, il y a eu des corrélations significativement positives, le taux de CaCO₃ a été corrélé positivement avec le taux de matière organique (0,91) et d'argiles (0,82). De plus, la capacité de rétention en eau a été corrélé positivement avec l'humidité hygroscopique (0,95), le taux d'argile (0,88), l'humidité hygroscopique a été corrélé positivement avec le taux d'argile (0,96).

Tableau 5 : matrice de corrélation de Pearson entre la quantité de la glomaline et les différentes composantes du sol (CaCO₃, pH, MO, H.H, A, L, S) recensés au niveau des sols sous pistachier de l'Atlas au niveau de la dayate El Gouffa

	Glomaline totale	pH	CaCO ₃	MO	CR	H.H	A	L	S
Glomaline totale	1								
pH	0,43	1							
CaCO ₃	-0,90	-0,29	1						
MO	-0,72	-0,41	0,91	1					
CR	-0,78	-0,56	0,53	0,32	1				
H.H	-0,91	-0,51	0,76	0,58	0,95	1			
A	-0,87	-0,51	0,82	0,69	0,88	0,96	1		
L	0,08	-0,59	0,00	0,37	-0,23	-0,15	-0,14	1	
S	0,24	0,77	-0,30	-0,62	-0,09	-0,21	-0,23	-0,93	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

pH , CaCO₃ : taux de calcaire total (%) , MO : taux matière organique (%) , CR : capacité de rétention en eau (%) , H.H: , A: taux d'argiles (%) , L: limon (%) , S: sable (%) .

Pour une meilleure visibilité des interactions entre les variables considérées, nous avons réalisé une ACP (Figure 18), qui montre les contributions de celles-ci selon les deux axes principaux de l'hyperespace statistique.

3. Analyse en composante principale (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est réalisée (Figure 2). Le plan F1 et F2 de l'ACP explique 87% du phénomène, avec 60% pour l'axe F1 et 27% pour l'axe F2.

Selon l'axe 1, on distingue deux groupes A et B.

- Le groupe A englobe les sujets âgés 1 (mâle âgé) et 2 (femelle âgée) qui se caractérisent par la présence de L, MO, CaCO₃, A, H.H et CR.
- Le groupe B englobe les sujets 3, 4, 5 et 6 moyens âges et immatures qui se caractérisent par la présence de la glomaline totale, pH et S.

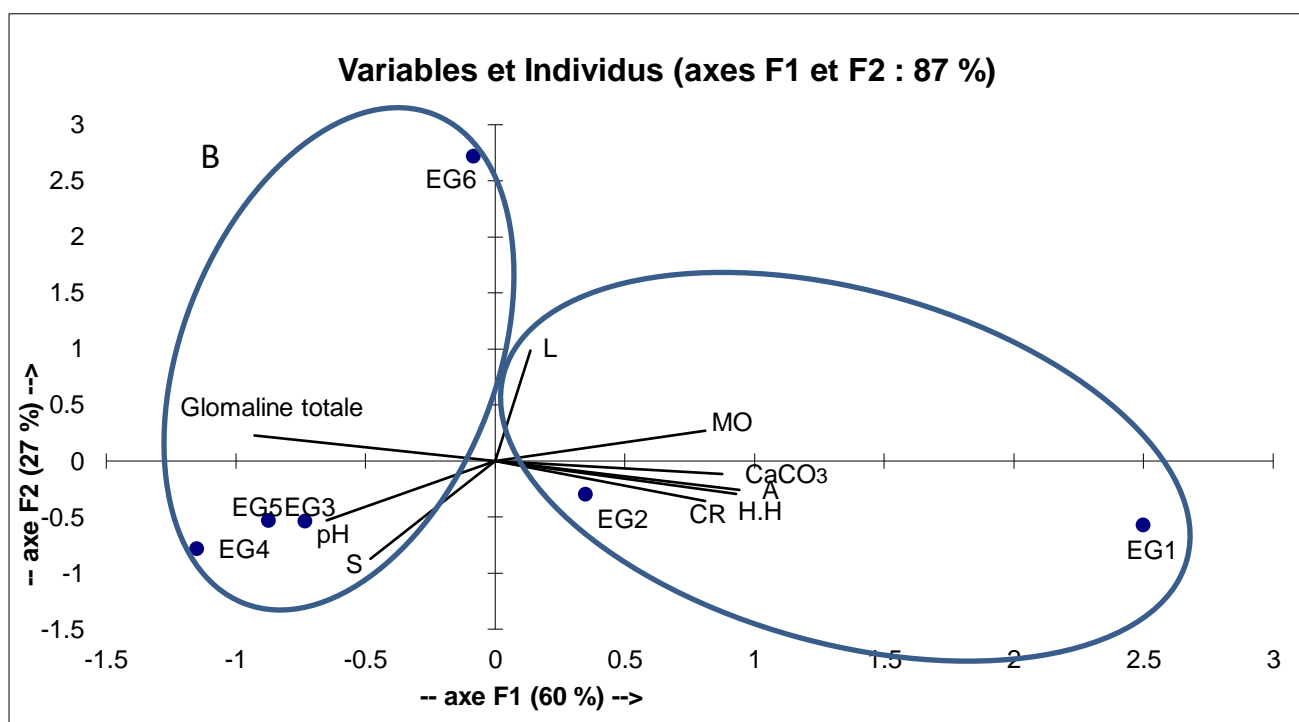


Figure 18 : ACP comparative concernant les différents paramètres chimiques de sol échantillonnés au niveau de dayate EL Gouffa (Laghouat) en 2016.

Dans l'ensemble A (les sujets 3, 4, 5, et 6), immature et moyens âges échantillonnés au niveau des nebkhas, on remarque la présence de la glomaline et du sable. D'après Kaabache (2003) les sols des nebkhas sont considérés riches en sables. Quant à la glomaline nous résultats confirme que la présence de cette dernière dépend de l'âge du pistachier de l'Atlas.

Dans l'ensemble B (les sujets 1 et 2), âgés échantillonnés en dehors des nebkhas, on remarque l'absence de la glomaline. En revanche, on constaté la présence de la matière

organique revient que le pistachier de l'Atlas est producteur primaire de la matière organique grâce à l'action d'enrichissement de ce dernier grâce à son interface rhizosphérique conséquent d'une part et d'autre part son humification grâce à la caducité de ses feuilles, favorisant ainsi l'installation d'une microflore et microfaune prélude à un sol vivant.

La présence CaCO_3 et peut être du à la profondeur des fosses pédologiques réalisé lors de l'échantillonnage.

Conclusion générale

Conclusion générale

La symbiose mycorhizienne joue un rôle significatif dans le système sol-plante, notamment en facilitant la nutrition des plantes et l'amélioration de leur résistance envers les stress biotiques et abiotiques. Les champignons mycorhiziens arbusculaires, vivant sur les racines des plantes, semblent être les seuls producteurs de glomaline qui a le potentiel d'augmenter le stockage du carbone C et de l'azote N du sol qui est principalement impliqué dans l'agrégation du sol.

Dans le cadre de cette étude, nous avons dosé la quantité de la glomaline dans le sol sous pistachier de l'Atlas de la dayate d'El Gouffa (Laghouat). Notre échantillonnage a concerné six arbres de classes d'âge différentes (sujet 1 et 2 âgés, sujet 3 et 4 moyens âges, sujet 5 et 6 immatures), qui ont été choisi d'une manière subjective au printemps 2016.

Afin d'estimer la présence de la glomaline, nous avons analysés les sols en utilisant la méthode de Bradford. Les résultats des analyses du sol sous pistachier de l'Atlas, montrent que la plupart de ces sols sont riche en glomaline (sujets jeunes et immatures). La concentration de la glomaline est de 1,74 à 4,57 mg par un gramme du sol, qui est une quantité significativement importante.

Les résultats de l'analyse de l'ACP nous montrent que la quantité de la glomaline est liée à l'âge des pistachiers de l'Atlas, les sujets 3, 4, 5 et 6 (jeunes et immatures) présentes une quantité de glomaline importante contrairement aux sujets 1 et 2 qui présentes la teneur en glomaline la plus faible.

En perspectives, ce travail peut être poursuit par :

- Utilisation des méthodes bio-spectroscopiques plus sensibles et performantes tels que la spectroscopie infrarouge, LC/MS (chromatographie en phase liquide couplée à une spectrométrie de masse).
- Utilisation de technique de résonance magnétique nucléaire (RMN) pour la détermination de la structure de la glomaline.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- Abbott LK., et Robson AD. 1985.** Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 99 : 245-255.
- Abed K. 2006.** Approche anatomique des radicelles de *Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *Atlantica* : cas de la population de Ain Oussara (wilaya de Djelfa). Mémoire d'Ingénieur en Biologie, Département des Sciences Biologiques, UMMTO. 67p.
- Aghili MH. 2009.** Tehran : Tehran University of Medical Sciences ; Makhzan-al-Advie (persian).
- Ait Radi A. 1979.** Multiplication par vois végétative et par semis de *Pistacia atlantica* Desf. et *Alantus altissima*. Thèse d'ingénieur. I.N.A. El Harrache, 40p.
- Ait Slimane L., 2004.** Architecture racinaire et adaptation du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) à la sécheresse ; cas de la population de Béni Ounif (wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. 107p.
- Ait Zegagh-Benamara N., 2006.** Approche anatomique des radicelles de *Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *atlantica* : cas de la population de Béni Ounif (wilaya de Béchar). Mémoire Ingénieur en Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 54 p.
- Allen MF. 1991.** The Ecology of Mycorrhizae. Cambridge University Press, Cambridge.
- Alyafi J., 1979.** Approche systématique et écologique du genre *Pistacia atlantica* L. dans la région Méditerranéenne. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle. Faculté des Sciences et techniques, St Jérôme, Marseille.
- Amarache C. et Chelli O. 2008.** Contribution à la recherche de symbiose mycorhizienne de (*Pistacia atlantica*. Desf. ssp. *atlantica*) de la station de Tilghemt (Laghouat). Mémoire d'Ingénieure en Biologie, Département des Sciences Biologiques, UMMTO. 78p.
- Amghar F., et Kadi-Hanifi H. 2002.** Effet de la mise en défense de la biodiversité et le sol dans les formations à *Stipa tenacissima* de l'Algérie. 11^{ème} réunion du sous réseau méditerranéens FAO-CIHAM « Réhabilitation des pâturages et des parcoures en milieu méditerranéens » du 29 octobre au 1 novembre 2002, Djerba (Tunisie).
- Arunkumar B.R. 2021.** Glomalin : A Good Soil Aggregator. Scientist. University of Agricultural and Horticultural Sciences Shivamogga Karnataka India-577 225. Volume 2 Issue 6 page : 0174-0175.

Références bibliographies

- Avicenna. 2012.**Beirut : Alamy Le-Al-Matbooatinstitute ; Al-Qanun fi al-tibb (The Canon of Medicine).
- Baba Aissa F. 2000.**Encyclopédie des plantes utiles : Flore d'Algérie et du Maghreb. EDAS. Rouiba. 217p.
- Bangouls F. et Gaussen H., 1953.** Sèche et indice xérothermique Bull. Soc. Hist. Nat de Toulouse, 88, 193-240 p.
- Batten KM, Six J, Scow KM, Rillig MC. 2005.** Plant invasion of native grassland on serpentine soils has no major effects upon select physical and biological properties. Soil Biol. Biochem. 37 : 2277-2282.
- Belhadj S., 2001.** Les pistacheraies algériennes : états et dégradation. Cahiers Options Méditerranéennes, 56, 107-109 p.
- Belhadj S., 2007.** Etude écobotanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) en Algérie, préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et à sa valorisation. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, option : écologie végétale. 185p.
- Belhadj S., Derridj A., Auda Y., Gers C., Gauquelin T. 2008.** Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. Botany, CNRC Canada.86 : 520-532.
- Benfoddil O., 2015.** Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques. Département des Sciences Biologiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 147 p.
- Benhamou N., Atik Bekkara F. et Kadifkova Panovska T., 2008.** Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts. African Journal of Pharmacy and Pharmacology Vol. 2(2). pp. 022-028, April, 2008.
- Benhassaini H., Belkhodja M. 2004.** Le pistachier de l'Atlas en Algérie entre la survie et disparition. La feuille et l'aiguille. 54 : 1-2.
- Bentaleb T., 2011.** Caractérisation physique et chimique des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la daya de Boucédraia (wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, Université Moulous Mammeri, Tizi Ouzou, 62p.
- Boubrima A. 2014.** Type d'enracinement du pistachier de l'Atlas en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent : cas de dayate Saadi (Hassi Delâa) et de dayate Aiat (Timzerth) de la wilaya de Laghouat. Mémoire de Magister Ecologie végétale, Université Amar Telidji. Laghouat. 244p.

Références bibliographies

- Bounceur D., 2009.** Contribution à l'étude de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp *atlantica*) : cas de la daya de Tirlhemt (wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 90 p.
- Brichet M. 1931.** compte rendu du livre des journées de l'arbre fruitier. Alger. 735p.
- Browiez. 1988.** Mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Alas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Brown PH Zhang Q. Fergusson L. 1994.** Influence of rootstock on nutrient. Acquisition by Pistachio. Journal of plant nutrition. 17 : 1137-1148p.
- Chaba B. Charaa O. Khichane M. 1991.** Germination, morphogénèse racinaire et rythmes de croissance du pistachier de l'Atlas. Physiologie des arbres et des arbustes en zones arides et semi arides, Groupe d'Etude de l'arbres : 465-472.
- Chenoune K. 2005.** La flore et la végétation du Hoggar. Intitut national de la recherche forestière (INRF), Cheraga, Algérie. BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES, 284 (2).p.
- Chief R. 1982.** Les plantes médicinales. Solor, 2276-2277.
- Chi, G., Srivastava, A.K., Wu, Q. 2018.** Exogenous easily extractable glomalin-related soil protein improves drought tolerance of trifoliolate orange. Archives of Agronomy and Soil Science 64 : 1341-1350.
- Conversa G., Lazzizzera C., Chiaravalle A.E., Miedico O., Bonasia, A., La Rotonda P., Elia A. 2019.** Selenium fern application and arbuscular mycorrhizal fungus soil inoculation enhance Se content and antioxidant properties of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears. Scientia Horticulturae. 252 : 176-191.
- Dahmani W. 2011.** Etude de la variabilité morphologique du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans les zones steppiques de la région de Tiaret. Mémoire de Magister Biodiversité végétale méditerranéenne de l'Algérie occidentale, Département des sciences Biologiques, Faculté des sciences, Université d'Oran.
- Daneshard et Aynchi. 1980.** Etude de la variabilité morphologique du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans les zones steppiques de la région de Tiaret. Mémoire de Magister, Biodiversité végétale méditerranéenne de l'Algérie occidentale, Département des sciences Biologiques, Faculté des sciences, Université d'Oran.

Références bibliographies

- Deguiche M., 2008.** Caractérisation des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : cas de la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 88 p.
- Djenidi D., 2012.** Etude du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : essais de germination, extraction des polyphénols et activité antimicrobienne. Mémoire de Magistère, Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie, Département des Sciences de la nature et de la vie, Université Mohamed Kheider. Biskra.
- Driver J.D., W.E., Holben M.C. Rillig. 2005.** Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungus. *Soil Biology & Biochemistry*. 37 : 101-106.
- El Zery-Belaskri A., Benhassaini H. 2016.** Morphological leaf variability in natural populations of *Pistacia atlantica* key. *Int J Biometeorol*. 60 : 577-589.
- Emberger., 1942.** in mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Alas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Ferhani O., 2015.** Mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Alas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Fokom R., Adamou S., Teugwa M.C Begoude Boyogueno A.D., Nana W.L., Ngonkeu M.E.L., Tchameni N.S., Nwaga, D., Tsala Nezomo G., Amvam Zollo 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.
- Germana C., 1997.** The response of pistachio trees to water stress as affected by two different rootstocks. *Acta Horticulturae* (ISHS). 449 : 513-519.
- Gispert M., Emran M., Pardini G., Doni S., Ceccanti B. 2013.** The impact of land management and abandonment on soil enzymatic, glomalin content and aggregate stability. *Geoderma*. 202 : 51-61.
- Haddouche S. 2017.** Contribution à l'étude des symbioses mycorhiziennes chez le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : cas de la population de dayate Saasi Hassi-Delâa (wilaya de Laghouat). Mémoire de Master, Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques. UMMTO. 71p.

Références bibliographies

- Hadj Benamane D et Ould Amrouche. 2009.** Contribution à la recherche de la mycoflore endophyte et mycorhizienne du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica*) population Theniet El Had (wilaya de Tessemsilt). Mémoire de l'Ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, UMMTO. 51p.
- Hales., 2016.** Mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de Dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Hamitouche F. 2016.** Influence des propriétés physico-chimiques du sol sur l'architecture racinaire de *Pistacia atlantica* Desf. de Dayate El Gouffa, commune Ain Madhi, W. Laghouat, Magister : Sciences biologiques, Option : Ecologie Végétale appliquée et gestion de l'environnement, Faculté des Sciences Biologiques et des sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri Tiz Ouzou, 100p.
- Helen A., Alejandro F., Barrientos P., Sara F., Wright., Esteban E., Joseph B., Morton., John A., Menge and Carol J. 2008.** Disturbance changes arbuscular mycorrhizal fungal phenology and soil glomalin concentrations but not fungal spore composition in montane rainforests in Veracruz and Chiapas, Mexico. H.A. Violo et al. / Forest Ecology and Management 254 (2008) 276-290.
- Isfendiyaroglu M. and Özeker E. 2009.** Inflorescence features of a new exceptional monoecious *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) population in the barbaros plain of Izmir/Turkey. International Journal of Plant Production 3 : 93-97.
- Jarecki MK, Lal R. 2005.** Soil organic carbon sequestration rates in two long-term no-till experiments in Ohio. Soil Sci., 170 : 280-291.
- Ji L., Tan W., Chen X. 2019.** Arbuscular mycorrhizal mycelial networks and glomalin-related soil protein increase soil aggregation in Calcaric Regosol under well-watered and drought stress conditions. Soil and Tillage Research. 185 : 1-8.
- Kaskas N. 1994.** The Pistachio in its traditional growing areas. CIHEAM-FAO cours approfondies production et économie des fruits secs. P. 17.
- Kebcis S., 2008.** Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Tilrhemt (wilaya de Lghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques Agronomiques, U.M.M.T.O, 116p.

Références bibliographies

- Khaldi A., et Khoudja M.K., 1996 :** Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in NorthAfrica : Taxonomygeographical distribution utilization and conservation. In : Taxonomy. Distribution, conservation and user of : Pistacia geneticresources. Proceedings of the IPGRI Workshop 29-30 Jun 1995. Edited by S. padulosi, T.caruso and E.Barone. Palermo, Italy. 57-62.
- Lahmann E.F., Laifheit A., Rillig M.C. 2017.** Mycorrhizas and soil aggregation. p. 241-262. In : Johnson, N.C., Gehring, C., Jansa, J. Mycorrhizal mediation of soil : fertility, structure and carbon storage. Elsevier, New York, NY, USA.
- Larouci-Rouibat A. 1987.** Etudes biochimiques et physiologiques des semences du pistachier de l'Atlas. D.E.S Physiologie végétale USTHB. Alger. 113p.
- Le Tacon F., 1978.** La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'Épicéa commun (*Picea excelsa* Link.) et du Pin noir d'Autriche (*Pinus Nigra nigricans* Host.). Ann. Sci. Forst., 1078, 35 (2), 165-174.
- Le Houérou H.N, 1995.** Bioclimat et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options Méditerranéennes, série B, 396 p.
- Limane A., 2009.** Approche de l'architecture racinaire de pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de la réserve d'El Mergueb (wilaya de M'sila). Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 157p.
- Limane A, Smail Saadoun N, Thomas G. 2014.** Root architecture of Atlas pistachio in relation to underlying soil properties under arid conditions. Vol. 9 (6), pp. 620-626.
- Limane A., 2018.** Réponses architecturales racinaires et stratégies d'absorption hydrominérale chez *Pistacia atlantica* en fonction d'un gradient d'aridité croissante : cas d'un transect Nord- Sud en Algérie. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 22-65 p.
- Lovelock CE, Wright SF, Clark DA, Ruess RW. 2004.** Soil stocks of glomalin produced by arbuscularmycorrhizal fungi across a tropical rainforest landscape. J. Ecol., 92 : 278-287.
- Maameri S., 2008.** Etude de *Pistacia atlantica* de deux régions de sud algérien : dosage de lipides, dosages de polyphénols, essais antileishmaniens. Mémoire de magister. Université de Boumerdes. 141p.
- Maria et al., 2010.** Mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne,

Références bibliographies

Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Mechiah F. 2015. Approche des symbioses racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister, Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, UMMTO. 125p.

Mechiah F., Boutelba I., Smail-Saadoun N. 2021. Variability of the rhizospheric myco diversity of the Algerian *Pistacia atlantica* Desf. Acta Ecologica Sinica.

Mellah H. 2007. Approche anatomique des radicules du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. Subsp. Atlantica) : cas de la population d'oued Besbès, wilaya de Médéa. Mémoire de Magister, Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques U.M.M.T.T. 140p.

Mohammed B.H. 2020. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(1) : 191-196, 2021.

Monjauze A. 1967. Etude de la variabilité morphologique du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans les zones steppiques de la région de Tiaret. Département des sciences Biologiques, Faculté des sciences, Université d'Oran. p 1.

Monjauze A. 1968. Répartition et écologie de *Pistachia atlantica* Desf. En Algérie. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord. 128p.

Monjauze A. 1980. Connaissance du Bétoum *Pistacia atlantica* Desf. Biologie et forêt, (4) : 357-383.

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.

Nègre R. 1962. Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome II. Ed. C.N.R.S., 55p.

Nicholas KA, Wright SF. 2005. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. SoilSci., 170 : 985-997.

Oehl F, Sieverding E, Mader P, Dubois D. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Oecologia, 138 : 574-583.

Ozekret et al., 2006. Mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Alas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Références bibliographies

- Ozenda P. 1977.** Flore du Sahara. Ed.C.CN.R.S, 622p.
- Ozenda P. 1983.** Flore du Sahara. 2^{ème} éd. Centre national de la recherche scientifique, Paris, France.
- 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. ORSTOM. Paris, 569 p.
- Poureza M., Shaw John D., Zangeneh H. 2008.** Sustainability of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in Zagros forsts, Iran. *Science direct. Forest Ecology and Management* 255 (2008) p-p 3667-3671.
- Priscila M., et Júnior Melo D. 2021.** Beneficial services of Glomalin and Arbuscular Mycorrhizal fungi in degraded soils in. *Sci. Agric. V.79, n.5, e20210064, 2022.*
- Quézel P., Santa S. 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 2. Centre national de la recherche scientifique, Paris, France.
- Quézel P., Médail F. 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Ed. Elsevier, Paris, 573p.
- Raab G. 2010.** Contribution à l'étude des symbioses mycorhiziennes du pistachier de l'Atlas : cas de la population de dayate de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d'Ingénieur en Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, UMMTO. 76p.
- Redjdal L. 2010.** Contribution à l'étude des symbioses mycorhiziennes du pistachier de l'Atlas cas de la population de dayate de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d'Ingénieur en Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, UMMTO. 93p.
- 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.
- 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, Caldwell BA, Wosten HAB, Sollins P. 2007.** Role of proteins in soil carbon and nitrogen storage : controls on persistence. *Biogeochemistry*, 85 : 25-44.
- Rillig MC., Muller LA., Lehmann A. 2017.** Soil aggregates as massively concurrent evolutionary incubators. *The ISME Journal*. 11 : 1943-1948.
- Sara F. et Wright. 1987.** Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth : an example from a tropical rain forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 36 (2004) 1009-1012.

Références bibliographies

- Singh AK., Rai A., Singh N. 2016.** Effect of long-term land use systems on fractions of glomalin and soil organic carbon in the Indo-Gangetic plain. *Geoderma* 277 : 41-50.
- Singh AK., Chen C., Wu J., Yang B., Zakari S., Jiang XJ., Singh N., Liu W. 2020.** The role of glomalin in mitigation of multiple soil degradation problems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 50 :1-35.
- Single. 2017.** Glomalin and Contribution of Glomalin to Carbon Sequestration in Soil : A Review. *Hossain/ Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(1) : 191-196, 2021.
- Smail-Saadoun N., 2005.** Types stomatiques de genre *Pistacia atlantica* Desf subsp *atlantica* et *Pistacia lentiscus* L. *Options Méditerranéennes. Série A : Séminaires Méditerranéens (CIHEAM)*. 63 : 369-371.
- Smail-Saadoun N., 2008.** Mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Alas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Song Z., Bi Y., Zhang J., Gong Y., Yang H. 2020.** Arbuscular mycorrhizal fungi promote the growth of plants in the mining associated clay. *Scientific Reports*. 10 : 1-9.
- Treseder KK., Turner KM. 2007.** Glomalin in ecosystems. *SoilSci. Soc. Am. J.* 71 : 1257-1266.
- Wang Q, Lu H, Chen J, Hong H, Liu J, Li J, Yan C. 2018.** Spatial distribution of glomalin-related soil protein and its relationship with sediment carbon sequestration across a mangrove forest. *Sci. Total Environ.*, 613 : 548-556.
- Whang Q., Lu H., Chen J., Hong H., Liu J., Yan C. 2018.** Spatial distribution of glomalin-related soil protein and its relationship with sediment carbon sequestration across a mangrove forest. *The Science of the Total Environment*. 613 : 548-556.
- Wang Q., Wang W., Zhong Z., Wang H., Fu Y. 2020.** Variation in glomalin in soil profiles and its association with climatic conditions, shelterbelt characteristics, and soil properties in poplar shelterbelts of Northeast China. *J. Forest. Res.* 31 : 279-290.
- Wright SF., Franke-Snyder M., Morton JB., Upadhyaya A. 1996.** Time course study and partial characterization of a protein on Hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant and Soil*. 181 : 193-203.

Références bibliographies

- Wright SF., Upadhyaya A. 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 SF., Upadhyaya A. 1998.** A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil*. 198 :97-107.
- Wright S, Anderson RL. 2000.** Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biol. Fertility Soils*. 31 : 248-253.
- Wu QS., Xia R., Zou YN. 2008.** Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology*. 44 : 122-128.
- Wuest SB, Caesar-TonThat TC, Wright SF, Williams JD. 2005.** Organic matter addition, N, and residue burning effects on infiltration, biological, and physical properties of an intensively tilled silt-loam soil. *Soil Tillage Res.* 84 :154-167.
- Xie XY., Weng BS., Zhao SZ., Yan CL. 2013.** Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and Cd stress on the growth and antioxidant enzyme system of *Kandelia obovata*. *Journal of Xiamen University*. 52 : 244-253.
- Yaaqobi A., El Hafid L. Haloui B. 2009.** Etude biologique de *Pistachia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc. Univ Mohand I, Oujda (Maroc). *Biomatec Echo*, 3 : 39-49.
- Yazag., 2013.** Mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Yousfi M., Nedjemi B., Belal R. et Ben Bertal D. 2003.** Etude des acides gras d'huile de fruit de pistachier de l'Atlas agérien. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. Volume 10, Numéro 5-6, 425-427.
- Yousfi M., Nedjemi B., Belal M., Bombard I., et Gaydou E.M., 2005.** Triacylglycerol composition of Oil from *Pistacia atlantica* fruit Growing in Algeria.
- Zareb A., 2014.** Contribution à l'étude des mycoendophytes foliaires du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate Aiat (Timzerth, Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie. 146 p.

Références bibliographies

Zhang J., Tang X, He X, Liu J. 2016. Glomalin-related soil protein responses to elevated CO₂ and nitrogen addition in a subtropical forest : Potential consequences for soil carbon accumulation. *Soil Biology & Biochemistry*. 83 : 142-149.

Zhang J., Tang X.L., Zhong S.Y., Ying G.C., Gao Y.F., He X.H. 2017. Recalcitrant carbon components in glomalin related soil protein facilitate soil organic carbon preservation in tropical forests. *Scientific Reports*. 7 : 2391.

Zohary M. 1952. A monographical study of the genus *Pistacia*. J. series. *Palestine Journ Bot*. 4 : 187-228.

Zohary M. 1987. *Flora Palaestina*. Platanaceae to Umbelliferae. Second printing. Israel Academy of Sciences and Humanities. 2 : 296-30.

Zohary., 1996. in mise en évidence de la diversité fongique (Glomeromycota) de la rhizosphère du pistachier de l'Alas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate El Gouffa, Laghouat (Algérie). Mémoire de Master 2, Diversité et adaptation de la flore Méditerranéenne, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Résumé

Résumé

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) est une espèce spontanée de la steppe Nord-Africaine. Il est présent dans les régions semi-arides, arides et voir même sahariennes. L'objectif de notre travail est le dosage de la glomaline (glycoprotéine) au niveau des sols rhizosphériques de cette essence de dayate El Gouffa (Laghouat). Notre échantillonnage a concerné six sujets de classes d'âge et de sexe différentes. La glomaline a été extraites suivant la méthode de Bradford. Les résultats obtenus montrent que la quantité de la glomaline sous le pistachier de l'Atlas au niveau de dayate El Gouffa (Laghouat) est significativement importante par rapport à la bibliographie dans différents environnements. Ce qui a permis à cette espèce une bonne résistance aux différents stress environnementaux. La quantité de glomaline dans les sols échantillonnés sous le pistachier de l'Atlas varie entre 1,74 et 4,57 mg g⁻¹ du sol. La valeur la plus élevée est de 4,47 mg g⁻¹ pour le sujet 4 (jeune), contre 1,74 mg g⁻¹ pour le sujet 1 (âgé).

Mots clés : *Pistacia atlantica* Desf., glomaline, sols rhizosphériques, dayate El Gouffa, Laghouat.

Abstract

The Atlas pistachio tree (*Pistaciaatlantica* Desf.) is a spontaneous species of the North African steppe. It ispresent in semi-arid, arid and even Saharan regions. The objective of ourworkis the dosage of golamin (glycoprotein) in rhizospheric soils of this species of dayate El Gouffa (Laghouat). Our sampling involved six subjects of different age and sex classes. Glomalin was extracted according to the Bradford method. The results obtained show that the quantity of glomalin under the Atlas pistachio tree at the level of dayate El Gouffa (Laghouat) issignificantly important compared to the bibliography in different environments. This has allowedthis species a good resistance to different environmental stresses. The amount of glomalin in the soils sampled under the Atlas pistachio tree varies between 1.74 and 4.57 mg g⁻¹. The highest value is 4.47 mg g⁻¹ for subject 4 (young), compared to 1.74 mg g⁻¹ for subject 1 (aged).

Key words: *Pistacia atlantica* Desf., Glomaline, rhizospheric soils, dayate El Gouffa, Laghouat.