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

Université Larbi Tébessi-Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Etres Vivants

Mémoire de MASTER

En : Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie

Thème:

Évaluation de l'activité respiratoire du sol sous la canopée du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) au Sud de Tébessa

Par :

Mokadem Khadidja

Devant le jury

Boudjabi Sonia	Professeur	Univ. Tebessa	Président
Neffar Souad	Professeur	Univ. Tebessa	Promoteur
Ghedabnia Karima	MAA	Univ. Tebessa	Examinateur

Date de soutenance 11 Juin 2025

Note : /20

Année universitaire 2024/ 2025

Dédicaces

À ma chère mère Fazfez et à mon père Rahmoun

À vous, piliers de ma vie, modèles de courage, de patience et d'amour inconditionnel. Je vous dois tout ce que je suis et tout ce que je deviens. Que ce modeste travail soit le fruit de vos sacrifices, le reflet de vos prières et l'écho de votre espoir. Puisse Dieu vous accorder santé, sérénité et longue vie. Votre fierté est et restera la plus belle de mes récompenses.

À mes adorables sœurs Sara et Hadjer

Votre amour sincère, votre soutien constant et votre présence réconfortante ont été pour moi des piliers essentiels. Chaque encouragement de votre part a illuminé mon chemin et donné un sens profond à ce travail. Je vous dédie ce succès avec toute ma gratitude et mon affection.

À mon frère Chafik

Merci pour ton soutien, ta présence et ta confiance. Ce travail t'est dédié, avec mes vœux sincères de succès et d'épanouissement.

À mes chères amies

Vous avez été des âmes fidèles, des soutiens précieux dans les hauts comme dans les bas. Merci pour votre présence lumineuse, vos mots justes, et votre amitié

sincère. Je vous dédie cette modeste réussite, en témoignage de notre belle complicité.

À mon cher Dadi

Ta présence est un trésor inestimable dans ma vie, une source profonde de réconfort et de sagesse. Merci pour ton affection, tes conseils éclairés et ton soutien indéfectible.

Mokadem Khadidja

Remerciements

Louange à Dieu, dont la grâce permet l'accomplissement des œuvres. Je Le remercie pour Ses bienfaits : santé, patience, et guidance. Sans Son aide, ce travail n'aurait pu voir le jour.

Je remercie sincèrement Pr. Neffar Souad, mon encadreur, pour avoir accepté de guider ce travail. Son soutien, ses conseils et sa patience ont été précieux tout au long du projet. Sa rigueur et sa bienveillance m'ont beaucoup inspiré. Que ce travail soit le reflet de ma profonde gratitude.

Je remercie Mme Boudjabi Sonia d'avoir accepté de présider ce jury et Mme Ghedabnia Karima d'avoir examiné ce travail.

Je remercie mon prof Aloui Massinissa pour son soutien et ses précieux conseils tout au long de ce travail.

Je remercie Mme Mebarki Nadjoua pour son soutien et pour avoir été une sœur et une amie précieuse.

Mokadem Khadidja

Résumé

Dans un contexte de valorisation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans une zone semi-aride à Tebessa (Nord-Est algérien), cette étude se veut une contribution à évaluer la respiration du sol dans la rhizosphère de cette espèce en relation avec les propriétés physico-chimiques. Les échantillons de sol sont prélévés sous la canopée du pistachier et ont subi quelques analyses physico-chimiques et biologiques du sol sous les jeunes et vieux sujets : la teneur en matière organique, conductivité électrique, le pH, calcaire total, analyse granulométrique et l'activité du sol. Les résultats indiquent que l'activité respiratoire est légèrement plus élevée dans la rhizosphère des jeunes pistachiers 0,451 mg/g/j par rapport aux vieux sujets 0,396 mg/g/j , bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative (p = 0,787). Le sol est légèrement alcalin avec une conductivité comprise entre 228,4 µS/cm chez les jeunes et 333 µS/cm chez les vieux. La teneur en calcaire total est entre 21,29% chez les jeunes et 33,47% chez les vieux. L'analyse de corrélation de Pearson révèle des relations significativement négatives entre le pH et conductivité (r = -0,85), le sable et l'argile (r = -0,77), une corrélation positive entre le carbone et la matière organique (r = 1), le limon et la conductivité électrique (r= 0,643). La respiration du sol n'a montré aucune corrélation statistiquement significative avec les paramètres physico-chimiques analysés. Ces résultats soulignent la complexité de la relation entre le pistachier de l'Atlas et son environnement.

Mots clés : respiration du sol, rhizosphère, pistachier de l'Atlas, Tébessa, semi-aride.

Abstract

In the context of valorizing the Atlas pistachio *(Pistacia atlantica* Desf.) in a semi-arid area of Tebessa (Northeast Algeria), this study aims to contribute to the evaluation of soil respiration in the rhizosphere of this species in relation to its physico-chemical properties. Soil samples were collected beneath the canopy of pistachio trees and subjected to several physico-chemical and biological analyses under young and old trees: organic matter content, electrical conductivity, pH, total calcium carbonate, granulometric analysis, and soil activity. The results indicate that respiratory activity is slightly higher in the rhizosphere of young pistachio trees (0.451 mg/g/day) compared to old trees (0.396 mg/g/day), although this difference is not statistically significant (p = 0.787). The soil is slightly alkaline, with conductivity ranging from 228.4 µS/cm in young trees to 333 µS/cm in old trees. Total calcium carbonate content

ranges between 21.29% in young trees and 33.47% in old trees. Pearson correlation analysis reveals significantly negative relationships between pH and conductivity (r = -0.85), and between sand and clay (r = -0.77), as well as positive correlations between carbon and organic matter (r = 1), and between silt and electrical conductivity (r = 0.643). Soil respiration showed no statistically significant correlation with the analyzed physico-chemical parameters. These results highlight the complexity of the relationship between the Atlas pistachio and its environment.

Keywords: Soil respiration, Rhizosphere, Atlas pistachio, Tebessa, Semi-arid.

الملخص

في إطار تثمين الفستق الأطلسي *(Pistacia atlantica* Desf.*)* في منطقة شبه جافة بولاية تبسة (شمال شرق الجزائر)، تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في تقييم تنفس التربة في منطقة الجذور (الريزوسفير) لهذه الشجرة، وذلك بالربط مع خصائص التربة الفيزيائية-الكيميائية. تم أخذ عينات التربة من تحت مظلة أشجار الفستق، وأُخضعت لعدة تحاليل فيزيائية، كيميائية وبيولوجية تحت أشجار فتية ومسنّة، وشملت: نسبة المادة العضوية، الناقليلة الكهربائية، درجة الحموضة، نسبة الكربونات الكلية، التحليل الحبيبي ونشاط تنفس التربة. أشارت النتائج إلى أن النشاط التنفسي للتربة كان أعلى قليلاً في منطقة الجذور للأشجار الفتية (0,451 ملغ/غ/يوم) مقارنة بالأشجار المسنّة (0,396 ملغ/غ/يوم)، غير أن هذا الفرق لم يكن ذا دلالة إحصائية (p =0,787) .أظهرت التربة تفاعلاً قاعديا ضعيفاً، و تراوحت الناقليلة الكهربائية بين 228,4 ميكروسيمنس/سم في الأشجار الفتية و333 ميكروسيمنس/سم في الأشجار المسنّة. كما تراوحت نسبة الكربونات الكلية ما بين 21,29% في الأشجار الفتية و 33,47% في الأشجار المسنّة. كشفت تحاليل الارتباط (Pearson) عن علاقات سلبية معنوية بين درجة الحموضة والناقليلة الكهربائية (r = -0,85) ، وبين الرمل والطين (r = -0,77) ، بالإضافة إلى علاقات إيجابية بين الكربون والمادة العضوية (r = 1) ، وبين الطمي والناقليلة الكهربائية (r = 0,643) لم يُظهر تنفس التربة أي ارتباطات ذات دلالة إحصائية مع الخصائص الفيزيائية-الكيميائية المدروسة. تبرز هذه النتائج تعقيد العلاقة بين الفستق الأطلسي وبيئته.

الكلمات المفتاحية :تنفس التربة، ريزوسفير، الفستق الأطلسي، تبسة، منطقة شبه جافة.

Sommaire

Résumés ……. ***i***

Sommaire…….. ***iii***

Liste des figures et des tableaux…….. ***v***

Introduction générale…….. **1**

Chapitre 1. Matériel et méthodes

1. Données générales sur la région et la station d'étude ..…….. **5**

2. Prélèvement et préparation des échantillons…….…….. **6**

3. Analyses physico-chimiques …….. **7**

4. Analyse statistique…….…… **7**

Chapitre 2. Résultats

1-Caractérisation physico-chimiques des sols de la rhizosphère du pistachier…… **8**

1.1. pH **8**

1.2.Conductivité électrique …… … **8**

1.3. Calcaire total…….…….. **9**

1.4. Matière organique …….. **10**

1.5. Granulométrie …… **10**

2- Détermination de la respiration du sol dans la rhizosphère du pistachier …… **11**

3- Corrélation entre la respiration du sol et les paramètres du sol …….. **11**

Chapitre 3. Discussion et conclusion générale…… **13**

Références bibliographiques …….. **17**

Annexe …….. **22**

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Schéma représentant la production du CO_2	**01**
Figure 2	Courbe de réponse de la température	**02**
Figure 3	A : Localisation de la zone et de la station d'étude /B : Vue sur google earth/ ; **C** : Diagramme ombrothermique de la région de Tebessa	**05**
Figure 4	Pistachier de l'Atlas	**06**
Figure 5	Variation du pH dans la rizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada	**08**
Figure 6	Variation de **l**a CE dans la rhizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada	**09**
Figure 7	Variation du calcaire total dans la rhizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada	**09**
Figure 8	Variation de la matière organique dans la rhizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada	**10**
Figure 9	Estimation de l'activité respiratoire chez le pistachier de l'Atlas jeunes et vieux	**11**
Figure 10	La matrice de corrélation de Pearson entre les différents paramètres du sol.	**12**

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
Tableau 1	Pourcentages moyens des particules du sol dans la rhizosphère du pistachier.	**10**

Introduction générale

1.Définition

La respiration du sol (RS), appelée également la respiration souterraine, par opposition à la respiration aérienne est définie comme la production de dioxyde de carbone par les organismes du sol. Ces organismes sont les microbes et la faune du sol, et les parties végétales (les racines et les rhizomes) dans le sol. Donc, le sol respire en dégageant le CO_2 tandis que les organismes du sol gagnent de l'énergie en catabolisant la matière organique pour soutenir la vie (Luo et Zhou, 2010; Schinner *et al*., 2012). Cette activité appelée efflux du CO_2 du sol (ECO_2) (Ferreira *et al.,* 2018).

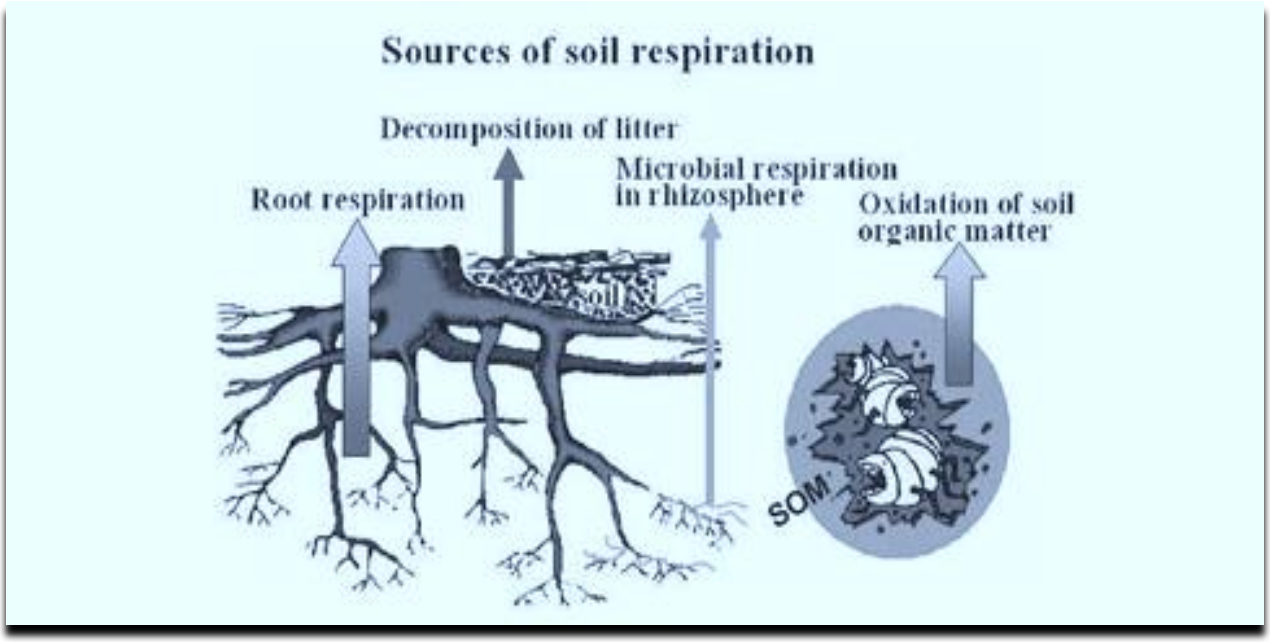


Figure 1. Schéma représentant la production du CO_2 (Luo & Zhou, 2010).

2. Facteurs impliqués dans la respiration du sol

La respiration du sol est un indicateur clé de la santé et de la qualité des sols (Oyonarte *et al.,* 2012). Elle est influencée par différents facteurs, résumés comme suit :

2.1. Facteurs abiotiques

2.1.1. Température

La température du sol influence fortement les processus physiques, chimiques et biologiques. En conditions naturelles, la respiration microbienne du sol suit généralement une réponse

exponentielle à la température sur une large plage. Une hausse de température accélère la décomposition de la matière organique et des résidus végétaux, stimule les réactions physiologiques, favorise la diffusion des substrats et modifie la composition microbienne. Toutefois, la solubilité des gaz diminue avec la température, ce qui peut freiner l'activité microbienne malgré une diffusion accrue (Paul et Clark, 1996). À basse température, la respiration microbienne augmente jusqu'à un maximum vers 45–50 °C, puis diminue. Cette réponse est principalement limitée par l'activité maximale des enzymes respiratoires, affectées par le froid, notamment à cause de la fluidité réduite des membranes (Atkin et Tjoelker, 2003) (Fig. 2).

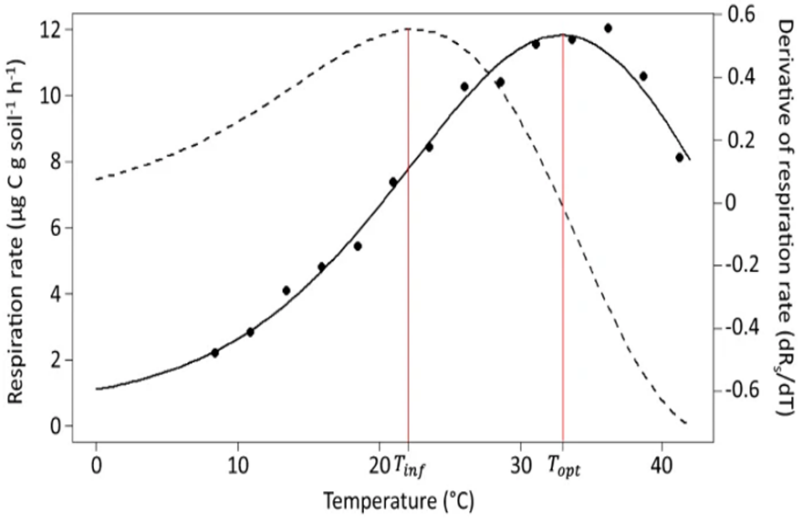


Figure 2. Courbe de réponse de la température (Alster *et al.,* 2023).

2.1.2. Humidité du sol

Les taux de respiration du sol sont significativement influencés par l'humidité, avec des variations marquées entre la saison humide et la saison sèche (Cusack et al., 2019). Sous conditions sèches, l'efflux du CO_2 du sol est faible et atteint un maximum à des niveaux intermédiaires d'humidité, puis diminue lorsque la teneur en eau augmente, des conditions anaérobiques prédominent affectant l'activité microbienne aérobie. En tous les cas, selon Luo et Zhou (2010), l'optimum se situe généralement près de la capacité au champ, où les macropores sont principalement remplis d'air, facilitant ainsi la diffusion de l'oxygène, tandis que les micropores retiennent l'eau nécessaire aux micro-organismes.

L'humidité du sol peut affecter les communautés microbiennes. Par exemple, les Actinobactéries et les Protéobactéries montrent des tendances contrastées le long des gradients d'humidité, certaines groupes devenant plus abondants à des niveaux spécifiques d'humidité, comme les *Euryarchaeota* à 60 % de la capacité de rétention d'eau dans les sols salins (Dai *et al.,* 2024).

2.1.3.pH

Les taux de respiration du sol sont influencés par le pH à travers son effet sur l'activité microbienne et la structure des communautés. Dans les sols acides, les taux de respiration peuvent être plus faibles en raison de la réduction de l'activité et de la diversité microbiennes (Jin *et al.,* 2024). Ils sont généralement plus élevés dans les sols à pH proche de la neutralité. Vásquez et Dávila (2008) rapportent qu'un pH de 7,8 est optimal pour l'activité microbienne.

Le pH optimal pour l'activité microbienne peut varier en fonction du groupe microbien. En effet, la plupart des espèces bactériennes connues se développent dans une fourchette de pH comprise entre 4 et 9, alors que les champignons sont modérément acidophiles, avec un pH de 4 à 6. Le pH du sol a donc un effet marqué sur la croissance et la prolifération des microbes du sol, ainsi que sur la qualité de l'eau et de l'air (Luo et Zhou, 2010 ; Bárcenas-Moreno *et al*., 2016).

Les plantes peuvent acidifier leur rhizosphère de deux unités de pH en raison de la libération d'acides organiques dans les exsudats et une plus grande absorption par les racines des cations que des anions, ce qui conduit à une excrétion de H^+ par les racines (Glinski et Lipiec, 1990).

2.1.4. Oxygène

Selon Luo et Zhou (2010), la concentration en O_2 du sol affecte considérablement la respiration des racines et des micro-organismes surtout dans les zones inondées (Crawford, 1992).

2.1.5. Texture et structure du sol

Ces deux facteurs édaphiques contrôlent la diffusion des gaz dans le sol. La texture du sol influence la rétention et le mouvement de l'humidité, affectant ainsi la disponibilité en eau pour la respiration microbienne et racinaire (Moyano *et al.,* 2012).

La texture du sol influe également sur les systèmes d'enracinement et donc indirectement sur la respiration du sol . En outre, la décomposition de la litière racinaire est sensible à la texture

du sol avec des taux plus rapides dans le sol argileux que dans le sol limoneux sableux (Luo et Zhou, 2010).

2.2. Facteurs biotiques

2.2.1. Racines

La densité et le type du couvert végétal influent sur la production de biomasse, donc sur l'apport et la nature de la litière au sol (Fang *et al.,* 1998). Une biomasse racinaire élevée entraîne des taux élevés de respiration racinaire et de respiration microbienne dans la rhizosphère (Högberg *et al*., 2002).

2.2.2.Pratiques culturales (effet de l'homme)

Selon Zhang *et al. (*2015), les changements de végétation résultant des conversions d'utilisation des terres pourraient directement affecter les propriétés physico-chimiques et microbiologiques des sols, et avoir un impact sur la capacité de respiration du sol (Frank *et al.,* 2006).

La mesure de la respiration d'un sol représente l'activité de l'ensemble de sa faune et de sa flore. Cette simple mesure pourrait permettre d'effectuer un état des lieux de l'état biologique du sol, faiblement entrepris dans les zones arides dégradées où peu d'espèces peuvent s'y adapter. Ce travail se veut un simple essai sur la détermination du taux de respiration dans la rhizosphère du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). Cette espèce est prometteuse en matière de réhabilitation des zones dégradées sous climat aride.

Dans ce mémoire, nous allons essayer de caractériser quelques paramètres édaphiques sous la canopée du pistachier dans la station de Ghar Abada (Tebessa), à savoir, le pH, la conductivité électrique, le taux de calcaire total, le taux de carbone et le taux de respiration du sol.

Il est composé d'une introduction générale, d'un chapitre « matériel et méthodes », suivi des résultats puis une discussion générale et une conclusion. Les références bibliographiques exploitées sont suivies d'une annexe rassemblant les techniques d'analyse utilisées.

Chapitre 1 :

Matériel et méthodes

1. Données générales sur la région et la station d'étude

Cette étude a été menée dans la région de Tébessa, située au Nord-Est de l'Algérie. Elle est bordée au Nord par la wilaya de Souk Ahras, au Nord-Ouest par la wilaya d'Oum El Bouaghi, à l'Ouest par la wilaya de Khenchela et au Sud par la wilaya d'El Oued (Fig.3A,B).

La région est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences plus arides vers le Sud caractérisé par des étés longs, chauds et secs, avec des températures dépassant fréquemment les 35°C. Les hivers y sont froids, avec des températures qui peuvent descendre sous 0°C, surtout la nuit. Le diagramme ombrothermique révèle une période sèche, se situant entre les mois de Mai et Octobre (Fig.3C) . La température moyenne annuelle est de 15,84°C et les précipitations moyennes annuelles sont de 371 mm.

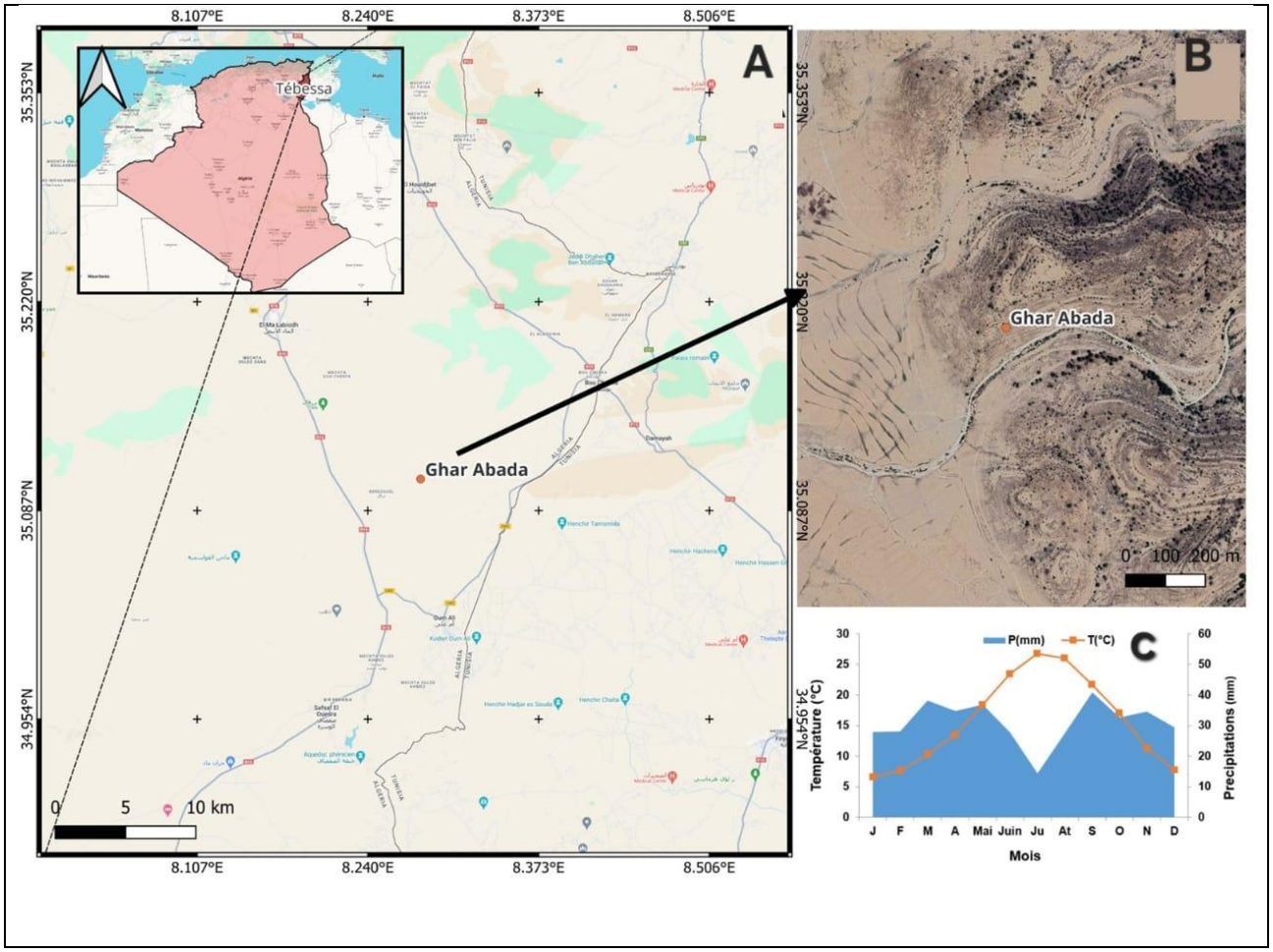


Figure 3. A : Localisation de la zone et de la station d'étude ; B : Vue sur google earth (03 Décembre 2024) ; **C** : Diagramme ombrothermique de la région de Tebessa (1972-2018).

La végétation qui caractérise la région est steppique par excellence marquée par la présence de l'alfa (*Macrochloa tenacissima*), l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*), accompagnées d'espèces aromatiques comme le romarin (*Rosmarinus officinalis*) et le genévrier (*Juniperus oxycedrus*). Au nord de la wilaya, des formations forestières et de maquis subsistent, constituées essentiellement de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et de chêne vert (*Quercus ilex*) (Le Houérou, 1995). Une part importante du territoire est également consacrée aux activités agricoles, ce qui accentue la pression sur les écosystèmes naturels.

2. Prélèvement et préparation des échantillons

Sur une profondeur de 30cm, des échantillons de sols sont prélevés dans la rhizosphère du pistachier à raison de 10 arbres (5 sujets âgés+ 5 sujets jeunes) en Décembre 2024. Le choix des arbres est fondé sur l'accessibilité de ceux –ci, étant donné que la station de Ghar Abada aux coordonnées géographiques (latitude Nord : 35°6,3710'N , Sud : 35°6,4460'N , longitude : Nord : 8°17,3440'E , Sud : 8°16,8640'E) se trouve à une altitude de (1060,5 m Nord ; Sud : 1041,5 m) avec une pente (de 35°- 45° Nord ; Sud : 30°- 45)° (Fig.4).



Figure 4 : Pistachier de l'Atlas (Cliché Aloui, 2024).

Une fois les échantillons sont collectés, ils sont mélangés selon l'age pour avoir un échantillon-composite qui fera l'objet de quelques analyses physico-chimiques.

3. Analyses physico-chimiques (Cf. annexe1)

Les échantillons collectés sont séchés à l'air ambiant puis tamisés à 2 mm afin d'obtenir la terre fine. Les analyses effectuées sont :

- le pH et la conductivité électrique (µS/cm) sont déterminés dans une suspension sol-eau (1/5**)** (Baize et Jabiol, 1995)**.**

- Le calcaire total (carbonates) est réalisé par la méthode de la pesée (Dermech *et al.,* 1982).

- Le carbone organique : Le dosage est effectué selon la méthode de Walkley et Black (1934), suite à une oxydation à froid. Le taux de la matière organique (MO %) est estimée en multipliant le taux de carbone par 1,72.

- Texture du sol : Par manque de moyens, l'analyse granulométrique a été déterminée par la méthode de bouteille basée sur la sédimentation des particules.

- L'activité respiratoire du sol est faite selon la technique de Domergues (1968).

4. Analyse statistique

La comparaison des moyennes de deux groupes (jeune pistachiers et vieux pistachiers) a été faite par le test Student au seuil de 5%. Une matrice de corrélation de Pearson au seuil de 5% est établie entre les différents paramètres quantitatifs du sol.

Chapitre 2 :
Résultats

1-Caractérisation physico-chimiques des sols de la rhizosphère du pistachier

Les résulats de l'analyse des échantillons de sol collectés dans la rhizosphère des jeunes et vieux pistachier de l'Atlas dans la station de Ghar Abada (Tebessa) sont indiqués dans les figures ci – dessous.

1.1. pH

Dans l'ensemble, les échantillons ont révélé un pH légèrement alcalin avec une valeur moyenne de 7,99 ± 0,027 chez les jeunes sujets *vs* 7,77 ± 0,09 chez les vieux sujets (Fig. 5). Le test de Student a révélé une différence significative entre les 2 groupes (p= 0,008).

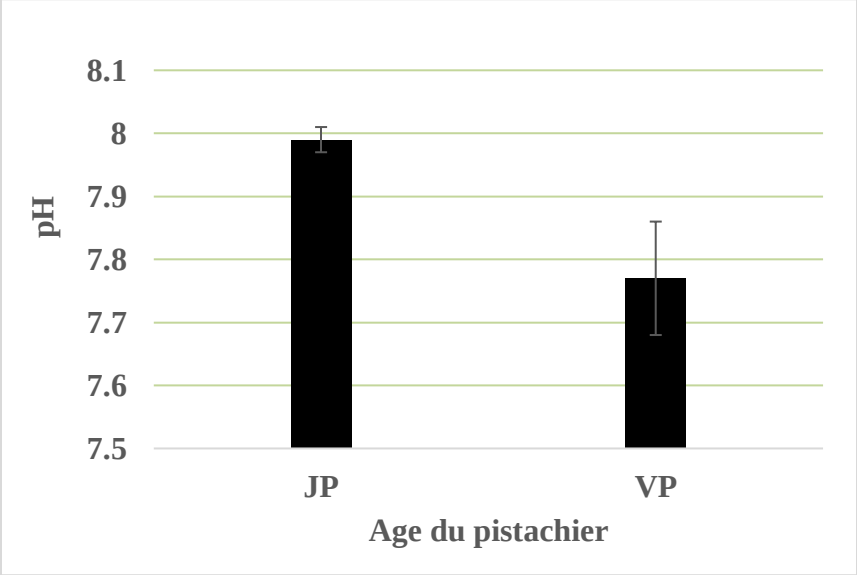


Figure 5 . Variation du pH dans la rizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada (JP : Jeunes pistachiers; VP : Vieux pistachiers).

1.2. Conductivité électrique

La figure 6 montre que la conductivité électrique dans les échantillons est en moyenne de 228,4±12,22 µS/cm chez les jeunes sujets significativement différente (p=0,001) de la valeur enregistrée chez les vieux sujets avec une moyenne 333±29,67 µS/cm.

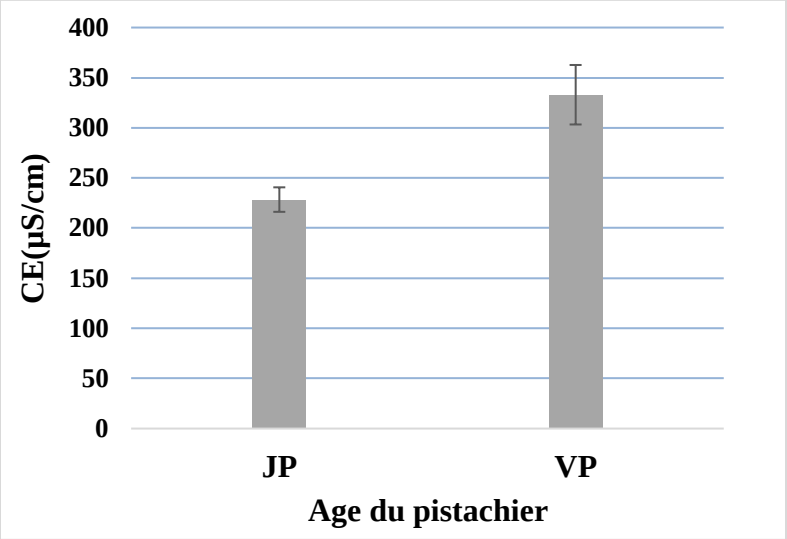


Figure 6. Variation de la CE dans la rhizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada (JP : Jeunes pistachiers; VP : Vieux pistachiers).

1.3. Calcaire total

Le calcaire total mesuré est en moyenne de 21,29±16,25% chez les jeunes sujets alors qu'il est de 33,47±13,25% chez les vieux sujets (Fig. 7). Aucune différence statistiquement significative n'est signalée entre les 2 groupes (p= 0,829).

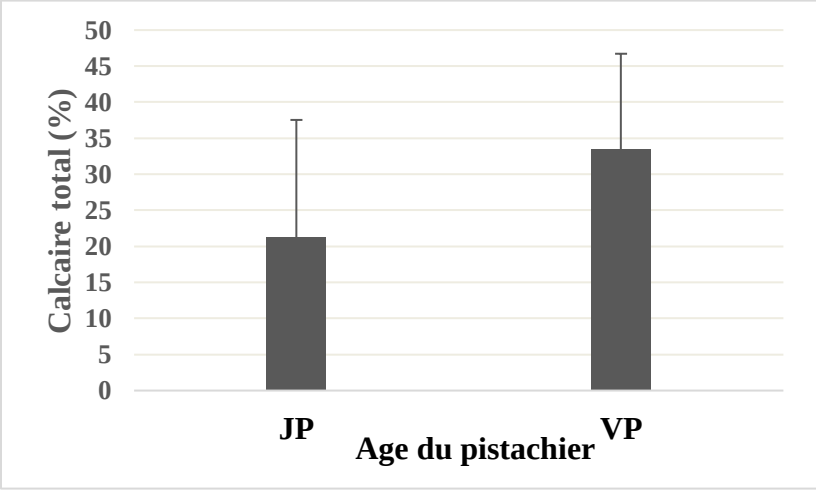


Figure 7. Variation du calcaire total dans la rhizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada (JP : Jeunes pistachiers; VP : Vieux pistachiers).

1.4. Matière organique

Une teneur moyenne en matière organique de 2,819 ±1,028% a été signalée chez les jeunes sujets. Une valeur proche a été également obtenue chez les vieux sujets : 2,258±0,871% (Fig.8). Le test statistique a révélé qu'il n'y a pas de différence significative (p=0,336).

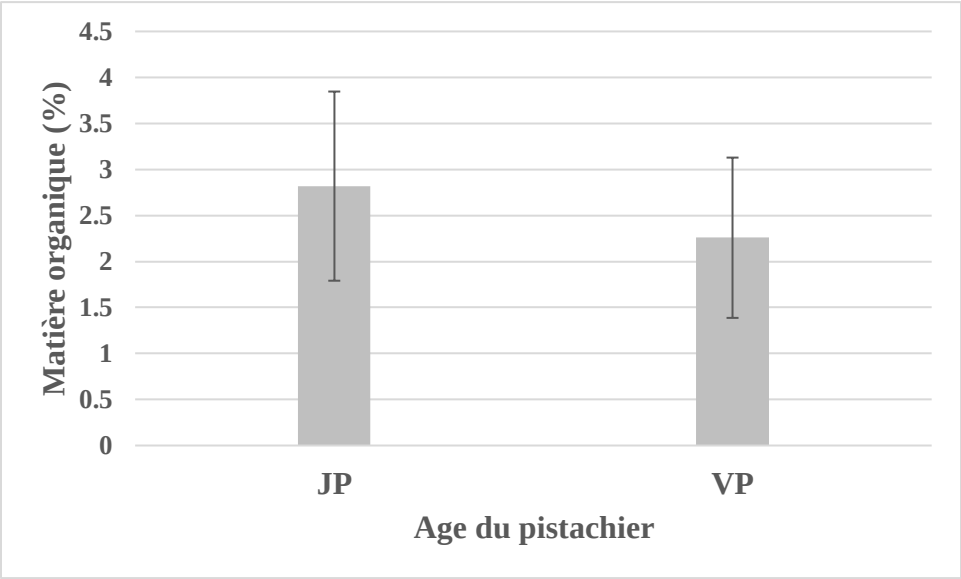


Figure 08. Variation de la Matière organique dans la rhizosphère des jeunes et vieux pistachiers de Ghar Abada (JP : Jeunes pistachiers; VP : Vieux pistachiers).

1.5. Granulométrie

En appliquant les pourcentages obtenus sur le triangle textural, la texture des sols a révélé une nature fine de type limono-argileux.

Tableau 1. Pourcentages moyens des particules du sol dans la rhizosphère du pistachier.

Paramètre (%)	Jeune pistachier	Vieux pistachier	Valeur de P
Argile	34,42±8,63	29,12±7,86	0,343
Limons	44,18±1,54	51,80±6,17	0,055
Sables	21,39±9,10	19,08±9,44	0,705
Texture	Limono-argileux	Limono-argileux	//////////////

2- Détermination de la respiration du sol dans la rhizosphère du pistachier

L'activité respiratoire moyenne des jeunes arbres a été estimée à 0,451±0,356 mg/g/j , tandis que celle des vieux arbres était légèrement inférieure avec une moyenne de 0,396±0,108 mg/g/j (Fig .9). Le test de Student a révélé qu'il n'y a pas de différence significative (p=0,787).

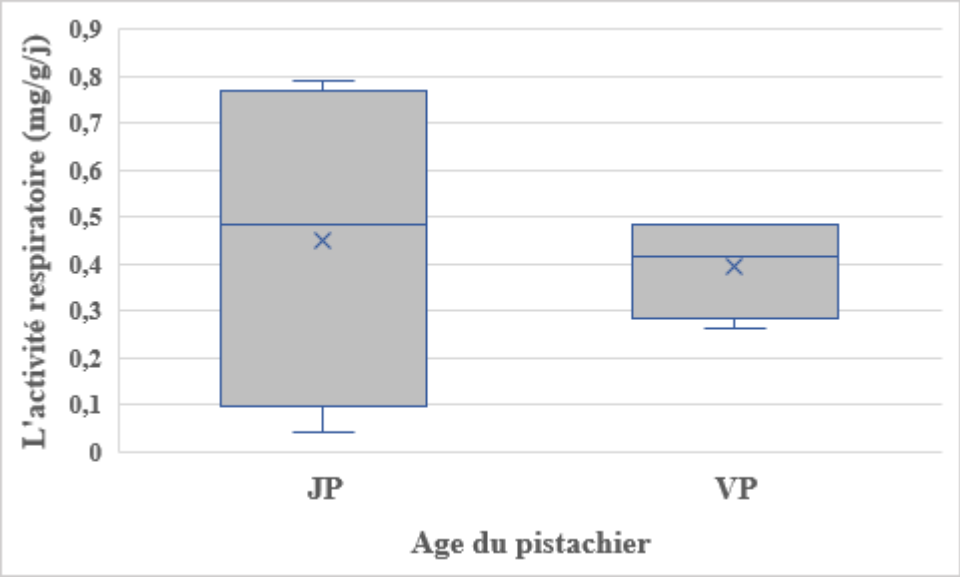


Figure 9. Estimation de l'activité respiratoire chez le pistachier de l'Atlas (JP : Jeunes pistachiers; VP : Vieux pistachiers).

3- Corrélation entre la respiration du sol et les paramètres du sol

La figure (10) montre la matrice de corrélation du Pearson. Quelques corrélations statistiquement négatives ($p< 0,05$) sont signalées entre la conductivité électrique et le pH ($r = -0,84$), le sable et l'argile ($r= - 0,789$) et autres positives entre le carbone et la matière organique ($r=1$) et le limon et la conductivité électrique ($r= 0,643$). Le reste des paramètres ne sont pas statistiquement corrélés.

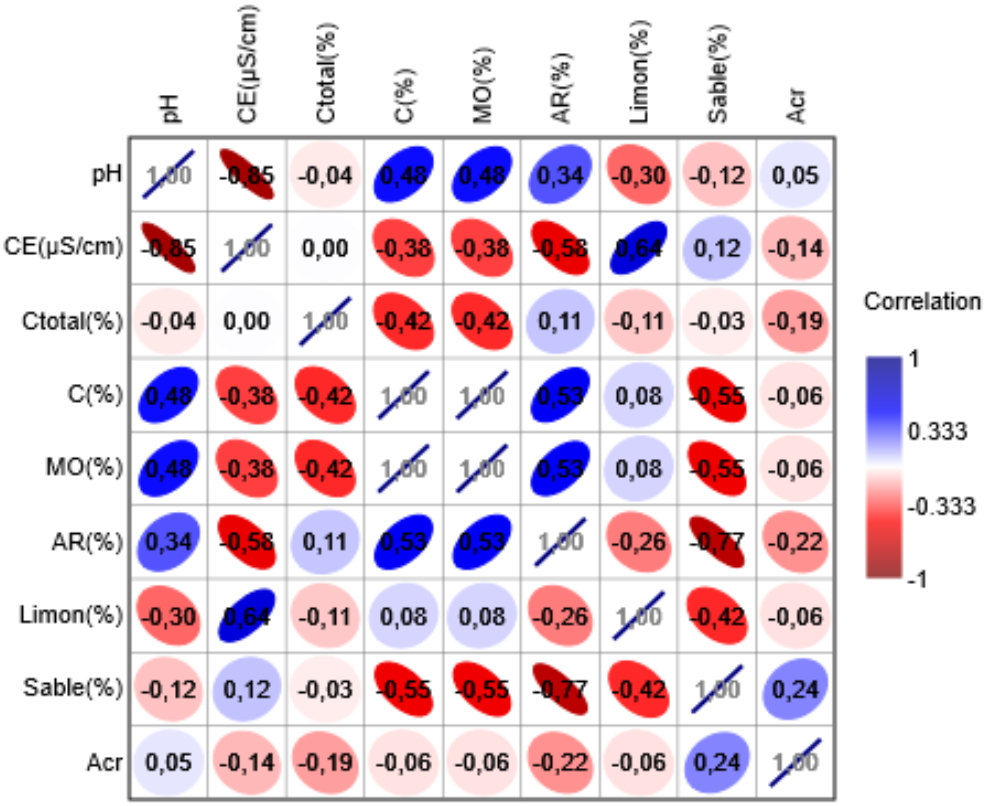


Figure 10. La matrice de corrélation de Pearson entre les différents paramètres du sol.

Chapitre 3 :

Discussion et conclusion générale

Le *Pistacia atlantica* Desf., communément appelé pistachier de l'Atlas, est une espèce qui se caractérise par son adaptation à la rigueur des environnements arides et semi-arides en Algérie, typiquement méditerranéenne. Il assume une fonction écologique cruciale dans ces environnements délicats, ce qui explique l'importance d'approfondir notre compréhension de son rôle dans la dynamique des écosystèmes où il se trouve(Quézel et Médail, 2003).

Dans ce chapitre, nous allons discuter l'environnement édaphique du P.A à travers quelques paramètres physico-chimiques et biologiques, à savoir le pH, la CE, le taux de carbonates, le taux de matière organique et la respiration du sol.

Dans cette étude, bien qu'une différence statistiquement significative soit observée entre les rhizosphères des jeunes et vieux pistachiers, les échantillons ont montré un pH légèrement alcalin compris entre 7,99- 7,77 (Baize et Jabiol, 1995). Cette alcalinité pourrait être attribuée à la présence de calcaire ou de carbonates dans des sols peu lessivés et aride (Hinsinger ,2003), comme c'est le cas des sols steppiques de Tébessa (Gharzouli & Bouzid, 2010).

En ce qui concerne la conductivité électrique, les valeurs observées se situent entre 200 et 300 µS/cm, traduisant des sols non salés (Mathieu et Pieltain, 2003). La CE, bien qu'indicateur indirect de salinité, joue aussi un rôle central dans les processus biologiques du sol. Selon Rietz et Haynes (2003), une CE modérée (< 2 dS/m), suite à l'accumulation de nutriments solubles et non de sels toxiques, favorise une activité microbienne accrue.

Vis-à-vis du taux de calcaires, d'après la classification de Baize (2000), les échantillons analysés sont entre moyennement à fortement calcaires. Aucune différence significative n'a été détectée entre les jeunes et vieux sujets. Ce niveau de calcaire peut avoir un impact notable sur la structure du sol, la disponibilité de certains éléments nutritifs pour les plantes, ainsi que sur l'activité biologique du sol (Duchaufour, 2001).

La matière organique (MO) joue un rôle clé dans le fonctionnement biologique et physico-chimique des sols, en influençant la rétention d'eau, la stabilité structurale, la disponibilité des nutriments et l'activité microbienne (Six *et al.,* 2002). Dans les échantillons étudiés, les teneurs en MO observées chez les jeunes et vieux sujets sont relativement proches, avec des valeurs moyennes respectives de 2,82 et 2,25 %. Cette proximité des valeurs, non significative d'un point de vue statistique ($p = 0,336$), suggère une homogénéité des apports organiques et des processus de décomposition dans les deux types de peuplements même si l'âge des arbres diffère (Prescott, 2000).

Indépendamment de l'âge de l'espèce végétale étudiée, les taux de respiration observés sont compris entre 0,41mg/g/j et 0,39 mg/g/j. Vis-à-vis de l'âge, statistiquement , il n'y a pas de différence significative. D'après Burton *et al.* (2002), la respiration des racines par exemple, tend à rester relativement stable lorsque les conditions environnementales sont homogènes, dépendant de la disponibilité des substrats carbonés issus de la photosynthèse, des conditions édaphiques abiotiques ainsi que de l'activité microbienne indépendamment de l'âge chronologique de l'arbre (Ryan *et al*., 1996).

En tous les cas, ces valeurs sont plus élevées que celles trouvées par Rezgui *et al.* (2016) dans une forêt de pin d'Alep au Nord-Est de la Tunisie où les taux de respiration variaient entre 0,0175 et 0,1944 mg /g/j, avec une moyenne annuelle de 6,7 mg /g/an dans les sols profonds, principalement influencés par l'humidité du sol. Elles dépassent également celles signalées par Bensaid *et al.* (2021) dans la région hyper-aride de Ouargla où la respiration cumulée après 56 jours atteignait 62,53 mg CO_2/100 g (0,011 mg /g /j) dans les sols non salins et 50,03 mg CO_2/100 g (0,008 mg/g/j) dans les sols salins, soulignant une activité biologique limitée par la salinité.

Dans les forêts de conifères méditerranéennes turques, Evrendilek *et al.* (2006) ont souligné la respiration varie selon les types de peuplements forestiers. Elle est estimée à dans les forêts de *Pinus brutia* 0,01476 mg C/g/j et 0,012672 mg C/g/j dans les forêts mixtes composées de *Abies cilicica, Cedrus libani* et *Pinus nigra*. Ces variations sont attribuées aux différences de composition des espèces, de structure du sol et de conditions climatiques locales.

Mais, comparées à celles observées par Cui *et al.,* (2009) dans une zone semi-aride de Chine avec des taux de respiration du sol allant de 0,0564 à 0,1349 mg CO_2/g/j sous *Ulmus pumila* et de 0,055 à 0,082 mg CO_2/g/j dans les zones non boisées donc les valeurs obtenues dans la rhizosphère du pistachier de l'Atlas (0,39 à 0,41 mg CO_2/g/j) apparaissent nettement plus élevées.

Dans l'ensemble, ces observations confirment que la respiration du sol dans les milieux arides et semi-arides dépend étroitement de plusieurs facteurs environnementaux essentiels, notamment l'humidité du sol, la température, la productivité des plantes et l'activité microbienne **(**Luo *et al.,* 2010**).**

La matrice de corrélation de Pearson a révélé certaines corrélations positives, négatives et neutres. Les corrélations statistiquement significatives, comme celle observée entre la conductivité électrique et le pH ($r = -0,84$; $p < 0,05$) ou encore entre le sable et l'argile ($r = -0,789$; $p < 0,05$), révèlent des interactions bien connues dans la littérature. Par exemple, l'augmentation des sels solubles dans le sol, notamment les ions comme Na^+ ou Cl^-, peut provoquer une acidification en favorisant le déplacement des ions H^+ sur les complexes colloïdaux (Rhoades, 1996). De même, la relation inverse entre les fractions sableuses et argileuses est une conséquence logique de la structure granulométrique : une hausse de la proportion de sable se fait naturellement au détriment de l'argile (Gee et Bauder, 1986). Ces résultats peuvent également être interprétés à la lumière de la dynamique de la matière organique dans le sol. Dans les zones semi-arides notamment, la matière organique joue un rôle important dans la structuration du sol en améliorant la cohésion entre les particules et en favorisant la stabilité des agrégats. Cela a pour effet d'augmenter la porosité et de modifier la capacité de rétention d'eau et de sels (Chaney et Swift, 1984). Une meilleure structuration contribue ainsi indirectement à faire évoluer d'autres propriétés comme le pH ou la distribution granulométrique.

Par ailleurs, certaines corrélations positives et significatives s'expliquent également par des mécanismes bien établis. C'est le cas de la relation parfaite entre le carbone total et la matière organique ($r = 1$; $p < 0,05$), qui résulte du fait que la matière organique est composée à près de 58 % de carbone organique, ce qui justifie une correspondance directe entre ces deux paramètres (Nelson et Sommers, 1982). De même, la corrélation positive entre le limon et la conductivité électrique ($r = 0,643$; $p < 0,05$) peut être attribuée à la capacité du limon à mieux retenir l'eau et les éléments dissous que le sable, favorisant ainsi l'accumulation des sels dans le sol (Brady et Weil, 2016).

Enfin, le reste des corrélation non significatif, cas de la respiration du sol et les paramètres étudiés, peut s'expliquer par une forte variabilité entre les échantillons ou par l'intervention simultanée de plusieurs facteurs édaphiques qui peuvent masquer les relations directes entre les paramètres analysés. Des éléments comme la texture du sol, la teneur en calcaire ou encore la conductivité électrique peuvent influencer et masquer les effets attendus (Chaudhary et al., 2013).

En guise de conclusion, ce simple essai a mis en évidence l'influence de *Pistacia atlantica* sur plusieurs propriétés du sol dans les zones arides et semi-arides, tels que le pH et la conductivité

électrique en fonction de l'âge des arbres révélant que cette espèce pourrait provoquer des changements dans son environnement. Toutefois, la stabilité relative de certaines variables comme le contenu en matière organique, la proportion de calcaire ou la respiration microbienne indique que certains mécanismes demeurent constants, indépendamment de l'âge des communautés.

En perspectives, bien que les résultats obtenus ne soient pas très révélateurs, étant donné le faible nombre d'échantillons analysé d'un côté, et d'un autre côté, la non - maitrise de la méthode d'évaluation de la respiration du sol, les traits écologiques de l'espèce sont encourageants à approfondir les recherches sur ses capacités à améliorer son environnement connu pour son aridité et sa fragilité.

Références bibliographiques

Alster, C. J., van de Laar, A., Goodrich, J. P., Arcus, V. L., Deslippe, J. R., Marshall, A., & Schipper, L. A. (2023). Quantifying thermal adaptation of soil microbial respiration. *Nature Communications*, 14(1), 5459.

Atkin, O. K., & Tjoelker, M. G. (2003). Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. *Trends in Plant Science*, 8(7), 343–351.

Bárcenas-Moreno, G., Gómez-Brandón, M., Rousk, J., & Bååth, E. (2016). Effects of temperature on fungal and bacterial growth rates after long-term exposure to different temperatures. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(4), fiw030.

Baize, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie* (2e éd., revue et augmentée). INRA Éditions.

Baize, D., & Jabiol, B. (1995). *Guide pour la description des sols*. INRA Éditions.

Bensaïd, A., Khelil, M., Toumi, L., & Rahmani, H. (2021). Effets des conditions climatiques sur la dynamique microbienne des sols en zones semi-arides. *Revue Algérienne des Sciences de la Terre*, *12*(2), 45–58.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson Education.

Burton, A. J., Pregitzer, K. S., Ruess, R. W., Hendrick, R. L., & Allen, M. F. (2002). Root respiration in North American forests: Effects of nitrogen concentration and temperature across biomes. *Oecologia*, 131(4), 559–568.

Chaney, K., & Swift, R. S. (1984). The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science*, 35(2), 223–230.

Chhetri, R. (2023). Soil respiration under different forest species in a riparian buffer of semi-arid region of northwest India. *India Water Portal*.

Chaudhary, N., Agrawal, S. B., & Agrawal, M. (2013). Assessment of six Indian cultivars of mung bean against ozone by using foliar injury index and changes in carbon assimilation, gas exchange, chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(6), 4549–4562.

Crawford, R. L. (1992). *Microbial degradation of chlorinated phenols and related compounds*. CRC Press.

Cui, J., Shao, M., Bai, Y., & Li, Y. (2009). Effects of thinning on soil respiration in a Ulmus pumila forest in a semi-arid region of northern China. *Ecological Research*, 24(5), 1123–1130.

Dai, Y., Wei, N., Yuan, H., Zhang, S., Shangguan, W., Liu, S., & Lu, X. (2019). Evaluation of soil thermal conductivity schemes for use in land surface modeling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(16), 9156–9172.

De la Paz, J. M., López-Martín, F., et al. (2022). Soil respiration and productivity of juniper woodlands under arid conditions in southern Spain. *Forests*, 13(4), 538.

Dermech, Kh., Karouani, M., & El Belkhi, M. (1982). L'essentiel en pédologie. Direction des publications universitaires, Haleb, Syrie (Manuscrit en Arabe).

Duchaufour, P. (2001). *Introduction à la science du sol* (6e éd.). Dunod.

Evrendilek, F., Kilic, S., & Karakaya, N. (2006). Dissolved organic carbon and nitrogen profiles in Mediterranean soils as affected by land use and season. *Journal of Environmental Management, 81*(3), 276–287.

Fang, C., Moncrieff, J. B., & Gholz, H. L. (1998). Soil CO_2 efflux and its spatial and temporal variations in a Florida slash pine plantation. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(5), 574–582.

Ferreira, J. A., Bustamante, M. M. C., & Davidson, E. A. (2018). Linking climate and deforestation to seasonal variation in soil CO_2 efflux in a Brazilian savanna. *Global Change Biology*, 24(4), 1368–1380.

Frank, D. A., Evans, R. D., & Tracy, B. F. (2006). The role of soil moisture in determining patterns of ecosystem carbon exchange in a semiarid grassland. *Oecologia*, 147(3), 436–445.

Glinski, J., & Lipiec, J. (1990). *Soil physical conditions and plant roots*. CRC Press.

Gharzouli, R., & Bouzid, S. (2010). *Écologie des forêts méditerranéennes en Algérie*. Éditions Universitaires.

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In A. Klute (Éd.), *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods* (2e éd., pp. 383–411). American Society of Agronomy / Soil Science Society of America.

Hinsinger, P. (2003). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. *Plant and Soil*, 237(2), 173–195.

Högberg, P., Nordgren, A., Buchmann, N., Taylor, A. F. S., Ekblad, A., Högberg, M. N., ... & Read, D. J. (2002). Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*, 411(6839), 789–792.

Jin, L., Sulastri, E., & Murtinah, V. (2024). Assessment of soil respiration under different land use in East Kutai, Indonesia. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 8(1), 186–197.

Luo, Y., & Zhou, X. (2010). *Soil respiration and the environment*. Academic Press.

Luo, Y., et al. (2010). Ecosystem carbon cycle feedbacks to climate change in arid regions: Examples from North America. *Ecological Research*, 25(4), 749–758.

Mathieu, C., & Pieltain, F. (2003). *Analyse chimique des sols: Méthodes choisies* (2e éd.). Tec & Doc / Lavoisier.

Moyano, F. E., Manzoni, S., & Chenu, C. (2012). Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. *Soil Biology and Biochemistry*, 59, 72–85.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Éds.), *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties* (2e éd., pp. 539–579). American Society of Agronomy; Soil Science Society of America.

Oyonarte, C., Almendros, G., & Dorado, J. (2012). Evolution of soil organic matter in Mediterranean semiarid soils after abandonment of agricultural land. *Soil Science Society of America Journal*, 76(2), 618–629.

Paul, E. A., & Clark, F. E. (1996). *Soil microbiology and biochemistry* (2nd ed.). Academic Press.

Prescott, C. E. (2000). Litter decomposition: What controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry*, 101(1–3), 133–149.

Pérez de Paz, J. M., López-Martín, F., et al. (2022). Soil respiration and productivity of juniper woodlands under arid conditions in southern Spain. *Forests*, 13(4), 538.

Quézel, P., & Médail, F. (2003). *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier.

Rezgui, F., Amroune, S., & Boudiaf, A. (2016). Effet des propriétés physico-chimiques du sol sur l'activité microbienne en milieu aride. *Revue des Sciences de l'Environnement*, *8*(1), 25–34.

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3—Chemical methods* (pp. 417–435). Soil Science Society of America.

Rietz, D. N., & Haynes, R. J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 845–854.

Ryan, M. G., Hubbard, R. M., Pongracic, S., Raison, R. J., & McMurtrie, R. E. (1996). Foliage, fine-root, woody-tissue and stand respiration in *Pinus radiata* in relation to nitrogen status. *Tree Physiology*, 16(3), 333–343.

Schaefer, D. (1975). *Root respiration in a sugar maple forest*. Yale University, School of Forestry and Environmental Studies.

Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., & Margesin, R. (Eds.). (2012). *Methods in soil biology* (2nd ed.). Springer.

Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(2), 155–176.

Vásquez, R., & Dávila, H. (2008). Soil respiration in Patagonian semiarid grasslands under contrasting environmental and use conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(2), 479–487.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.

Zhang, Y., Chen, H. Y. H., & Reich, P. B. (2015). Forest productivity increases with soil nitrogen availability in temperate forests but not in boreal forests. *Ecology Letters*, 18(8), 1029–1037.

Annexe

2.2 Analyses physico-chimique

Les échantillons collectés sont séchés à l'air ambiant pour être tamisés au tamis de 2 mm afin d'obtenir la terre fine. Les analyses effectuées sont :

2.2.1. Le pH :

- Mode opératoire

La mesure de ce paramètre est faite dans une suspension sol –eau (1/5).

1- Prendre 10 g de terre fine, ajouter 50ml d'eau distillée. Agiter 2 mn , laisser reposer pendant 30 mn.

2- Lire au pH mètre.

Classification des sols (Baize et Jabiol, 1995).

pH	Type de sol
<5	Fortement acide
5-6	Franchement acide
6-6.6	Légèrement acide
6,6-7,4	Neutre
7,4-7,8	Légèrement alcalin
>7,8	Alcalin

2.2.2. La <u>salinité globale : la conductivité electrique (µS/cm)</u>

- Mode opératoire

La mesure de ce paramètre est faite dans une suspension sol –eau (1/5).

1- Prendre 10 g de terre fine, ajouter 50ml d'eau distillée. Agiter 2 mn , laisser reposer pendant 30mn.

2- Lire au conductimètre.

Classification des sols (Mathieu et Pieltain, 2003).

CE (µS/cm)	Type de sol selon la salinité
< 600	Non salé
600-1000	Légèrement salé
1000-2000	Salé
2000-3000	Très salé
3000-4000	Extrêmement salé

2.2.3. Dosage du calcaire total (Méthode de la pesée) (Dermech *et al.*, 1982)

On décompose le calcaire =carbonates de Ca + ($CaCO_3$) de poids moléculaire 100 par un acide fort (acide chlorhydrique). On mesure le volume du CO_2 (PM : 44) obtenu et on calcule le poids.

$$CaCO_3 + 2HCl \ldots\ldots CO_2 \text{ dégagé} + CaCl_2 + H_2O$$

100g de $CaCO_3$ dégage 44g de CO_2

Mode opératoire :

-Prendre 10ml d'HCl dilué dans un bécher de 50 ml

-Peser le Becher avec l'acide =p1

-Prendre 10 g de terre fine, verser la terre petite à petit dans le bécher contenant l'HCl =P1 ---- agiter le bécher et laisser reposer quelques mn puis réagiter une ½ H.

-Peser le bécher avec son contenu, agiter, laisser reposer quelques m, puis repeser. Noter le poids après la stabilisation =P2

-Calcul :

Poids du CO_2 dégagé =Poids du bécher +acide + sol (avant la réaction) –Poids du bécher + acide + sol (après réaction)

% $CaCO_3$= Poids du CO_2 dégagé x 2,274 x100/ Poids du sol

=Poids du CO_2 x 227,4 /Poids du sol

Classification (Baize, 2000)

Calcaire (%)	Type de sol
<1	Non calcaire
1- 5	Peu calcaire
5- 25	Modérément calcaire
25-50	Fortement calcaire
50-80	Très fortement calcaire
➢ 80	Excessivement calcaire

2.2.4. Le carbone organique (Walkley et Black, 1934)

On oxyde le carbone organique d'un échantillon avec le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en excès (en milieu acide). L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sels de Mohr (le sulfate ferreux).

Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré (le diphénylamine) qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est réduit.

-Mode opératoire :

- Introduire 1 g de sol tamisé dans une erlen, y ajouter 10 ml de bichromate de potassium (8%), ajouter 15ml acide sulfurique.

- Agiter 2 minute et laisser reposer 30mn
- Transvaser dans une fiole et ajouter à 250 ml les eaux de rinçage de l'erlen.
- Prélever 50ml dans un bécher
- Ajouter 1 g de NaF et 3 à 4 gouttes de diphénylamine
- Titrer le sol avec le sel de Mohr (sulfate de fer et d'ammonium) à 0,2 N.
- la solution de couleur brun-noireatre virera au vert (X ml de sel de Mohr).

Témoin (Y) : suivre les mêmes étapes sans le sol

Calcul

$$C(\%) = \frac{(Y-X)* 0{,}6mg\ C\ *100}{\text{Poids du e sol selon le cas}}$$

Remarque :

Comme l'oxydation du carbone est à froid et donc incomplète, elle est en moyenne de 76% (100/76= 1,31)

On multiplie le résultat par 1,31.

Considérant que la matière organique (M. O.) = C × 1,724

Classification des sols selon le taux de matière organique (Schaefer, 1975)

Taux e matière organique (%)	Type de sol
<1	Très pauvre
1-2	Pauvre
2-4	Moyenne
>4	Riche

2.2.5. Texture du sol (bouteille) :

-Prendre une bouteille transparente et remplissez-le à moitié de sol tamisé.

-Ajouter de l'eau jusqu'à ¾ et secouer vigoureusement.

-Laisser reposer 24 H.

-mesurer les couches et calculer les pourcentages.

-déterminer la texture du sol avec le triangle textural.

4-Mode opératoire de la respiration microbienne (Domergues, 1968)

-Les échantillons de sols sont séchés à l'air libre et à l'ombre, puis tamisés à 2 mm.

- Placer 10 g de sol humidifié (5 ml eau distillée) et un piège à CO_2, constitué de 5ml de soude à 0,5N) : Sol + Eau + NaOH dans une boite bien fermée.

-Un témoin : par répétition constitué uniquement d'un flacon contenant de la soude et d'un autre contenant de l'eau distillée est placé dans les mêmes conditions = un tube avec 5ml eau + un tube avec 5 ml NaOH

-Pour maintenir la température identique pendant la durée de l'incubation, les bocaux sont maintenus dans une étuve à 28°C.

- Ajouter directement 5 ml de $BaCl_2$ au tube du NaOH après ouverture du flacon pour éviter la fixation du CO_2 atmosphérique par la soude exposée dans le bécher

- Ajouter 2ou 3 gouttes de phénolphtaléine (indicateur coloré)

- Titrer avec le HCl (0,1N) jusqu'à la disparition de la coloration rose- violet.

L'activité respiratoire du sol est déduite après titration de la soude selon la formule suivant :

Pour 10 g de sol pendant 24h

Masse du CO_2 (mg)= (Vt-Vech)* 0,1N(HCl)* masse molaire du CO_2 (44g/mole)

CO_2 (mg) = (V_t-V_{ech})* 4,4

Vt = volume de titration du témoin sans sol.

Vech = volume de titration de l'échantillon sol.

N(HCl) = 0,1N

Masse molaire du CO_2= 44g/ m