

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERRI DE TIZI OUZOU FACULTE DES SCIENCES
BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Écologie Végétale

THEME

Contribution à l'étude des caractéristiques physicochimiques de la rhizosphère sous chêne-liège (*Quercus suber L.*) au niveau du massif forestier de Béni Ghobri Tizi-Ouzou : implications écologiques.

Réalisé par :

- Bentayeb Thanina
- Bournane Tamazouzt

Devant le jury composé de :

Examinatrice : Mme.AKLI A

M.C.B à l'UMMTO

Encadreur : Mr.RAHMANI A

M.A.A à l'UMMTO

Président : Mr. OUDJIANE A

M.C.B à l'UMMTO

Promotion: 2024 / 2025

Remerciement

Avant toute chose, nous rendons grâce à Allah, notre Créateur Tout-Puissant, source de vie, de lumière et de vérité, qui nous a guidées tout au long de ce parcours. C'est grâce à Sa miséricorde infinie, à la force qu'Il nous a insufflée, à la santé qu'Il nous a préservée et à la volonté qu'Il a ancrée en nous que nous avons pu mener à bien ce travail et atteindre ce niveau d'étude. À Lui reviennent toute notre gratitude et notre humble reconnaissance.

Ce mémoire a été réalisé au sein de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département d'Écologie et Environnement.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères et respectueux à notre encadrant, Monsieur RAHMNI A., pour sa précieuse orientation, sa confiance, ses conseils avisés et sa patience tout au long de ce travail. Sa disponibilité et ses encouragements constants ont été d'un soutien inestimable.

Nos remerciements chaleureux vont également à Monsieur BLIBEK, ingénieur de laboratoire au sein du laboratoire d'Écologie, pour son aide technique, sa disponibilité et sa gentillesse.

Nous n'oublions pas Monsieur AIT IZEM, ingénieur du laboratoire de Production Animale, pour son appui et sa collaboration bienveillante qui ont également contribué à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons toute notre gratitude aux membres du jury, Monsieur OUGJIAN A., président, et Madame AKLI A., examinatrice, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce mémoire. Leurs remarques et suggestions, empreintes de rigueur scientifique, ne pourront qu'enrichir la qualité de ce modeste travail.

À nos parents, piliers de notre vie, nous dédions ces lignes avec émotion. Leur amour inconditionnel, leur patience, leurs prières et leur soutien moral et matériel tout au long de notre parcours universitaire ont été notre plus grande force.

Nous remercions également tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, que ce soit par un geste, un mot d'encouragement ou une aide ponctuelle.

Et si, par oubli involontaire, une personne précieuse n'a pas été citée ici, qu'elle trouve à travers ces mots toute notre estime et notre profonde reconnaissance.

A tous merci

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes parents, pour leur amour et leur soutien inconditionnels. Merci pour vos sacrifices et la force que vous m'avez donnés. Que Dieu vous garde et vous préserve.

A mon frère Sifax et ma sœur Kahina pour leurs encouragements.

A mes tantes Nora, Ouerdia et Fazia pour leur soutien et leurs encouragements.

A ma chère binôme : Tamazouzt.

A toutes mes amies : Kenza, Melissa, Tafrara et toutes les autres avec qui j'ai partagé mes agréables moments au fil de mes études.

A toutes les personnes qui m'ont aidée, soutenue et contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Thanina.B

Dédicaces

Louange à Dieu, le Très-Haut, le Très-Miséricordieux, qui m'a accordé la force, la patience et la lumière pour accomplir ce travail.

La mémoire de mon père, homme de sagesse, de courage et d'amour inébranlable. C'est grâce à toi que j'ai appris la véritable signification du sacrifice et de la persévérance. Même en ton absence, ton héritage vit en moi et m'accompagne chaque jour. Que ton âme repose en paix, papa, et que tu saches à quel point ton influence continue de guider mes pas.

À ma mère, source infinie d'amour et de bienveillance. Tu as su être mon refuge, mon modèle, et ma lumière, même dans les moments les plus sombres. Ton soutien et ta force m'ont permis de surmonter chaque obstacle avec confiance. Maman, sans toi, rien de ce que j'ai accompli n'aurait eu de sens. Que Dieu te bénisse et te garde toujours en bonne santé.

À mes frères Akli, Mohand et Kouciela, et à mes sœurs Sylia et Dyhia, pour votre soutien indéfectible et votre présence précieuse à chaque étape de ce parcours. Vous êtes mes complices, mes protecteurs, Chacun de vous, par vos mots, vos gestes et votre amour, m'a encouragé à toujours aller plus loin.

À mes deux grands-mères,

À toi, chère grand-mère paternelle, et à toi, douce grand-mère maternelle, merci pour vos prières, vos mots pleins de sagesse et votre tendresse infinie. Vos valeurs, vos souvenirs et vos bras ouverts ont marqué mon enfance et m'accompagnent encore.

À toute ma famille,

Vous êtes mon ancrage, mon cocon, mon refuge. Ce mémoire est une offrande de gratitude envers chacun de vous.

À ma chère binôme Thanina

À tous mes amis (es). Pour vos encouragements, vos sourires, votre écoute et votre foi en moi. Vous avez embelli cette aventure académique.

Tamazouzt.

Liste des abréviations

1. RU: Réserve utile
2. CEC: Capacité d'échange cationique
3. pH: Potentiel hydrogène
4. KCl: Chlorure de potassium
5. CE: Conductivité électrique
6. mg: Milligramme
7. g: Gramme
8. ms/cm: Millisiemens par centimètre
9. $\mu\text{S/cm}$: Microsiemens par centimètre
10. °C: Degré Celsius
11. L : Litre
12. cm:Centimètre
13. mm: Millimètre
14. μm (ou um) : Micromètre
15. UFC: Unité Formant Colonie (si présent dans la partie microbiologique)
16. MOS: Matière Organique

Liste des tableaux

Tableau 1 : Échelle de salinité du sol (USSS, 1981).....	5
Tableau 2 : La répartition subéricole en Algérie.....	18
Tableau 3 : Éléments contributifs au stress chez les plantes.....	20
Tableau 4 : Température moyenne mensuelles en C°.....	26
Tableau 5 : Pluviométrie annuelle (2001–2010) de la commune d'Azazga.....	27
Tableau 6 : Variation de la teneur en eau du sol (%) selon deux profondeurs d'échantillonnage sous différents chênes-lièges.....	37
Tableau 7 : Comparaison des teneurs moyennes en eau du sol selon deux niveaux de profondeur sous chênes lièges.....	38
Tableau 8 : Variation du pH de l'eau du sol en fonction de la profondeur sous différents chênes lièges.....	39
Tableau 9 : Comparaison des pH moyens du sol selon deux profondeurs sous chênes lièges.....	40
Tableau 10 : Variation du pH-KCl du sol selon l'état du sol et la profondeur sous différents chênes lièges.....	41
Tableau 11 : Comparaison des pH-KCl moyens du sol selon deux profondeurs sous chênes lièges.....	40
Tableau 12 : Teneur en carbone organique (%) du sol selon la profondeur sous chêne-liège.....	41
Tableau 13 : Comparaison des teneurs moyennes en carbone organique du sol selon la profondeur sous chêne-liège.....	42
Tableau 14 : Variation de la conductivité électrique du sol selon la profondeur sous différents chênes-lièges.....	43
Tableau 15 : Comparaison des conductivités électriques moyennes du sol entre deux niveaux de profondeur sous chênes-lièges.....	44

Liste des figures

Figure 01 La zone rhizosphérique (Bazot S, 2005).....	8
Figure 02 : Illustration schématique dépeignant les interactions entre les plantes et les micro-organismes dans la rhizosphère (Lemanceau et al, 2006).....	9
Figure 3:Feuilles du chêne liège (origine 2025)	12
Figure 04:Fleurs du chêne liège (IML, 2022).....	12
Figure 05: Glande du chêne liège (IML, 2022).....	13
Figure 06 : les racines du chêne liègent (origine 2025).....	14
Figure07 : L'Ecorce du chêne liège (IML,2002).....	15
Figure 08 : Le liège.....	16
Figure 09 : Distribution du chêne liège (IML ,2022).....	17
Figure 10 : Air de répartition de chêne liège en Algérie.....	19
Figure 11: Plane de localisation géographique d'El (Ainsseur (zone d'analyse).....	24
Figure12 : Diagramme Ombro-thermique de la région d'Azazga.....	27
Figure13 : L'étage bioclimatique de la station d'el Ainseur projeté sur le climagramme d'Emberger.....	28
Figure 15 : Anthropisation du milieu forestier par des dépôts de déchets solides (Original 2025).....	30
Figure 14: Effet du pâturage sur la structure de la végétation en sous-bois (original 2025)	30
Figure 16: Sacs étiquetés des échantillons récoltés.....	32
Figure 17 : Le poids du bécher vide.....	32
Figure 18: Les 10g du sol.....	32
Figure 19:L'étuve.....	32
Figure 20: Un dessiccateur.....	32
Figure 21: Pesé le sol une une autre fois.....	32
Figure 22: Pesé du sol.....	33
Figure 23: L'eau distillée.....	33
Figure 24: Mesure du Ph (avec un ph mètre).....	33
Figure 25 : Pesé des creusets vides.....	34
Figure 26 : Mettre les creusets dans l'étuve.....	34
Figure 27 : Refroidissement dans un dessiccateur.....	34
Figure 28 : pesé les creusets une autre fois.....	34

Figure 29: Tamisation du sol.....	35
Figure 30 : mettre les béchers dans l'étuve 24h.....	35
Figure 31 : Filtrage de la solution.....	35
Figure 32: mesure de la conductivité. Electrique.....	35
Figure 33 : Variation de la teneur en eau du sol selon la profondeur N 1 et N2.....	38
Figure 34 :Variation du Ph eau moyenne du sol selon la profondeur N1 et N2 sous chêne lièges.....	40
Figure 35 :Variation du pH KCl moyen du sol selon la profondeur N1 ET N2 sous chênes lièges.....	42
Figure 36: Variation des teneurs moyenne en carbone organique du sol deux profondeurs N1 et N2 sous chêne-liège.....	44
Figure 37:Variation de la conductivité électrique du sol selon la profondeurs N1 et N2 sous chênes lièges (Quercus suber).....	46

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le sol et la rhizosphère	3
1. Définition et description du sol	3
1.1 Les constituants du sol.....	3
1.2 Les caractéristiques chimiques du sol.....	4
1.2.1 LE PH	4
1.2.2 La capacité d'échange cationique (CEC)	5
1.2.3 La conductivité électrique.....	5
1.2.4 La matière organique	5
1.3. Caractéristiques biologiques du sol	6
1.4 Les fonctions du sol.....	6
2. La Rhizosphère	7
2.1 Définition de rhizosphère	7
2.2. Rôle de la rhizosphère	8
2.3. Les interactions dans la rhizosphère	8
2.3.1 Les interactions entre le microorganisme	8
2.3.2 Les interactions plantes-microorganismes.....	9
2.4 Effet de la rhizosphère sur la plante	10
1. Historique de l'espèce	10
2. Introduction à l'espèce.....	10
3. La systématique du chêne liège	11
4. La description botanique et dendrologique du chêne-liège	11
4.1. Caractéristiques botaniques	11
4.1.1. Feuilles.....	11
4.1.2. Bourgeon	12

4.1.3. Fleur.....	12
4.1.4. Fruit	13
4.1.5. Rameaux	13
*4.1.6. Système racinaire.....	14
4.2. Caractéristiques dendrologique.....	14
4.2.1. Hauteur moyenne.....	14
4.2.2. Port.....	14
4.2.3. Houppier	15
4.2.4. Ecorce	15
4.2.5. Bois.....	15
4.2.6. Liège.....	16
4.2.7. Tronc.....	16
4.2.8. Longévité.....	16
5. Caractère écologique de Quercus Suber.....	17
5.1. Aire de répartition du chêne liège.....	17
5.1.1 Aire mondiale	17
5.1.2 Répartition en Algérie	18
6. Écologie de Quercus suber	19
6.1 Conditions édictées.....	19
6.2. Conditions climatiques	19
6.2.1. Lumière et température.....	19
6.2.2 Humidité et pluviométrie	19
6.2.3 Bioclimat et altitude.....	20
7. Facteurs contribuant au stress chez les plantes.....	20
8. Applications majeures du liège et valorisation de ses propriétés écologiques	22

Chapitre II : Matériels et méthode

Description de la zone d'étude	24
--------------------------------------	----

1. L'environnement géographique et Géologique	24
2. Climat	25
3. Température.....	25
4. Précipitations	26
5. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	27
6. Climagramme d'Emberger	28
7. La végétation	29
8. Présentation de l'exposition de la station aux activités anthropique.....	29
Échantillonnage	31
Choix des Arbres	31
Prélèvement des Échantillons de Sol.....	31
Conditionnement et Préparation des Échantillons	31
Analyses physicochimiques en laboratoire.....	32
Mesure de la teneur en eau	32

Chapitre III : Résultats

I. Résultats	37
I.1. Mesures de la teneur en eau du sol.....	37
I.2 Mesures de Ph eau.....	39
I.3. Mesures dePH kcl.....	41
I.4 Mesures de la matière organique.....	43
I.5. Mesures de la conductivité	44

Chapitre IV : Discussion

Discussion.....	51
1- Caractérisation des gradients verticaux et implications écologiques	51
1.1 Humidité du sol : un facteur limitant et structurant.....	51
1.2. pH du sol : un environnement acide favorable	51

1.3. Matière organique : moteur de la fertilité du sol	52
1.4. Conductivité électrique : indicateur de la disponibilité ionique	52
2. Hétérogénéité spatiale et influence du chêne-liège.....	53
2.1. Implications écologiques pour la fonctionnalité de l'écosystème.....	53
3. Disponibilité des nutriments	54
4. Activité biologique du sol.....	54
5. Résilience de l'écosystème.....	54
6. Comparaison avec d'autres études	55
Conclusion générale	58

Références bibliographiques

Résumé

Introduction générale

Introduction

Les écosystèmes forestiers méditerranéens, caractérisés par des conditions climatiques singulières alternant étés chauds et secs et hivers doux et humides, abritent une biodiversité remarquable et jouent un rôle écologique et socio-économique fondamental. Comme le soulignent Blondel et al. (2010), ces bassins sont des creusets de diversité biologique. Parmi ces écosystèmes, les subéraies, dominées par le chêne-liège (*Quercus suber* L.), constituent des formations végétales emblématiques du bassin méditerranéen occidental. Ces forêts contribuent de manière significative à la séquestration du carbone, à la conservation de la biodiversité et à la protection des sols contre l'érosion, tout en fournissant une ressource naturelle précieuse : le liège, comme le met en évidence la FAO (2018).

Cependant, ces écosystèmes sont de plus en plus confrontés à des menaces croissantes. Pausas et Ribeiro (2017) ont montré que les changements climatiques, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des incendies, ainsi que diverses pressions anthropiques comme le surpâturage et la déforestation, mettent en péril ces milieux fragiles.

Au cœur de la dynamique et de la résilience de ces forêts se trouve la rhizosphère, cette interface complexe et hautement active entre les racines des plantes et le sol environnant.

La rhizosphère est un micro-environnement où se déroulent des interactions biologiques et physicochimiques intenses, influencées par les exsudats racinaires, l'activité microbienne et la pédofaune. Hinsinger et al. (2009) soulignent que ces interactions sont cruciales pour l'acquisition des nutriments par les plantes, la structuration du sol et la régulation des cycles biogéochimiques. Les propriétés physicochimiques du sol, telles que le pH, l'humidité, la teneur en matière organique et la conductivité électrique, sont des indicateurs clés de la santé et de la fonctionnalité de la rhizosphère, et leurs variations peuvent avoir des répercussions profondes sur l'activité biologique et la croissance végétale, comme l'a démontré Fierer (2017).

La subéraie d'Ath Ghobri, située à Tizi Ouzou, en Algérie, représente un exemple typique de ces écosystèmes méditerranéens. Comprendre les dynamiques des propriétés physicochimiques de la rhizosphère dans ce contexte est essentiel pour évaluer la capacité de résilience du chêne-liège face aux contraintes environnementales et pour élaborer des stratégies de gestion durable. Les données collectées sur le pH (eau et KCl), l'humidité du sol, la matière organique et la conductivité électrique à différentes profondeurs offrent une opportunité unique d'analyser les gradients verticaux de ces paramètres et leurs implications écologiques.

C'est dans ce cadre que se pose la question centrale de cette étude : comment les propriétés physicochimiques du sol (pH, humidité, matière organique, conductivité électrique) varient-elles verticalement dans la rhizosphère du chêne-liège à Ath Ghobri, et quelles sont les implications de ces gradients pour la fonctionnalité de l'écosystème forestier méditerranéen ?

Notre travail, est une contribution à une meilleure connaissance des conditions physicochimiques qui regnent au niveau de la rhizosphère. Il s'agira de caractériser les profils verticaux (0-10 cm et 10-20 cm) du pH (eau et KCl), de l'humidité, de la matière organique et de la conductivité électrique dans la rhizosphère du chêne-liège à Ath Ghobri. Nous chercherons également à quantifier la variabilité de ces paramètres entre différents individus de chêne-liège, et à discuter des implications écologiques de ces gradients et de cette variabilité pour la disponibilité des nutriments et l'activité biologique du sol.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre présentera une synthèse bibliographique approfondie sur les écosystèmes forestiers méditerranéens, le chêne-liège, la rhizosphère et les propriétés physicochimiques du sol. Le deuxième chapitre décrira en détail le matériel et les méthodes utilisés pour la collecte et l'analyse des données. Le troisième chapitre exposera les résultats obtenus, en se concentrant sur les gradients verticaux et la variabilité des paramètres. Enfin, le quatrième chapitre discutera de ces résultats, de leurs implications écologiques et des perspectives de recherche futures. Une conclusion générale synthétisera les principaux apports de cette étude.

Chapitre I :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur le sol et la rhizosphère

1. Définition et description du sol

Le sol est une formation qui se trouve à la surface et représente l'élément primordial des biotopes propres aux écosystèmes terrestres. Leur ensemble, appelé pédosphère, découle de l'interaction entre deux compartiments biosphériques : l'atmosphère et les couches de surface de la lithosphère. (Manneville et al., 1999).

Le processus de formation des sols, qui est complexe, implique la transformation des roches-mères sous l'influence combinée des éléments climatiques et biotiques (plantes et animaux du sol). La dégradation de ces éléments débute par un processus de désintégration physique causé par les conditions météorologiques, suivi plus tard par la fragmentation du substratum rocheux due à la croissance des racines végétales.

Il s'ensuit un processus de décomposition chimique, déclenché par le lessivage effectué par les eaux d'infiltration portant des substances dissoutes qui mènent à la création d'un mélange intime entre les matières minérales et organiques. C'est pourquoi le sol est perçu comme un réacteur biogéochimique interactif et un composant multiphasique. Le sol, qui est la couche supérieure de la croûte terrestre d'une structure non compacte et d'épaisseur variable, est souvent teinté par l'humus. Il résulte de la transformation graduelle de la roche-mère sous-jacente, influencée par des facteurs physiques, chimiques et biologiques (Manneville et al, 1999).

1.1 Les constituants du sol

D'après Buttler (1992), un volume de sol se compose d'éléments solides, liquides et gazeux et l'état solide. Un

Elle contient des aspects minéraux et organiques. Les éléments minéraux proviennent directement de la fragmentation mécanique et de la décomposition chimique des roches du sous-sol ou des matériaux transportés, tels que les alluvions, colluvions et dépôts éoliens. On identifie par conséquent les sables (2 mm-50 μ m), les limons (50 μ m-20 μ m) et les argiles (<2 μ m) (Rolland, 1988).

La texture du sol est déterminée par les proportions de ses composants, tandis que la manière dont ces particules élémentaires sont disposées représente sa structure.

Les composants organiques du sol sont formés de résidus organiques : débris d'origine animale (détritiques, cire, etc.), débris d'origine végétale (feuilles, branches, racines, tronc d'arbre) qui forment la majorité de sa masse.

La phase liquide

D'après Rolland (1988), il s'agit du volume qui comble en tout ou en partie les espaces vides (pores) situés entre les particules solides du sol. Il est constitué d'eau et de matières minérales ou organiques qui se dissolvent dans l'eau. La présence d'eau dans le sol est essentielle pour plusieurs raisons, dont :

L'eau est un élément crucial pour la fertilité du sol, car sa présence permet des réactions chimiques entre divers composants du sol et la formation de nouvelles molécules, qu'elles soient minérales ou organiques.

L'eau, qui est le seul solvant présent dans le sol, est aussi le seul vecteur de diverses substances. La translocation des substances, qu'elles soient dissoutes ou en suspension, est uniquement due au mouvement de l'eau.

La phase gazeuse

La phase gazeuse, composée de gaz similaires à l'air : vapeur d'eau, O₂, CO₂ et N, remplit les espaces vides présents entre les particules solides du sol qui ne sont pas occupés par la phase liquide. Ces gaz sont issus de l'altération des roches, de la décomposition de matières organiques et des contributions humaines (Butter, 1992).

1.2 Les caractéristiques chimiques du sol

1.2.1 LE PH

L'acidité du sol est caractérisée par la concentration en ions H. On distingue l'acidité actuelle, qui fait référence à la concentration d'ions H libres dans la solution du sol, de l'acidité potentielle, qui représente le total des ions H échangeables (plus abondants), constituant une « réserve » actuellement inaccessible. Cette dernière peut être déterminée par titrage ou échange avec une solution saline (Duchaufour, 2004).

1.2.2 La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) correspond à l'évaluation de la faculté du sol à retenir et à troquer des cations. Il s'agit d'un indice relatif à la fertilité des terrains. Par rapport aux sols à faible capacité d'échange cationique, les sols à forte capacité d'échange cationique ont la capacité de retenir davantage de cations et présenter une plus grande faculté d'échange.

Dans les rapports d'analyses de sol, on évoque généralement le potassium (K), le magnésium (Mg) et le calcium (Ca) comme les cations les plus fréquents. Des rapports indiquent aussi la présence de l'hydrogène (H) et du sodium (Na). Selon Christophe (2015), les cations sont des ions nutritifs à charge positive.

1.2.3 La conductivité électrique

La conductivité électrique (salinité) est la mesure du degré de la salinité du sol étudié. La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (rapport sol / eau=1/5) à l'aide d'un conductimètre (Delaunois, 1976). Les valeurs sont comparées à une étude de salinité, résumé dans le tableau (1).

Tableau 1: Echelle de salinité du sol (USSL, 1981).

Conductivité électrique (ms/cm)	
0-0,6	Non salé
0,6-1,4	Peu salé
1,4-2,4	Salé
2,4-6	Très salé

1.2.4 La matière organique :

La matière organique se compose d'un mélange de biomasse vivante ainsi que de résidus végétaux et animaux en cours de décomposition, à divers stades. Qualifiée d'organique, cette substance résulte principalement de la combinaison de trois éléments essentiels : le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. Elle contient également de l'azote, du soufre et du phosphore, qui jouent un rôle clé dans la nutrition continue des plantes (Tchakpa, 2011).

1.3. Caractéristiques biologiques du sol

Les caractéristiques biologiques du sol reposent sur l'activité de la pédofaune et de la pédoflore. La faune du sol se divise selon la taille en microfaune (protozoaires, nématodes), mésofaune (acariens, collemboles), macrofaune (lombrics), et mégafaune (taupes, rongeurs), jouant un rôle essentiel dans l'aération, la décomposition et la structuration du sol. La flore, essentiellement microscopique, comprend les bactéries (cycle des nutriments, transformation organique), les actinomycètes (dégradation des composés complexes) et les champignons (recyclage de la matière organique, symbiose avec les plantes). Ensemble, ces organismes assurent la fertilité et la dynamique biologique du sol. (Touyre, 2015)

1.4 Les fonctions du sol

- **Fonctions écologiques**

Le sol remplit de nombreuses fonctions qui peuvent être aisément classées en trois types : les fonctions écologiques, les fonctions technologiques et les fonctions sociologiques (Calvet, 2013).

- **Fonction « milieu biologique »**

Le sol, en raison de sa capacité à favoriser la croissance et le développement d'une multitude d'organismes, d'animaux et de plantes, est considéré comme un environnement biologique. Cette fonction se base sur le principe que le sol représente le cadre physique, physico-chimique, chimique et biologique des organismes qui y vivent (Calvet, 2013).

- **Fonction environnementale**

Cette fonction englobe l'influence du sol sur la qualité de l'eau, de l'air et du réseau alimentaire. La qualité du sol en tant que telle est aussi associée à la fonction environnementale (Calvet, 2013).

- **Fonction puits et source dans les cycles biogéochimiques**

Cette fonction inclut l'impact du sol sur la qualité de l'eau, de l'air et du système alimentaire. La qualité des sols en tant qu'élément intrinsèque est également liée à la fonction environnementale (Calvet, 2013).

- **Fonction de réservoir biologique**

L'immense diversité et l'abondance des organismes présents dans le sol font de celui-ci un important réservoir biologique de la biodiversité des écosystèmes terrestres (Calvet, 2013).

- **Fonction de support mécanique**

Cette fonctionnalité est adaptée pour les plantes, tout comme pour les équipements et instruments agricoles. Ceci est important pour les agriculteurs, car elle fixe en grande partie les conditions d'intervention (Calvet, 2013).

2. La Rhizosphère

2.1 Définition de rhizosphère

Hiltner (1904) a introduit le concept de la rhizosphère, définissant comme le volume du sol qui entoure la racine et qui est chimiquement, physiquement et biologiquement influencé par la présence de racines végétales vivantes. C'est un écosystème écologique dynamique où les microorganismes et les plantes interagissent pour l'absorption des micronutriments et des macronutriments du sol, dont la quantité est restreinte, ce qui influence la croissance des plantes (Gholami et al. 2012).

L'étendue spatiale de la rhizosphère peut fluctuer selon la structure du sol, la dimension des particules, le volume d'eau présent et sa capacité de tamponnage. La rhizosphère, qui est l'espace allant de quelques millimètres à la surface des racines où interviennent des nutriments solubles comme les nitrates et les composés volatils, peut atteindre une épaisseur de moins d'un millimètre lorsque des nutriments immobiles tels que le phosphate sont présents (Figure 7) (Bertin et al, 2003). Dans le sol, la diversité et le nombre d'organismes bactériens sont particulièrement élevés, avec une densité approximative de 10^9 UFC par gramme de terre. Toutefois, la densité des populations de la microflore liée aux racines est nettement plus importante dans la rhizosphère que dans le sol à nu (Davet, 1996 ; Van, 2007 ; Valencia, 2008).



Figure N°1 La zone rhizosphérique (Bazot S, 2005).

2.2. Rôle de la rhizosphère

La rhizosphère a un rôle dynamique dans la gestion des interactions entre les plantes et les microorganismes (Hirsch et al. 2003). Il s'agit d'un espace de vie où les exsudats racinaires favorisent, d'une part, l'épanouissement d'une faune et d'une flore spécifiques, et d'autre part, stimulent le développement d'une flore symbiotique qui garantit une croissance optimale des plantes en produisant des substances favorables à la croissance telles que les phytohormones et les antibiotiques offrant une défense contre les phytopathogènes.

Il s'agit d'un micro-habitat écologique qui favorise et active diverses activités microbiennes, contribuant ainsi au déroulement des cycles de nutriments majeurs et des oligoéléments tels que le carbone, l'azote, le phosphore, le fer, entre autres (De carne et al. 2010).

2.3. Les interactions dans la rhizosphère

Selon Kaioua, Amel (2015), la rhizosphère présente diverses interactions (Jijel 2003 mentionné). Parmi les processus racinaires impliqués dans ces interactions, on retrouve la décomposition des racines, la respiration radicale, l'absorption d'eau et de nutriments (Bazote.2005).

2.3.1 Les interactions entre le microorganisme

Les microorganismes en particuliers les bactéries sont fréquemment impliquées dans une multitude d'interactions non génétiques avec d'autres microorganismes, notamment au niveau de la rhizosphère. Ces interactions sont souvent nutritionnelles. Un micro-organisme dépend d'un autre micro-organisme pour la dégradation de produits ou de substrats spécifiques, ou différents microorganismes sont en compétition pour le même substrat (Kaioua et al. 2015). Dans certaines situations, un microorganisme peut avoir une influence néfaste sur d'autres microorganismes, comme par exemple en produisant des antibiotiques ou des substances

toxiques. Les relations entre les populations microbiennes peuvent être classées comme étant négatives (compétition, amensalisme), positives (commensalisme, synergie et mutualisme), ou bénéfiques pour une population tout en nuisant à l'autre (parasitisme ou prédation). (Trevors et al., 1997).

2.3.2 Les interactions plantes-microorganismes

Selon Giri et al (2005), il est généralement reconnu que chaque groupe microbien peut jouer un rôle crucial dans l'écosystème. Toutefois, un grand nombre de recherches sur la microbiologie de la rhizosphère, notamment celles qui traitent des interactions coopératives entre plantes et micro-organismes, se sont limitées à l'étude des bactéries et des champignons. Ainsi, cette épreuve se concentrera sur ces deux catégories de microbes. Les bactéries et les champignons présentent différents modes de vie trophiques, et divers types de relations saprophytes ou symbiotiques, qui peuvent être préjudicieux (pathogènes) ou avantageuses (mutualistes), ont été rapportés (Kobayashi et Crouch, 2009). Les organismes nuisibles englobent les phytopathogènes majeurs ainsi que les organismes parasites et non parasites nuisibles présents dans la rhizosphère. La croissance et la santé des plantes peuvent être favorisées par les bactéries et les champignons saprophytes bénéfiques. Les bactéries fixatrices de l'azote et les champignons mycorhiziens arbusculaires (Barea et al. 2005) sont des symbiotes mutualistes qui profitent aux plantes.

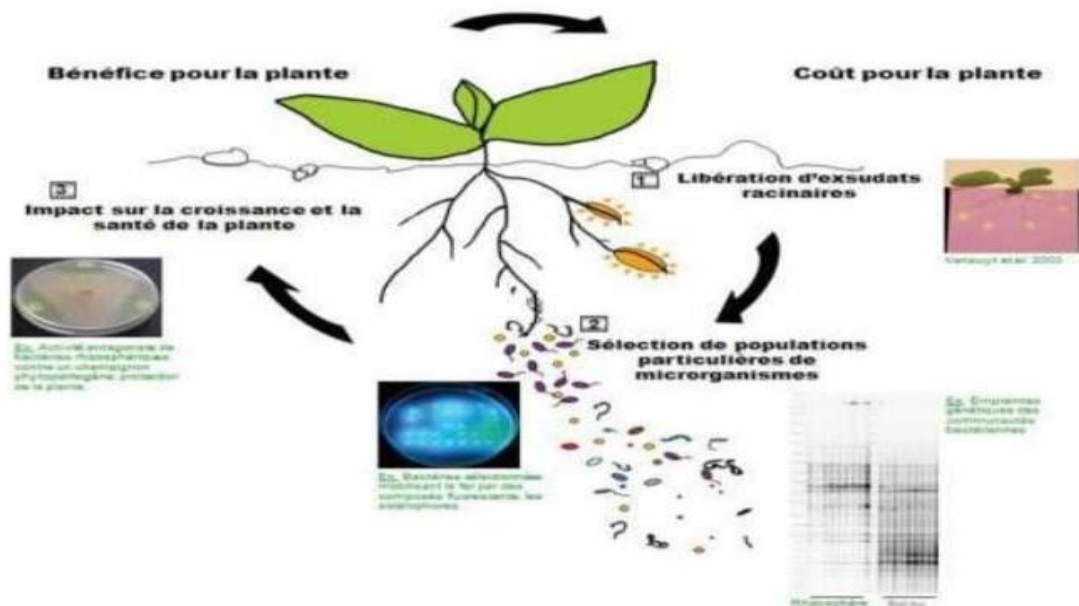


Figure N°2 : Illustration schématique dépeignant les interactions entre les plantes et les micro-organismes dans la rhizosphère (Lemanceau et al, 2006).

2.4 Effet de la rhizosphère sur la plante

Le sol, essentiellement composé de nombreux microorganismes, est un environnement vivant. Hétérotrophes, c'est-à-dire qu'ils nécessitent une source de carbone organique pour croître. La libération de carbone organique dans la rhizosphère représente une source. Essentiel en nutriments pour ces microorganismes. L'effet rhizosphère est fondé sur cette interaction trophique. (Clémentine L, 2013).

Les racines de plantes représentent une part essentielle des systèmes souterrains et jouent un rôle central dans la formation du sol. On désigne souvent ces processus, qui sont fortement contrôlés ou influencés par les racines, comme les processus de la rhizosphère. Ces processus peuvent englober l'exsudation, l'absorption d'eau, la mobilisation des nutriments, la décomposition de la matière organique du sol (MOS) liée à la rhizosphère et la respiration de cette dernière (Cheng, 2008).

II Généralités sur le châne Liège :

1. Historique de l'espèce :

Le châne-liège (*Quercus suber* L.) constitue une espèce emblématique des écosystèmes méditerranéens occidentaux. Membre de la famille des Fagacées, il se distingue par sa capacité unique à produire du liège, ressource économique majeure pour les pays producteurs (Dehiri, 2017), et élément clé de la durabilité socio-écologique de ces forêts. Originaire de la péninsule Ibérique (Quézel&Médail, 2003), le *Q. suber* a colonisé progressivement l'Afrique du Nord, où sa présence est attestée depuis le Pléistocène. Son écorce, remarquable par ses propriétés isolantes et renouvelables, était déjà valorisée dès l'Antiquité (Desain&Tondelier, 1991). L'histoire de la subériculture reflète des dynamiques régionales contrastées, avec des implantations progressives entre la fin du XIXe et le milieu du XXe siècle au Maghreb (Boudy, 1955). Dans le contexte actuel de changement climatique et de pressions anthropiques croissantes, les forêts de châne-liège représentent un modèle d'étude pertinent pour explorer les interactions entre végétation, sol et environnement en milieu méditerranéen.

2. Introduction à l'espèce :

L'espèce *Quercus suber* L., également connue sous le nom de châne-liège, fait partie de la famille des Fagacées. Les forêts de châne-liège jouent un rôle clé dans la préservation écologique des zones vulnérables, en conservant les nutriments du sol, l'accessibilité de la biomasse et la diversité biologique.

3. La systématique du chêne liège :

Le chêne liège, est une espèce pérenne emblématique des écosystèmes méditerranéens qui a été initialement décrite par le naturaliste suédois Carl Von Linné en 1753. Du point de vue de la classification, cet arbre se rattache à :

- l'embranchement des Spermaphytes
- sous-embranchement des Angiospermes,
- la classe des Dicotylédones
- l'ordre des Fagales
- la famille des Fagacées
- genre Quercus.

Son nom scientifique complet est *Quercus suber* L. D'après Plaisance (1977), cet arbre a reçu différentes dénominations vernaculaires selon les régions et les traditions locales, mettant en évidence son ancrage écologique, économique et culturel au sein des paysages méditerranéens.

4. La description botanique et dendrologique du chêne-liège :

4.1. Caractéristiques botaniques :

4.1.1. Feuilles :

Les feuilles du (*Quercus suber* L.) Sont Persistentes, alternes et de forme ovale, mesurant ; entre 3 et 4,5 cm de long. Elles ont une similitude avec celles du chêne vert, bien qu'elles soient plus petites, avec un pétiole, ondulées et fréquemment entourées de piquants (Cailler & Morandi, 2024). Chaque feuille est soutenue par un court pétiole et exhibe entre cinq et six nervures secondaires, tandis que leur face sous-jacente est couverte d'un tomentum blanc (Abbara, 2018). Le feuillage, soutenu par une ramification lâche, assure un passage efficace de la lumière, ce qui stimule la croissance d'un sous-bois assez dense (Saccardy, 1938).



Figure 3: Feuilles du chêne liège (origine 2025) .

4.1.2. Bourgeon :

Les chênes lièges (*Quercus suber* L.) possèdent des bourgeons ovoïdes, couverts par des écailles tomenteuses qui les protègent de la rigueur climatique et des pertes en eau (CHENOUNE, 2011). Cette modification favorise la résilience de l'espèce face au stress hydrique typique des écosystèmes méditerranéens.

4.1.3. Fleur :

Les fleurs du chêne-liège sont de nature monoïque. Selon L.M.L (2006), les fleurs mâles, qui se présentent en chatons, émergent au bout des pousses de l'année antérieure, rassemblées en bouquets composés de 4 à 8 éléments. Les fleurs femelles se forment à l'aisselle des nouvelles pousses de l'année, soit isolément, soit en groupes de trois au maximum, sous la forme d'une petite cupule écaillée supportée par une aigrette rouge dotée d'un pistil et de plusieurs étamines. D'après Saccardy (1938), elles ont tendance à mourir et à tomber habituellement durant leur deuxième année. Ces fleurs sont soutenues par un pétiole court qui présente de 5 à 6 nervures secondaires. Une ramification lâche soutient l'intégralité du feuillage, favorisant ainsi la prospérité du sous-bois.



Figure 04: Fleurs du chêne liège (IML, 2022).

4.1.4. Fruit :

D'après METNA (2003), le gland du chêne-liège (*Quercus suber*) a une forme ovale et est logé dans une large cupule conique, dont la configuration peut varier considérablement. Elle varie en taille de 2 à 5 cm en longueur et de 1 à 2 cm en largeur. Chaque gland renferme un embryon singulier et deux cotylédons. Le développement du gland a lieu au cours de l'année de floraison, avec une tombée qui a tendance à se produire en octobre et novembre. L'arbre commence généralement à fructifier quand il a environ 15 ans (METNA, 2003).

Bien que les glands aient un goût amer et soient rarement mangés par les humains, ils représentent une source de nourriture importante pour le bétail et les sangliers. Ils ont une forme allongée et leur pointe est recouverte de poils (METNA, 2003).

De plus, la cupule qui les entoure présente une diversité morphologique considérable, dépassant de loin simplement la taille et l'arrangement de ses écailles. Sur le plan biochimique, les glands de chêne-liège renferment différents composés bioactifs dont les polyphénols, les stérols et les alcools à longue chaîne qui leur donnent une notable activité antioxydante (ZARROUG et al., 2022).



Figure 05: Glande du chêne liège (IML, 2022).

4.1.5. Rameaux :

Les branches : Au cours des premières années, les branches de chêne-liège sont sinueuses et duvetées, puis elles deviennent brun clair avec des lenticelles bien visibles, et finalement entièrement subéreuses. Dès l'âge de 3 ou 4 ans, les jeunes branches, en se développant, provoquent l'érosion de leur écorce. Plus les branches sont vastes, plus les fissures sont profondes. Elles peuvent se dilater de 2 à 3 mm chaque année. L'écorce est donc d'une teinte gris pâle et présente des marques de lichens. (1987, Marcel Jacamon).

***4.1.6. Système racinaire :**

Selon Lamey (1893), le chêne-liège possède un système racinaire pivotant, qui s'étend profondément et longuement lorsque la qualité du sol le permet. Ce pivot a des racines latérales robustes qui se développent horizontalement sur une distance approximative de 22 à 32 cm (Pereira, 2007 ; Taib, 2016). Ces racines se glissent dans les crevasses des roches garantissant une ancrage ferme de l'arbre, même dans les terrains les plus pierreux, jusqu'à une profondeur de 20 cm, ce qui participe à sa grande capacité foliaire (Sauvage, 1961 ; Nardini et al., 1999 ; Pereira, 2007). La solidité de son système racinaire permet au chêne-liège de s'acclimater à des conditions édaphiques difficiles, ce qui contribue à sa longévité, qui peut atteindre entre 150 et 200 ans (Taib, 2016).



Figure 06 : les racines du chêne liègent (origine 2025).

4.2. Caractéristiques dendrologique :**4.2.1. Hauteur moyenne :**

En général, la taille moyenne du chêne-liège se situe entre 10 et 15 mètres, toutefois, elle peut monter à 20 ou même 25 mètres dans les forêts denses (Gil et Varela, 2008). D'après Saccard (1938), cette hauteur varie de 10 à 14 mètres, pouvant aller jusqu'à 22 mètres au maximum.

4.2.2. Port :

La variation du port du chêne-liège est directement liée à la densité de sa population. Il peut donc apparaître sous différentes formes en fonction des conditions de compétition pour la lumière et de distance entre les individus (Benhalima, 2016 ; Gil et Varela, 2008).

4.2.3. Houppier :

La morphologie du chêne-liège diffère en fonction de la densité du peuplement. Dans les formations clairsemées, l'arbre forme un tronc de courte taille soutenu par une couronne large et étendue. Cependant, dans les formations denses, il prend une forme avec un tronc allongé et une couronne arrondie, étroite et élevée (Cantat et Plazzetta, 2005 ; I.M.L, 2005).

4.2.4. Ecorce :

Le liège, aussi connu sous le nom d'écorce de chêne-liège, est un tissu végétal constitué de cellules mortes (IPROCOR, 1999). Elle se développe à partir de la base subéro-phellodermique, aussi appelée « mère du liège » (Guettas, 2012). Le liège mâle réfère à l'écorce qui se développe naturellement, avec une épaisseur moyenne de 2 à 3 cm. Ce matériau inanimé, de couleur grisâtre, spongieux, élastique et compressible, a une grande capacité de résistance au feu. Sur les jeunes branches de 2 à 3 ans, une couche rose et fissurée est observable à l'œil nu ; avec le temps, elle s'élargit, se fissure davantage et acquiert une nuance de gris clair (Saccardy, 1938).



Figure07 : L'Ecorce du chêne liège (IML,2002).

4.2.5. Bois :

La densité du bois du chêne-liège, qui avoisine 1, confère à ce dernier une grande densité (Yessad, 1999). Il possède une structure irrégulière, fréquemment marquée par des traces de coupes successives de liège, qui témoignent de l'utilisation régulière de l'arbre au cours du temps.

4.2.6. Liège :

Le chêne-liège se caractérise par une couche d'écorce en liège particulièrement développée, qui lui offre une défense naturelle contre le feu. Cela lui permet de se rétablir après un incendie, ce qui le rend unique parmi les espèces (IML, 2022). Ce revêtement, connu sous le nom de liège, se développe en largeur sur l'arbre et provient de la couche subéro-phellodermique, également appelée « mère du liège » (Guettas, 2012). Elle est d'abord observable à l'état pur dès les pousses de 2 à 3 ans, elle se manifeste initialement comme une couche rosée et fissurée, qui s'épaissit pour devenir grisâtre avec le temps (Saccardy, 1938).



Figure 8 : Le liège.

4.2.7. Tronc :

Le tronc du chêne-liège est habituellement de courte taille et se divise à moins de deux mètres du sol (Lamey, 1893). Lorsqu'il croît en solitaire, il a tendance à se développer en largeur au fil du temps, reflétant une expansion latérale graduelle associée à sa longévité. Ainsi, sa circonférence peut fluctuer entre 3 et 5 mètres, en fonction des conditions de croissance (Lamey, 1893).

4.2.8. Longévité : En général, le chêne-liège vit entre 150 et 200 ans (IPROCOR, 1999 ; Gil et Varela, 2008 ; Saccard, 1938). Cependant, cette longévité peut être diminuée par les extractions fréquentes de liège, les feux et divers facteurs environnementaux. Sous des conditions idéales, certains êtres vivants peuvent vivre jusqu'à 300 ans au maximum (Gil et Varela, 2008).

5. Caractère écologique de *Quercus Suber* :

5.1. Aire de répartition du chêne liège :

Le *Quercus suber* L., communément appelé chêne-liège, est une espèce emblématique de la Méditerranée occidentale. On le trouve entre la latitude 36° et 45° Nord, le long des rivages de l'Atlantique, du sud du Maroc jusqu'au golfe de Gascogne. C'est influencé par le climat méditerranéen et la proximité de la mer. Son aire de répartition naturelle va du détroit de Messine à Gibraltar, avec une concentration marquée en Algérie et en Tunisie, tandis qu'il est absent de l'Istrie, de la Dalmatie et de la côte orientale de la mer Ionienne. Le monde compte approximativement 2 265 000 hectares de forêt de chêne-liège, répartis sur sept nations : le Portugal, l'Espagne, l'Italie, la France, le Maroc, l'Algérie et la Tunisie (IMI, 2022). En Algérie, on la retrouve sur une distance d'environ 600 km le long de la côte, allant d'Alger à Bizerte.

5.1.1 Aire mondiale :

On estime que le chêne-liège (*Quercus suber* L.) couvre environ 2,2 millions d'hectares dans sept nations du flanc occidental du bassin méditerranéen : le Portugal, l'Espagne, la France, l'Italie, le Maroc, l'Algérie et la Tunisie. Avec une superficie de 720 000 hectares, le Portugal en possède la plus grande portion et contribue significativement à l'économie grâce à sa production de liège (Maria L. Inácio et al., 2021). Selon Zarroug et al. (2022), environ 70 000 hectares de subéraies sont situés dans d'autres pays méditerranéens. En Algérie, on retrouve cette espèce sur une superficie de 440 000 hectares allant du littoral méditerranéen aux chaînes telliennes (source nationale).



Figure 9 : Distribution du chêne liège (IML ,2022).

5.1.2 Répartition en Algérie :

En Algérie, la superficie occupée par le chêne-liège varie entre 357 231 ha (Bouchaour-Djabeur et al., 2021) et 440 000 ha (Bouhraqua et al., 2010). Cette espèce s'étend de la frontière marocaine à la frontière tunisienne, du littoral méditerranéen aux chaînes telliennes sur une bande de moins de 100 km. La plupart des subéraies sont situées à l'est, en particulier dans les wilayas de Jijel, El Tarf, Skikda, Annaba, Béjaïa et Tizi Ouzou (Bouhraqua et al., 2010 ; Bouchaour-Djabeur et al., 2021).

Tableau02: La répartition subéricole en Algérie :

Conservations	Superficies	Conservations	Superficies
SKIKDA	85 200	CHLEF	6 500
EL TARF	59 500	MEDEA	4 600
JIJEL	43 700	TLEMCEN	4 000
BEJAIA	41 700	TIPAZA	2 800
TIZI OUZOU	29 458	TISSEMSILT	2 500
GUELMA	21 800	ORAN	2 000
ANNABA	14 900	SETIF	1 800
AIN DEFLA	13 700	BOUIRA	1 800
SOUK AHRAS	12 000	BOUMERDES	1 300
MILA	11 400	BLIDA	690
MASCARA	7 040	CONSTANTINE	650

Source : D.G.F(2009)



Figure 10 : Air de répartition de chêne liège en Algérie.

6. Écologie de *Quercus suber* :

6.1 Conditions éditées :

Le chêne-liège (*Quercus suber*), selon l'IML (2005), est une espèce qui ne tolère pas le calcaire et qui se développe uniquement sur des sols siliceux, acides, bien ventilés, parfois pauvres, compacts ou superficiels, mais jamais calcaires. Il favorise les sols meubles, profonds et riches en matière organique.

6.2. Conditions climatiques :

6.2.1. Lumière et température :

Éclaircissement Cette espèce est héliophile : elle nécessite une luminosité intense pour croître, car elle ne tolère pas bien l'ombre, dans laquelle elle se dégrade progressivement jusqu'à périr (Saccardy, 1938). Formation sur des données jusqu'à octobre 2023. Concernant ses besoins thermiques, le chêne-liège privilégie une température annuelle moyenne d'environ 14 °C, mais il est vulnérable aux grands gels (Cantat& Piazzetta, 2005).

6.2.2 Humidité et pluviométrie :

Taux d'humidité Il a aussi besoin d'un taux d'humidité atmosphérique élevé, surtout pendant la saison sèche, avec un minimum de 60% (Saccardy, 1938). Métrique de précipitation *Quercus suber* a des besoins spécifiques en matière de pluie : pour croître correctement, il requiert une moyenne annuelle d'au moins 600 mm (Saccardy, 1938).

6.2.3 Bioclimat et altitude :

Bioclimat Son implantation est restreinte aux niveaux bioclimatiques semi-arides, tempérés à humides doux, qui lui procurent les conditions thermiques et hydriques indispensables à son développement (Quézel, 1976). Altitude En Algérie, on peut rencontrer cette espèce jusqu'à une altitude de 1200 m, atteignant parfois 1300 à 1400 m, voire exceptionnellement 1600 m (Saccardy, 1938 ; Belgherbi&Benabdeli, 2015).

7. Facteurs contribuant au stress chez les plantes :

Tableau 3 : Éléments contributifs au stress chez les plantes

Caractéristique du facteur examiné	Réactions et effets physiologiques chez les plantes	Auteurs
Stress hydrique	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution du niveau d'humidité Contraction cellulaire, disparition de la turgescence Intensification des solutés à l'intérieur de la cellule •Blocage de la photosynthèse dû à des fuites d'électron . 	<p>Jenks & Hasegawa (2014) Dat et al. (2000)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Températures dépassant les limites physiologiques 	

Stress thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'expansion des racines • Modification de la capacité d'absorption en eau et nutriments 	<p>Huang et al. (2012)</p> <p>Drugmand & Jonathan (2020)</p>
Stress biotique	<ul style="list-style-type: none"> • Invasions par des agents pathogènes (virus, bactéries, champignons, parasites) • Préjudices infligés par les herbivores 	<p>Madlung & Comai (2004)</p> <p>Strauss & Zangerl (2002)</p>
Stress oxydatif	<ul style="list-style-type: none"> • Déséquilibre entre les espèces réactives de l'oxygène et les antioxydants • Dommages cellulaires irréversibles 	<p>Mestar (2019)</p>
Métabolisme végétal	<ul style="list-style-type: none"> • Réactions enzymatiques productrices d'ATP/NADPH • Voies cataboliques (dégradation) et 	<p>Juli Peretó (2022)</p> <p>Taiz et al. (2015)</p> <p>Erb & Kliebenstein (2020)</p>

	anaboliques (biosynthèse) • Production de métabolites primaires, secondaires et d'hormones	
--	--	--

8. Applications majeures du liège et valorisation de ses propriétés écologiques :

Le liège, matériau naturel aux propriétés remarquables (imperméabilité, légèreté, élasticité, isolation), est principalement utilisé pour :

Les bouchons : usage historique dominant grâce à son étanchéité (Pereira, 2015).

L'isolation : thermique et acoustique dans le bâtiment écologique (Pereira, 2015 ; Gil, 2017).

Le revêtement intérieur : pour sols et murs, combinant confort et performance énergétique.

Les chaussures : semelles et talons absorbants et légers.

L'emballage : écologique, protecteur et biodégradable.

La construction navale : isolation performante en milieux humides.

La mécanique : joints résistants (pression, fluides).

Les chambres froides : isolation durable et antifongique.

La pharmacie : bouchons assurant une parfaite étanchéité.

Les hautes technologies : automobile, aéronautique, biomimétisme (Gil, 2017 ; APCOR, 2023).

Chapitre II :

Matériels et méthodes

Description de la zone d'étude

1. L'environnement géographique et Géologique

La recherche a été effectuée dans la forêt d'Ath Ghobri, qui se trouve dans la station d'El Ainsar, à peu près 40 km à l'est de Tizi-Ouzou et à 37 km des eaux de la Méditerranée (Azzefoun). Elle est administrativement sous la juridiction de la commune d'Azazga, située dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Cette grande forêt s'étend sur environ 5 705 hectares et possède un terrain irrégulier, avec des inclinaisons allant de 15 % à 45 %, particulièrement marquées dans sa section sud-est. L'altitude varie entre 600 mètres et 1 200 mètres. L'orographie se caractérise par une série de lignes de crêtes qui sont généralement orientées du nord-est vers le sud-ouest. La forêt est bornée au nord par une ligne de crête qui la sépare de Tagmout via l'oued Acif Hammam, à l'est par la forêt d'Akfadou, à l'ouest par une zone reboisée émaillée de petits hameaux qui s'étendent le long du chemin de wilaya CW N°134, et au sud par les villages de Cherfa Bahloul, Assiakbouada et Chable (KACL, 2021). La région couvre une latitude nord de 36°42' à 36°47' et une longitude est de 4°22' à 4°27'. Géologiquement parlant, le sol est principalement composé de grès numidiens, ce qui lui donne une structure plutôt drainante (Allalou, 1986 ; Ferrahi, 1997). On considère que le terrain est assez accidenté (Mahand Messaoudène et al., 2008). Le type d'humus prédominant est un mull riche en matières organiques, signe d'une activité biologique soutenue et d'une décomposition rapide de la litière, propice à la croissance d'une flore forestière variée (Allalou, 1986 ; Ferrahi, 1997).

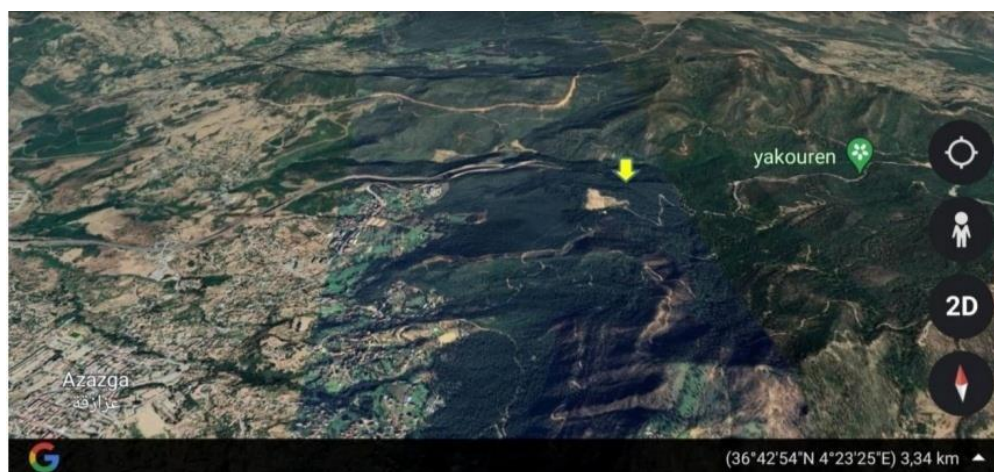


Figure 11: Plane de localisation géographique d'El (Ainsseur (zone d'analyse)).

2. Climat

Le climat est un facteur primordial dans la dynamique des communautés écologiques, notamment par son influence sur les cycles biologiques (alimentation, reproduction, ponte, etc.) et l'aire géographique des espèces, en particulier de la faune du sol (Shoukry et Hafez, 1979 ; Delrio, 1985 ; Dajoz, 2000). L'endroit étudié, qui se trouve en Kabylie, est caractérisé par un **climat** méditerranéen classique, avec des hivers frais et mouillés et des étés à la chaleur intense et sans pluie. Plus spécifiquement, le site d'Ath Ghobri, reconnu comme l'une des régions les plus humides dans le nord de l'Algérie, se situe dans un cadre climatique méso-méditerranéen, présentant une période annuelle de sécheresse qui varie entre 75 et 100 jours (Meddour, 2010). Mitrakos, 1980, 1982 ; Quézel et Médail, 2003. Afin de décrire le climat de notre région d'étude, nous avons fait référence aux recherches de Meddour (2010), qui rassemblent divers indices bioclimatiques et caractéristiques environnementales propres à la Kabylie djurdjurienne.

Dans cette perspective, le type de régime des précipitations observé à Ath Ghobri est H-P-A-E. De plus, les informations climatiques locales soulignent l'importance de l'humidité dans cette zone, qui a un impact significatif sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes forestiers examinés.

3. Température

La température est un facteur écologique crucial qui a une influence directe sur les cycles biologiques et les processus écophysologiques des espèces (Ramade, 2003). Dans la région étudiée à Azazga, on observe des fluctuations thermiques significatives au fil de l'année. Durant l'hiver, les moyennes de température chutent sous les 10 °C, alors qu'en été, particulièrement en juillet et août, elles varient entre 30 et 35 °C, avec des sommets journaliers pouvant grimper jusqu'à 40 °C. Cette variation de température a un impact significatif sur les êtres vivants, contrôlant des processus essentiels comme la reproduction, l'hibernation ou la diapause. De plus, bien que la température des eaux souterraines soit moins susceptible aux fluctuations saisonnières, elle occupe une place déterminante dans les équilibres chimiques du sol et de l'eau. Elle a notamment un impact sur la solubilité des sels et des gaz, la séparation des composés en solution, la conduction électrique et le pH (Rodier, s.d.). Dans les aquifères de grande profondeur, cette température demeure assez constante, fluctuant seulement entre 2 et 3 °C, ce qui la rend significative pour les recherches en hydrogéologie. Les moyennes annuelles des données climatiques de la wilaya de Tizi-Ouzou pour la période 2010-2020

(ONMTO, Original, 2022) corroborent ces tendances et sont en accord avec les observations sur le terrain dans notre zone d'analyse.

Mois Années	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aout.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
2001	10,8	10,3	16,8	15,9	19,1	26,6	28,3	29,1	24,7	23	14	9,2	18,98
2002	9,7	11,4	13,7	15,4	20,1	25,6	26,8	26,3	29,9	20,2	15,2	12,9	18,93
2003	10,1	9,3	13,8	15,7	18,7	27,1	28,8	29,4	23,9	20,4	15,7	10,6	18,63
2004	10,6	12,2	13,6	14,7	16,5	23,8	26,6	27	22,5	25,2	13,3	11,5	18,13
2005	7,4	7,7	12,8	15,5	20,6	25,2	28,3	26,9	23,2	20,5	13	10,6	17,64
2006	9,2	10	14,2	18,3	21,9	24,8	28,8	26,7	23,9	22,3	17,3	12,1	19,13
2007	11,4	13	12,3	15,7	19,5	23,3	27,5	28,1	23,7	19,4	13,6	10,6	18,18
2008	11	12,6	13	16,3	18,8	23,5	27,9	27,8	24,4	19,8	13,5	13,1	18,48
2009	10,8	10,4	12,7	14	21	25,2	29,6	28	22,7	19,2	15,3	15,8	18,73
2010	11,4	12,8	13,7	16,4	17,6	22,6	27,8	27,2	23,6	19,2	14,3	11,2	18,15
Moy	10,24	11	13,66	15,79	19,4	24,77	28	27,7	24,3	20,92	14,52	11,76	18,5

Tableau 4: Température moyenne mensuelles en °C (2001-201) (ONMTO, 2010)

4. Précipitations

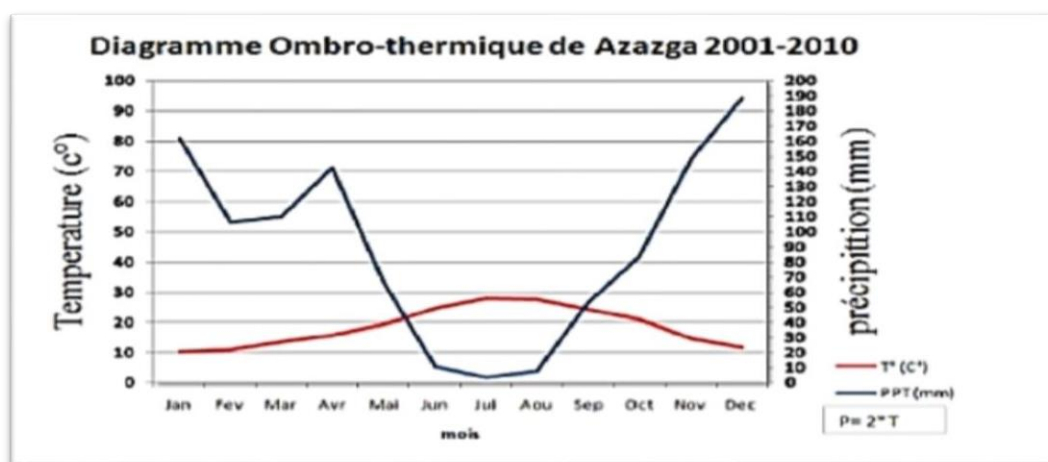
Les précipitations sont l'un des éléments majeurs du climat qui agissent sur la structure et la dynamique des écosystèmes terrestres, en étroite corrélation avec la température (Ramade, 1993, 2003 ; Yakoub, 2005). Elles se réfèrent à la totalité des contributions d'eau atmosphériques, sous forme de liquide ou de solide (pluie, neige, grêle), qui sont reçues par unité de surface. Dans la zone que nous étudions, la saison des précipitations couvre essentiellement six mois, de novembre à avril, avec des pluies particulièrement copieuses entre décembre et mars. La moyenne des précipitations annuelles oscille entre 700 et 1000 mm, bien que certaines années particulièrement humides puissent enregistrer jusqu'à 1500 mm d'eau. Dans l'étude de la pluviométrie, deux ensembles de données ont été pris en compte : le premier englobe la période 2010-2020 pour la station de Tizi-Ouzou (Boukhalifa), tandis que le second couvre la période 2001-2010 pour les stations d'Azazga et de Yakouren. Ces dernières sont situées aux coordonnées Lambert suivantes : X : 649,25 km, Y : 383,9 km, Z : 430 m. Ces informations aident à mieux appréhender les fluctuations interannuelles des précipitations dans cette zone montagneuse, qui est sous l'influence marquée d'un climat méditerranéen orographique.

Mois Années	Jan.	fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
2001	96,9	67	65,3	56,6	24,1	4	10,5	21,8	22	0,9	64,6	87,3	43,42
2002	365,4	87,3	40,4	292	52,9	0	1,9	1,5	25,8	36,1	271	361,5	127,98
2003	180,8	57,2	47,8	119,2	119,8	10,9	0	6	56,7	81,5	61,2	258,5	83,30
2004	197,6	209	34,1	260,6	5,9	1	2,5	0,3	31,9	35,4	154,1	245,8	98,18
2005	159,5	228,7	39,5	17,5	110,5	1,3	2,4	1,3	55,3	39,8	86,8	154,3	74,74
2006	15	66	362,2	260,6	38,8	12,8	11,3	7,9	72,5	10,3	5,2	193,1	87,98
2007	16	40,1	183,7	73,7	94,4	22,6	6,4	7,8	55,1	365,8	211,3	173,4	104,19
2008	336	67,4	121,9	158	48,1	0,5	0	9,4	50,2	73	317	166,7	112,35
2009	167,6	56,8	117,6	88,1	73,6	28	0	17,5	122,3	58,1	188,1	158,1	89,65
2010	82,7	184,5	87,5	92	106,9	20,1	0	0	37,7	133,4	119	81,6	78,78
Moy	161,75	106,4	110	141,83	67,5	10,12	3,5	7,35	52,95	83,43	147,83	188,03	90,06

Tableau 5 : Pluviométrie annuelle (2001-2010) de la commune d’Azazga, en (mm).

5. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

Le diagramme ombro-thermique de Bagnouls et Gaussen, élaboré en 1953, est un outil essentiel pour caractériser les régimes climatiques dans une perspective écologique. Il permet de visualiser l’alternance des saisons sèches et humides en superposant les moyennes mensuelles de températures et de précipitations. Le principe repose sur la formule $P \leq 2T$: lorsqu’un mois présente une quantité de précipitations inférieure ou égale au double de la température moyenne, il est considéré comme sec. Ce critère permet d’identifier les périodes de stress hydrique, particulièrement importantes dans les écosystèmes méditerranéens comme celui du chêne-liège, où la durée et l’intensité de la sécheresse influencent fortement la dynamique du sol et de la végétation.



. Figure12 : Diagramme Ombro-thermique de la région d’Azazga.

6. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger sert à identifier l'étage bioclimatique d'une région spécifique.

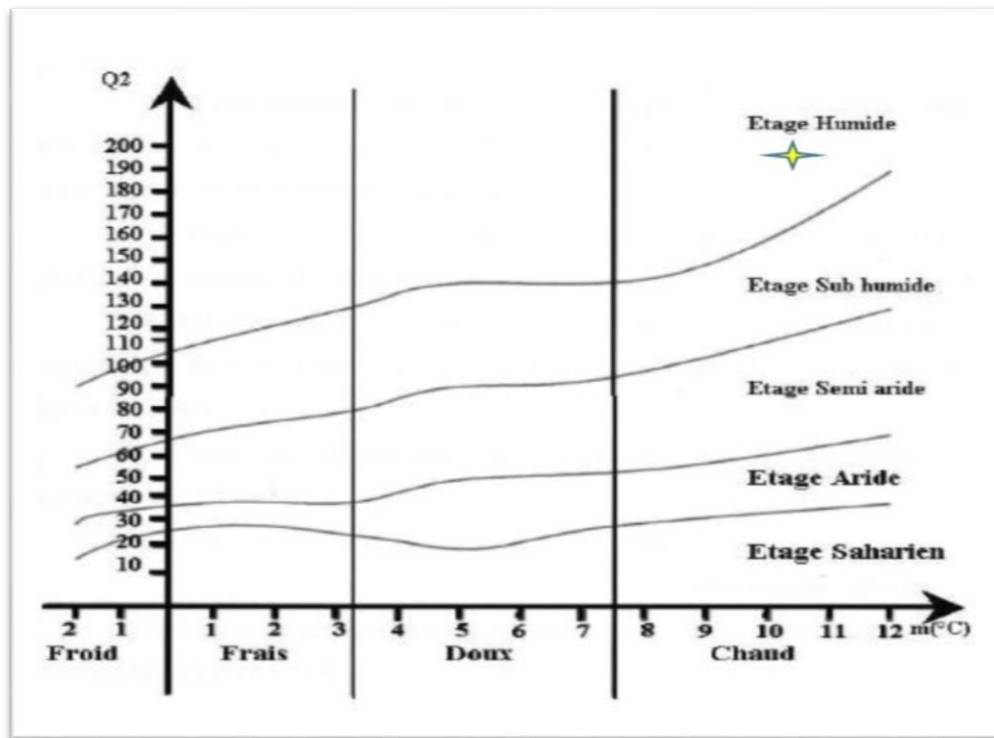


Figure13 : L'étage bioclimatique de la station d'el Ainseur projeté sur le climagramme d'Emberger.

Emberger a distingué cinq niveaux bioclimatiques : humide, subhumide, aride, semi-aride et saharien, ainsi que quatre variantes thermiques :

Hiver froid : $m < 0 \text{ deg} * \text{C}$

Hiver frais : $0 < m < 3 \text{ deg} * \text{C}$

Hiver doux ou tempéré : $3 < m < 7 \text{ deg} * \text{C}$

Hiver chaud : $m > 7 \text{ deg} * \text{C}$

La formule modifiée est utilisée pour déterminer le climagramme :

$$Q * 2 = 2000P / (M ^ 2) - m ^ 2$$

Q2 : Quotient pluviométrique

P : précipitations moyennes annuelle

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

M : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

M-m : L'amplitude thermique.

$P = 991.18r : M = 27.9 \text{ deg} * C \text{ m} = 10.55 \text{ deg} * C \text{ D}'\text{où } Q * 2 = 194.7$

L'évaluation du quotient (Q2) nous aide à situer la région d'étude de Tizi-Ouzou dans l'étage bioclimatique humide à hiver chaude.

7. La végétation

La végétation de la zone d'étude, située dans la forêt d'Ath Ghobri, se caractérise par une structure stratifiée typique des milieux forestiers méditerranéens, comprenant trois strates principales : arborée, arbustive et herbacée. Un inventaire floristique a été réalisé autour des arbres étudiés afin de déterminer la composition spécifique locale. La strate arborée est dominée par deux espèces principales : le chêne-liège (*Quercus suber* L.) et le chêne zéen (*Quercus canariensis* L.). Ces deux essences se retrouvent en peuplements purs ou mélangés, favorisant ainsi des phénomènes d'hybridation, comme l'ont souligné Quézel et Santa (1962). On observe notamment une forte dynamique compétitive du chêne zéen, qui tend à coloniser progressivement le versant nord au détriment du chêne-liège, phénomène accentué par les pressions anthropiques. La strate arbustive, dense et diversifiée, est composée d'espèces caractéristiques telles que *Erica arborea*, *Cytisus triflorus*, *Genista tricuspidata*, *Rubus ulmifolius*, *Arbutus unedo*, *Viburnum tinus*, *Myrtus communis*, *Pistacia lentiscus*, *Lavandula stoechas*, *Calycotome spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Asparagus acutifolius* et *Cistus monspeliensis*. Enfin, la strate herbacée, bien que relativement peu développée du fait de la compétition pour la lumière et les ressources, est représentée par des espèces telles que *Asphodelus ficaria*, *Geranium robertianum*, *Ficaria verna*, *Fedia cornucopiae*, *Tamus communis*, *Rubia peregrina*, *Ruscus hypoglossum*, diverses Poacées ainsi que des fougères. Cette composition floristique traduit une végétation de type méditerranéen diversifiée, influencée à la fois par des conditions édapho-climatiques locales et les dynamiques naturelles de succession végétale.

8. Présentation de l'exposition de la station aux activités anthropique

Aujourd'hui, les écosystèmes forestiers sont de plus en plus soumis à une pression due aux actions humaines. L'avancement technologique a facilité l'exploitation accrue des ressources

naturelles, notamment celles provenant des forêts. Ces dernières ont une importance capitale pour la préservation de la qualité de l'air et de l'eau, ainsi que pour l'approvisionnement en ressources alimentaires, énergétiques et matérielles. Cette exploitation est intensifiée par l'expansion démographique et le développement économique, générant une requête croissante en ressources naturelles pour satisfaire les besoins des communautés locales.

La station d'étude montre de nombreux indices palpables d'anthropisation. On note spécialement des signes d'incendies, des traces de pâturage dues au passage fréquent de bétail, une utilisation régulière du liège, ainsi que des accumulations de déchets, notamment des bouteilles en verre. Ces indicateurs montrent une forte pression humaine, qui pourrait déséquilibrer la dynamique écologique locale et diminuer les services écosystémiques fournis par cet environnement.



Figure 14: Effet du pâturage sur la structure de la végétation en sous-bois (original 2025) .



Figure 15 : Anthropisation du milieu forestier par des dépôts de déchets solides (Original 2025)

Échantillonnage

L'échantillonnage du sol a été réalisé le 3 décembre 2024, durant la période automnale potentiellement humide.

Choix des Arbres

Cinq arbres de chêne-liège adultes, apparemment sains et représentatifs du peuplement de la station, ont été sélectionnés de manière aléatoire. Les arbres ont été numérotés (Arbre 1, 2, 3, 4, 5) pour assurer la traçabilité des échantillons.

Prélèvement des Échantillons de Sol

Pour chaque arbre sélectionné, des échantillons de sol ont été prélevés au niveau de la rhizosphère, c'est-à-dire le sol adhérant directement aux racines fines. Le prélèvement a été effectué à deux niveaux de profondeur distincts :

- * Niveau 1 (N1) : 0 - 10 cm de profondeur.
- * Niveau 2 (N2) : 10 - 20 cm de profondeur.

La méthode de prélèvement est une excavation douce autour des racines. Au total, 10 échantillons de sol (5 arbres x 2 profondeurs) ont été collectés.

Conditionnement et Préparation des Échantillons

Après leur prélèvement, les échantillons de sol ont été conditionnés dans des sacs en plastique étiquetés et transportés au laboratoire.

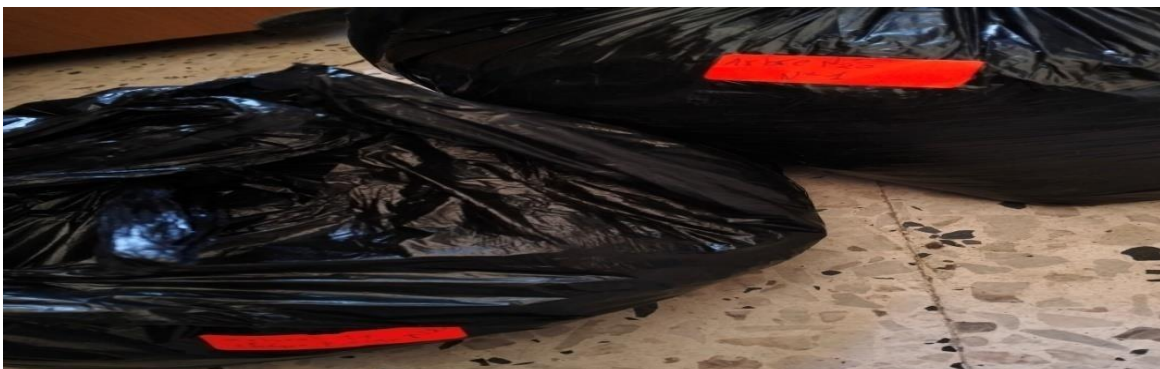


Figure N° 16: Sacs étiquetés des échantillons récoltés.

Analyses physicochimiques en laboratoire

Les échantillons de sol ont été préparés en laboratoire par séchage à l'air, tamisage pour éliminer les débris végétaux et les cailloux, puis broyage fin pour homogénéiser le matériel. Les analyses suivantes ont été réalisées :

Mesure de la teneur en eau

La teneur en eau du sol a été déterminée par la méthode gravimétrique. 10g de sol frais ont été pesés avec précision (Poids frais). Les échantillons ont ensuite été séchés dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures, ou jusqu'à l'obtention d'un poids constant (Poids sec). La teneur en eau (TE) a été calculée selon la formule :

$$TE (\%) = (\text{poids frais} - \text{poids sec}) / \text{poids sec} * 100$$

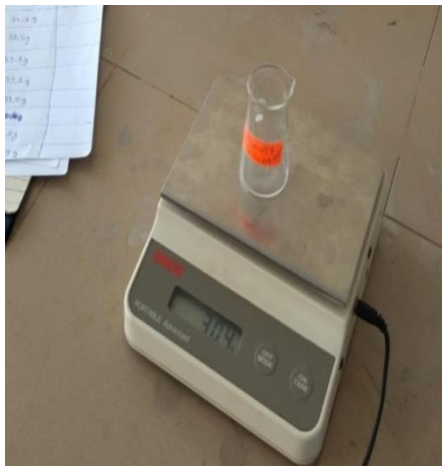


Figure N°17 : Le poids du bécher vide.



Figure N° 18: Les 10g du sol.

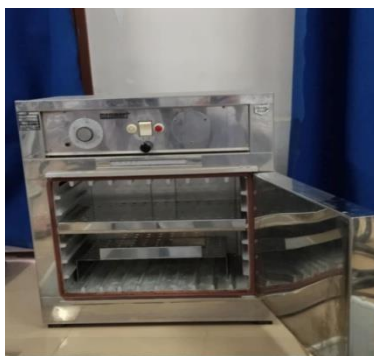


Figure N°19:L'étuve.



Figure N° 20: Un dessiccateur.



Figure N° 21: Pesé le sol une autre fois

Potentiel d'hydrogène (PH)

Ph eau

Nous avons introduit 10g de terre, soigneusement séchée et tamisée, dans les béciers avant d'y verser 25 ml d'eau distillée. Nous avons ensuite placé le tout dans un agitateur pendant 1 à 2min, laissé reposer pendant 30 minutes. Finalement, à l'aide d'un pH-mètre, nous avons déterminé le pH des solutions obtenues.



Figure N° 22: Pesé du sol.



Figure N° 23: L'eau distillée.



Figure N° 24: Mesure du Ph

(avec un ph mètre).

Ph KCL

Nous avons répété la même expérience en utilisant le pH de l'eau, mais nous avons substitué l'eau distillée par le KCL.

Nous avons combiné de KCL avec 25ml d'eau purifiée avec les 10g de sol. Nous avons secoué le mélange pendant 1 à 2 minutes et l'avons laissé reposer pendant 30 minutes afin de mesurer son pH à l'aide d'un pH-mètre.

Carbone Organique (%) :

La teneur en matière organique du sol a été estimée par la méthode de la calcination (perte au feu). 10 g de sol séché à l'étuve (Poids sec) ont été pesés dans des creusets en porcelaine. Les creusets ont ensuite été placés dans un four à moufle et chauffés à 550°C pendant 4 heures pour incinérer la matière organique. Après refroidissement dans un dessiccateur, les creusets ont été pesés à nouveau (Poids calciné). La matière organique (MO) a été calculée selon la formule :

$$MO(\%) = \frac{\text{Poids sec} - \text{poids calciné}}{\text{poids sec}} * 100$$

La teneur en carbone organique est généralement estimée à partir de la matière organique en divisant par un facteur de 1,724 , (facteur de Van Bemmelen), bien que ce facteur puisse varier.



Figure N° 25 : Pesé des creusets vides.



Figure N°26 : Mettre les creusets dans l'étuve.



Figure N°27 : Refroidissement dans un dessiccateur



Figure N°28 : pesé les creusets une autre fois.

Conductivité Électrique (CE) :

Nous avons procédé à la tamisation du sol avec un tamis de 2 mm, puis réparti 10 g de sol dans chaque bécher pour tous les échantillons. Les échantillons ont été placés dans des béchers et mis à l'étuve pendant 24 heures, après quoi nous avons effectué les pesées. Nous avons ensuite ajouté 50 ml d'eau distillée, mélangé manuellement pendant 30 minutes, laissé reposer pour 30 minutes et filtré afin d'éclaircir la solution. Enfin, nous avons immergé l'électrode dans la solution claire. Et finalement, mesurer la conductivité électrique avec un conductimètre.

La conductivité électrique été mesurée et exprimée en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et ms. La température de mesure était de 20°C.



Figure° 29: Tamisation du sol.

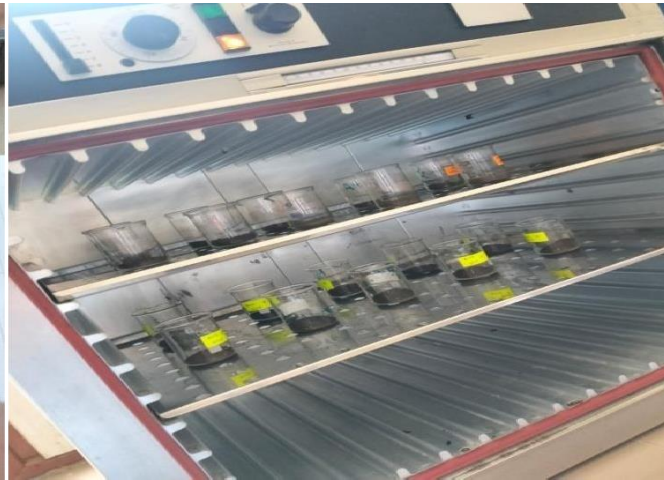


Figure N°30 : mettre les béchers dans l'étuve 24h



Figure N°31 : Filtrage de la solution

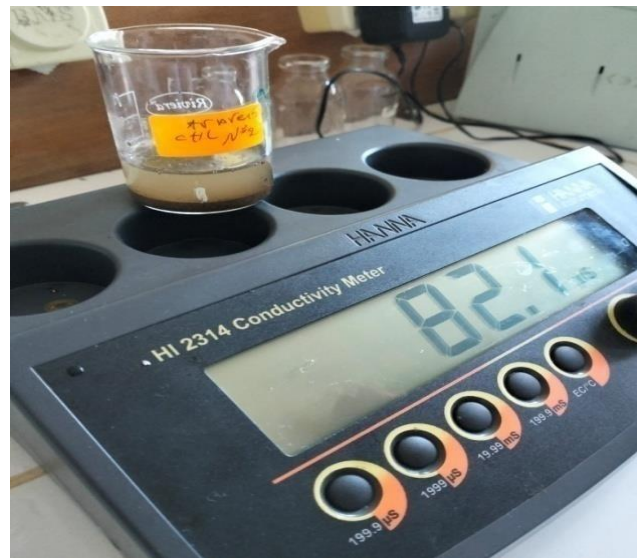


Figure N° 32: mesure de la conductivité. électrique.

Chapitre III:

Résultats

I. Résultats :

Ce chapitre présente les résultats des analyses physicochimiques réalisées sur les échantillons de sol prélevés dans la rhizosphère du chêne-liège (*Quercus suber* L.) à Ath Ghobri. Les données sont présentées pour chaque paramètre mesuré (teneur en eau, pH eau, pH KCl, matière organique et conductivité électrique), en mettant en évidence les variations entre les deux profondeurs d'échantillonnage (N : - cm et N : - cm) et la variabilité observée entre les différents arbres. Les analyses statistiques descriptives et comparatives sont utilisées pour interpréter ces observations.

I.1. Mesures de la teneur en eau du sol :

Les mesures de la teneur en eau du sol ont révélé une humidité globalement faible dans la rhizosphère du chêne-liège, avec des variations notables entre les arbres et les profondeurs. Le Tableau présente les teneurs en eau détaillées pour chaque arbre et chaque niveau d'échantillonnage.

Tableau 6: Variation de la teneur en eau du sol (%) selon deux profondeurs d'échantillonnage sous différents chênes lièges.

Arbres	Niveaux d'échantillonnage	Teneur en eau du sol (%)
1	Niveau 1	8,35
	Niveau 2	4,79
2	Niveau1	3,03
	Niveau2	2,28
3	Niveau 1	2,01
	Niveau2	2,31
4	Niveau 1	3,64
	Niveau 2	2,70
5	Niveau 1	2,89
	Niveau 2	2,45

Les teneurs moyennes en eau du sol, comparées entre les deux profondeurs, montrent une humidité plus élevée en surface (Niveau 1) qu'en profondeur (Niveau 2), comme illustré dans le Tableau 7.

Tableau 7: Comparaison des teneurs moyennes en eau du sol selon deux niveaux de profondeur sous chênes lièges.

Profondeur du sol	Teneur en eau du sol moyenne (%)
Niveau1(0-10 cm)	8.35
Niveau(10-20)	4.79

Ces résultats indiquent une humidité décroissante avec la profondeur, suggérant une accumulation d'humidité en surface liée à des apports récents, à la litière organique et à une évaporation réduite sous couvert. En profondeur, la baisse d'humidité pourrait s'expliquer par une infiltration limitée, une absorption racinaire plus marquée ou une moindre capacité de rétention [30]. Ce gradient vertical est caractéristique des sols forestiers méditerranéens, influencé par la texture du sol, les précipitations saisonnières et le microclimat local [29].

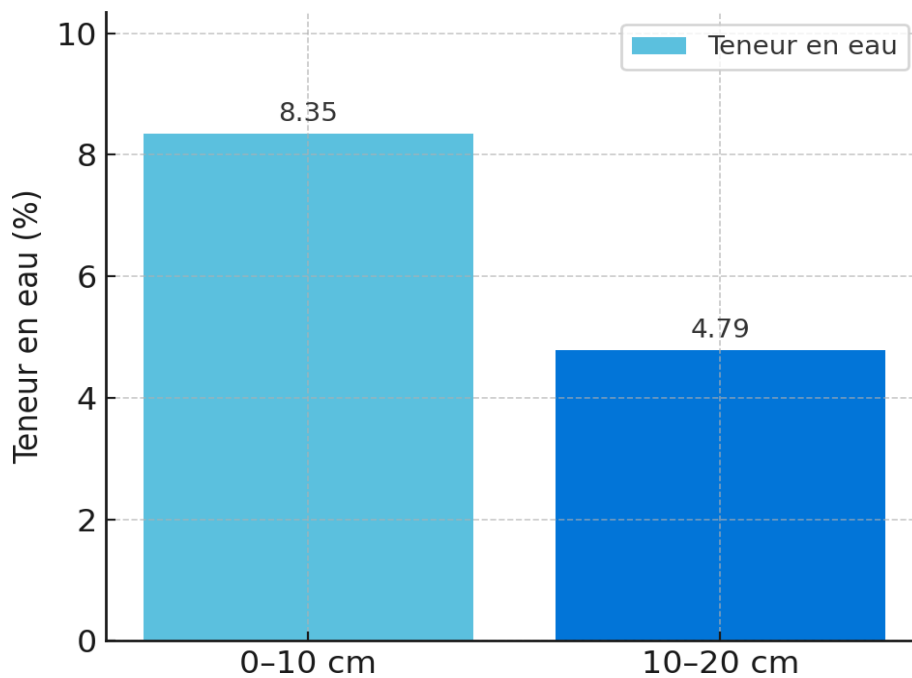


Figure 33 : Variation de la teneur en eau du sol selon la profondeur N 1 et N2.

Analyse comparative :

La variation de la teneur en eau du sol entre 0–10 cm et 10–20 cm reflète une accumulation d'humidité en surface, liée à des apports récents, à la litière organique et à une évaporation réduite sous couvert. En profondeur, la baisse d'humidité s'expliquerait par une infiltration limitée, une absorption racinaire plus marquée ou une moindre capacité de rétention. Ce gradient vertical est typique des sols forestiers méditerranéens sous chêne-liège, influencés par la texture du sol, les précipitations saisonnières et le microclimat local.

. pH du sol (pH eau et pH KCl)

I.2 Mesures de Ph eau :

Les valeurs de pH de l'eau révèlent la présence d'un sol légèrement acide (5,96,9) sous le chêne-liège, une caractéristique typique des écosystèmes forestiers méditerranéens. Le pH est généralement plus élevé au niveau superficiel (Niveau 1) qu'à une profondeur plus importante (Niveau 2), ce qui indique une acidification verticale associée à la décomposition de la litière et au déplacement des composants minéraux.

Tableau 8 :Variation du pH de l'eau du sol en fonction de la profondeur sous différents chênes lièges :

Arbres (n°)	Niveaux d'échantillonnage	PH eau
1	Niveau1	6,9
	Niveau2	6,7
2	Niveau1	5,9
	Niveau2	5,5
3	Niveau1	6,4
	Niveau2	5,5
	Niveau1	6,5

4	Niveau2	6,4
5	Niveau1	6,7
	Niveau2	6,3

Tableau 9 : Comparaison des pH moyens du sol selon deux profondeurs sous chênes lièges : implications pour la dynamique édaphique :

Profondeur (cm)	PH eau moyenne
Niveau1 (0-10)	6.48
Niveau 2 (10–20)	6.08

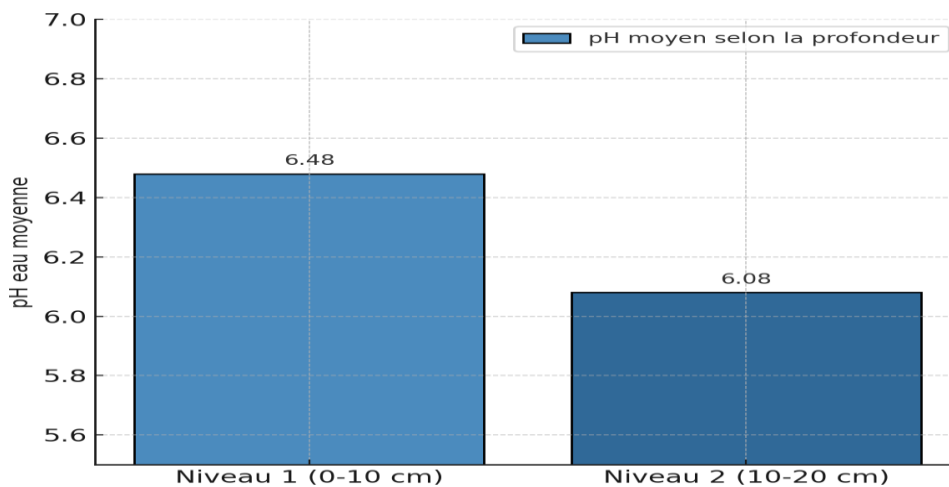


Figure 34 :Variation du Ph eau moyenne du sol selon la profondeur N1 et N2 sous chêne lièges.

Analyse comparative :

La comparaison des pH moyens entre les deux niveaux montre une variation significative : le pH est plus élevé en surface (6,48) qu’en profondeur (6,08), soit une différence de 0,4 unité. Cette acidification en profondeur peut être attribuée à une accumulation de matière organique et de bases échangeables en surface, ainsi qu’à une mobilité plus importante des ions H⁺ et Al³⁺ dans les couches inférieures. Une telle distribution verticale est typique des sols forestiers

méditerranéens, où la dynamique du pH est influencée par la litière, les précipitations et l'activité biologique.

I.3. Mesures dePH kcl :

- Le pH du sol varie entre 3,8 et 5,0, indiquant un sol globalement acide.
- On observe une tendance claire où le pH est plus élevé en surface (Niveau 1) qu'en profondeur(Niveau2).
- Cette différence peut être liée à l'accumulation de matière organique en surface et à l'activité microbienne.

Tableau 10 : Variation du pH-KCl du sol selon l'état du sol et la profondeur N1 ET N2 sous différents chênes lièges :

Arbres	Vieux d'échantillonnage	pH KCl
1	Niveau1	4,7
	Niveau2	4,9
2	Niveau1	4,2
	Niveau2	3,8
3	Niveau1	4,4
	Niveau2	4,0
4	Niveau1	4,9
	Niveau2	4,70
5	Niveau1	4,7
	Niveau2	4,2

Tableau 11 : Comparaison des pH-KCl moyens du sol selon deux profondeurs d'échantillonnage sous chênes lièges :

Profondeur (cm)	PH kcl moyenne.
Niveau1 (0-10)	4,38
Niveau 2 (10–20)	4,26

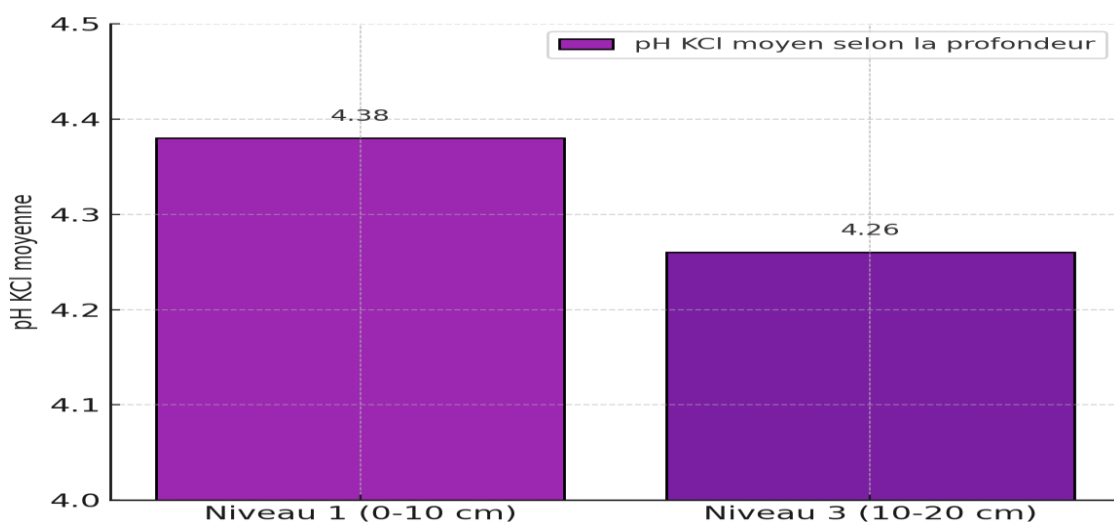


Figure 35 : Variation du pH KCl moyen du sol selon la profondeur N1 ET N2 sous chênes lièges.

Analyse comparative :

La variation du pH (KCl) entre les deux profondeurs est légère : le pH est en moyenne de 4,38 en surface (0–10 cm) contre 4,26 en profondeur (10–20 cm), soit une différence de 0,12 unité. Cette différence n'est pas significative, mais elle peut néanmoins suggérer une acidification progressive du sol en profondeur, souvent liée à une moindre activité biologique, à une faible teneur en matière organique et à une accumulation d'ions H^+ et Al^{3+} dans les couches inférieures. Ce comportement est typique des sols acides en milieu forestier méditerranéen, où les litières acides, la décomposition lente et la faible réserve minérale favorisent un pH faible, surtout mesuré en KCl.

I.4 Mesures de la matière organique :

Les résultats montrent une variabilité notable de la matière organique dans les sols prélevés sous différents chêne-liège. Les teneurs en carbone varient de 1,48 % à 7,58 %, révélant des différences significatives entre les arbres, mais aussi entre les deux points de prélèvement d'un même arbre.

Globalement, les arbres 3, 4 et 1 présentent des pourcentages de carbone plus élevés dans les échantillons N°1, tandis que c'est l'inverse pour l'arbre 20. Ces différences peuvent être liées à des facteurs micro environnementaux (apport de litière, humidité, structure du sol) et à l'activité biologique locale. Ce qui correspond aux processus attendus en milieu forestier : accumulation de litière, forte activité microbienne et enracinement superficiel des espèces ligneuses telles que le chêne-liège (*Quercus suber*).

Cette hétérogénéité met en évidence l'influence des arbres sur la qualité organique du sol, et souligne l'importance de l'échelle spatiale dans les études écologiques des sols forestiers.

Tableau 12 : Teneur en carbone organique (%) du sol selon la profondeur sous chêne liège :

Arbres(n°)	Niveaux d'échantillonnages	Carbone (%)
1	Niveau1	7,58
	Niveau2	4,60
2	Niveau1	2,91
	Niveau2,	2,70
3	Niveau,1	3,52
	Nivea,u2,	2,62
4	Nivau1	3,33
	Niveau2	1,78
5	Niveau1	1,76
	Niveau2	2,89

Tableau 13 : – Comparaison des teneurs moyennes en carbone organique du sol selon la profondeur sous chêne-liège (*Quercus suber*) :

Profondeur (cm)	Carbone moyenne (%)
Niveau1 (0-10)	4,65
Niveau 2 (10–20)	3,33

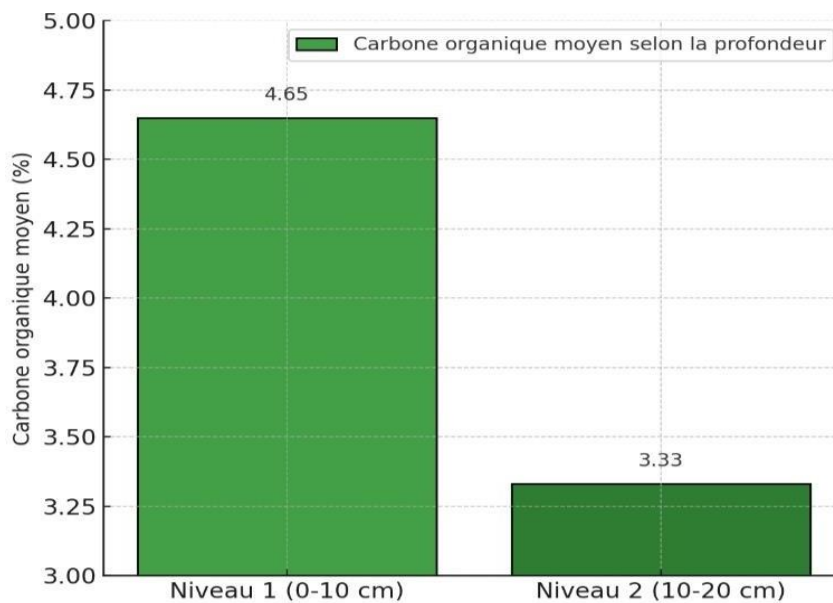


Figure 36: Variation des teneurs moyenne en carbone organique du sol deux profondeurs N1 et N2 sous chêne-liège.

Analyse comparative :

Le carbone organique diminue de 4,65% à 3,33% entre 0-10 cm et 10-20 cm, avec une variance plus faible en surface, traduisant une répartition plus homogène du Carbone dans la Couche Supérieure et une hétérogénéité accrue en profondeur. Cette double lecture (moyenne et variance) met en évidence une stratification verticale nette du carbone, reflet des processus écologiques propres aux sols forestiers méditerranéens.

I.5. Mesures de la conductivité :

Les résultats montrent une variabilité marquée de la conductivité électrique des sols sous chênes lièges, liée aux individus et aux niveaux de prélèvement. Les valeurs plus élevées en

surface traduisent une influence probable de la litière, de l'humidité et de l'activité racinaire. Ces différences reflètent l'impact local des arbres sur la composition ionique du sol et confirment leur rôle structurant dans les écosystèmes méditerranéens.

Tableau 14 : Variation de la conductivité électrique du sol selon la profondeur d'échantillonnage sous différents chênes lièges (*Quercus suber*) :

Arbres	Niveaux d'échantillonnages	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductivité électrique (ms/cm)
1	Niveau1	237	0,23
	Niveau2	132,8	0,13
2	Niveau1	93,8	0,09
	Niveau2	77,4	0,08
3	Niveau1	100,5	0,10
	Niveau2	84,1	0,08
4	Niveau1	89,8	0,09
	Niveau2	82,1	0,08
5	Niveau1	117,7	0,12
	Niveau2	68	0,07

Tableau 15 : Comparaison des conductivités électriques moyennes du sol entre deux niveaux de profondeur sous chênes lièges (*Quercus suber*) :

Niveaux d'échantillonnages	Conductivité moyenne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Niveau 1 (superficiel)	80.9
Niveau 2 (profond)	80.7

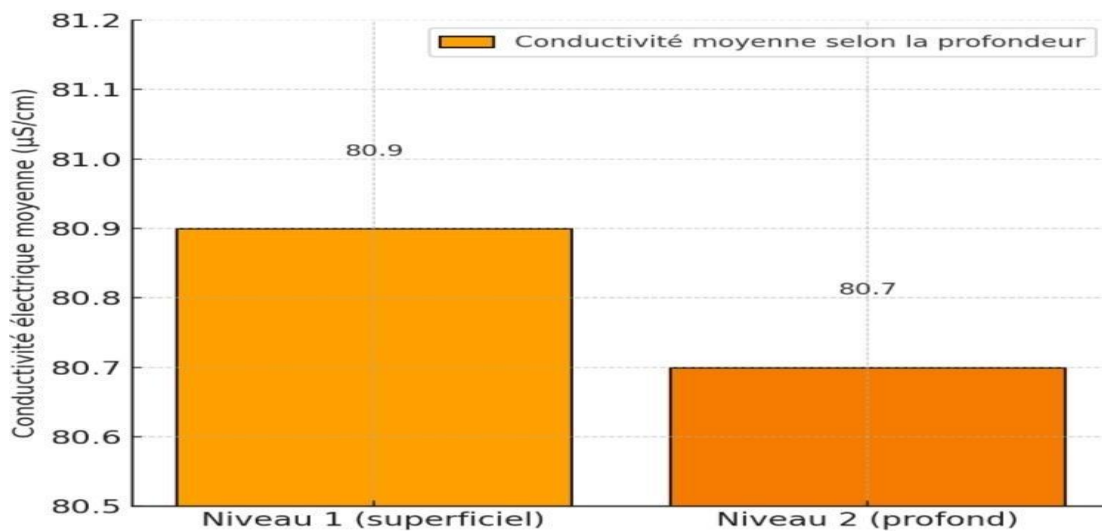


Figure 37: Variation de la conductivité électrique du sol selon la profondeur N1 et N2 sous chênes lièges (*Quercus suber*).

Analyse comparative :

La conductivité électrique moyenne est légèrement plus élevée au niveau 1 (superficiel) qu'au niveau 2 (profond), ce qui suggère une plus grande disponibilité ionique en surface. Cette différence pourrait être liée à l'accumulation de matière organique, à une humidité plus élevée ou à une activité microbienne plus intense en surface sous les chênes lièges. Ces observations appuient le rôle structurant des horizons superficiels dans la dynamique physico-chimique des sols forestiers méditerranéens.

Calcul de l'écart type des résultats:

Formule utilisée :

$$\sigma = \sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2 / n)}$$

σ : écart type

x_i : valeur individuelle observée

\bar{x} : moyenne arithmétique des valeurs

n : nombre total d'observations

Σ : somme de toutes les valeurs de la série

1. Teneur en eau du sol (%)

Arbre Niveau 1 (0–10 cm) Niveau 2 (10–20 cm)

A1	8,35	4,79
A2	3,03	2,28
A3	2,01	2,31
A4	3,64	2,70
A5	2,89	2,45

Moyenne N1 = 3,98 Écart type N1 = 2,24
Moyenne N2 = 2,90 Écart type N2 = 0,95

2. pH eau

Arbre Niveau 1 (0–10 cm) Niveau 2 (10–20 cm)

A1	6,9	6,7
A2	5,9	5,5
A3	6,4	5,5
A4	6,5	6,4
A5	6,7	6,3

Moyenne N1 = 6,48 Écart type N1 = 0,34
Moyenne N2 = 6,08 Écart type N2 = 0,49

3. pH KCl

Arbre Niveau 1 (0–10 cm) Niveau 2 (10–20 cm)

A1	4,7	4,9
A2	4,2	3,8
A3	4,4	4,0
A4	4,9	4,7
A5	4,7	4,2

Moyenne N1 = 4,58 Écart type N1 = 0,25
Moyenne N2 = 4,32 Écart type N2 = 0,42

4. Matière organique (%)

Les valeurs obtenues pour la matière organique présentent une variabilité notable entre les différents arbres étudiés. L'écart-type calculé est de 2,04 % pour le niveau 1 (0–10 cm) et de 1,02 % pour le niveau 2 (10–20 cm). Ces valeurs indiquent une hétérogénéité plus marquée dans les horizons superficiels, probablement due à une accumulation plus importante de litière et de débris organiques en surface, ainsi qu'à une activité biologique plus intense dans la rhizosphère immédiate.

Niveau de profondeur

Moyenne (%)

Écart-type

Niveau 1 (0–10 cm)

4,65

2,04

Niveau 2 (10–20 cm)

3,33

1,02

5. Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Pour la conductivité électrique, les résultats montrent également une certaine variabilité entre les échantillons. L'écart-type calculé est de 54,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le niveau 1 (0–10 cm) et de 23,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le niveau 2 (10–20 cm). Cette différence traduit une plus grande fluctuation en surface, liée à la dynamique des ions solubles et aux variations de la teneur en matière organique, souvent plus élevée dans les premiers centimètres du sol.

Niveau de profondeur

Moyenne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Écart-type

Niveau 1 (0–10 cm)

127,76

54,7

Niveau 2 (10–20 cm)

88,88

23,4

Ainsi, les écarts-types obtenus confirment la variabilité spatiale verticale des paramètres physicochimiques étudiés, particulièrement marquée dans la couche superficielle du sol sous chêne-liège. Cette hétérogénéité reflète l'influence de la rhizosphère sur la distribution des éléments nutritifs et la dynamique de la matière organique

Chapitre IV : Discussion

Discussion

Ce chapitre vise à interpréter les résultats obtenus concernant les propriétés physicochimiques de la rhizosphère du chêne-liège à Ath Ghobri, en les confrontant aux connaissances scientifiques établies. Il s'agit de discuter des implications écologiques des gradients verticaux et de la variabilité spatiale observés, de positionner cette étude par rapport à la littérature existante, et d'identifier les limites de la recherche ainsi que les perspectives futures.

1- Caractérisation des gradients verticaux et implications écologiques

Les résultats de cette étude mettent en évidence des gradients verticaux prononcés pour la plupart des propriétés physicochimiques analysées dans la rhizosphère du chêne-liège. Ces gradients sont le reflet de processus écologiques fondamentaux qui façonnent l'environnement du sol.

1.1 Humidité du sol : un facteur limitant et structurant

La teneur en eau du sol, globalement faible et diminuant avec la profondeur, est caractéristique des sols méditerranéens durant les périodes sèches ou en fin de saison de croissance. La concentration d'humidité en surface (N1) est attribuable à l'interception des précipitations récentes par la litière et le couvert végétal, réduisant l'évaporation directe, ainsi qu'à une absorption racinaire potentiellement moins intense dans les premiers centimètres. En profondeur (N2), la baisse d'humidité est liée à l'infiltration, au drainage et à l'absorption active par le système racinaire profond du chêne-liège, adapté à la recherche d'eau en profondeur.

Ces gradients d'humidité ont des implications écologiques majeures. L'eau est le principal solvant et transporteur de nutriments dans le sol, et sa disponibilité conditionne directement l'activité microbienne et la pédofaune. Une humidité plus élevée en surface favorise une activité biologique plus intense, essentielle à la décomposition de la matière organique et au recyclage des nutriments. En période de sécheresse, la faible humidité en profondeur peut limiter l'absorption des nutriments et induire un stress hydrique pour les plantes, bien que le chêne-liège soit particulièrement résilient à ces conditions .

1.2. pH du sol : un environnement acide favorable

Les sols de la rhizosphère du chêne-liège à Ath Ghobri sont caractérisés par une acidité générale, confirmée par les mesures de pH eau (légèrement acide) et de pH KCl (acide). Cette

acidité est typique des sols développés sur substrats siliceux et sous couvert forestier de chêne-liège, qui produit une litière acide . Le pH eau, reflétant l'acidité active, est légèrement plus élevé en surface, tandis que le pH KCl, indicateur de l'acidité potentielle, montre une légère tendance à l'acidification en profondeur. Cette différence entre pH eau et pH KCl est attendue et souligne la capacité tampon du sol .

L'acidité du sol a des conséquences importantes sur la disponibilité des nutriments et l'activité biologique. Dans les sols acides, la disponibilité de certains macronutriments comme le phosphore peut être réduite, tandis que celle de micronutriments comme le fer et le manganèse est augmentée. L'acidité favorise également le développement de certaines communautés microbiennes, notamment les champignons, qui jouent un rôle crucial dans la décomposition de la matière organique et les associations mycorhiziennes avec le chêne-liège . La légère acidification en profondeur peut être due au lessivage des bases et à l'accumulation d'ions H^+ et Al^+ dans les couches inférieures, processus courants dans les sols forestiers acides .

1.3. Matière organique : moteur de la fertilité du sol

La matière organique du sol (MOS) présente un gradient vertical marqué, avec des concentrations significativement plus élevées en surface (N1) qu'en profondeur (N2). Cette distribution est universelle dans les écosystèmes forestiers et s'explique par l'apport continu de litière (feuilles, branches) en surface et par l'activité biologique intense qui y décompose cette matière . La variabilité inter-arbres de la MOS souligne l'influence micro-environnementale de chaque individu de chêne-liège, notamment par la quantité et la qualité de la litière qu'il produit et par l'activité de son système racinaire superficiel.

La MOS est le pilier de la fertilité du sol. Elle améliore la structure du sol, sa capacité de rétention d'eau et de nutriments, et constitue la principale source d'énergie pour les microorganismes du sol . Une teneur élevée en MOS en surface favorise une activité biologique intense, essentielle au recyclage des nutriments et à la formation de l'humus. La diminution de la MOS en profondeur reflète une activité de décomposition moins intense et une moindre accumulation de résidus organiques .

1.4. Conductivité électrique : indicateur de la disponibilité ionique

La conductivité électrique (CE) du sol est globalement faible, ce qui indique une faible salinité et est favorable à la croissance du chêne-liège. La légère augmentation de la CE en surface(N1)

par rapport à la profondeur(N2) peut être attribuée à une plus grande disponibilité ionique dans l'horizon superficiel. Cette disponibilité est le résultat de la minéralisation de la matière organique, qui libère des ions dans la solution du sol, et de l'activité racinaire qui peut modifier la concentration ionique locale.

Une CE faible est généralement un signe de bonne santé du sol, indiquant l'absence de stress salin. Les variations observées, bien que faibles, confirment le rôle des processus biologiques et chimiques de surface dans la dynamique ionique du sol. Elles peuvent également être influencées par les cycles de lessivage et d'évaporation, qui affectent la concentration des sels dissous .

2. Hétérogénéité spatiale et influence du chêne-liège

Au-delà des gradients verticaux, les données révèlent une variabilité notable des propriétés physicochimiques entre les différents arbres échantillonnés. Cette hétérogénéité spatiale à l'échelle locale est un aspect crucial des écosystèmes forestiers et souligne l'influence individuelle de chaque chêne-liège sur son environnement rhizosphérique immédiat .

Le chêne-liège, en tant qu'espèce dominante, agit comme un ingénieur d'écosystème. Son système racinaire, par ses exsudats, modifie le pH local, la disponibilité des nutriments et la composition des communautés microbiennes. L'apport de litière spécifique à chaque arbre, en termes de quantité et de qualité, influence directement la teneur en matière organique et les processus de décomposition en surface. Cette variabilité peut également être accentuée par des facteurs micro-environnementaux non mesurés, tels que l'exposition au soleil, la microtopographie ou la présence d'autres espèces végétales à proximité.

Cette hétérogénéité spatiale est essentielle pour la biodiversité du sol. Elle crée une mosaïque de micro-habitats, chacun avec des conditions physicochimiques légèrement différentes, favorisant ainsi une plus grande diversité d'organismes du sol, y compris les microorganismes et la pédofaune. Comprendre cette variabilité est donc fondamental pour évaluer la résilience globale de la subéraie et sa capacité à maintenir ses fonctions écologiques.

2.1. Implications écologiques pour la fonctionnalité de l'écosystème

Les gradients verticaux et l'hétérogénéité spatiale des propriétés physicochimiques de la rhizosphère du chêne-liège ont des implications profondes pour la fonctionnalité de l'écosystème forestier méditerranéen.

3. Disponibilité des nutriments

Le pH et la matière organique sont des facteurs clés de la disponibilité des nutriments. L'acidité du sol, bien que limitant la disponibilité de certains éléments, est favorable à d'autres et à l'activité des champignons mycorhiziens, essentiels pour l'absorption des nutriments par le chêne-liège. La concentration élevée de matière organique en surface assure un apport continu de nutriments par la minéralisation, soutenant la croissance des arbres et l'activité biologique du sol. Les gradients verticaux de ces paramètres influencent la distribution des nutriments dans le profil du sol, déterminant où et comment les racines peuvent les acquérir.

4. Activité biologique du sol

Bien que cette étude n'ait pas inclus de mesures directes de l'activité microbienne ou de la pédofaune, les propriétés physicochimiques mesurées sont des prédicteurs fiables de cette activité. L'humidité et la matière organique sont les principaux moteurs de l'activité microbienne et de la pédofaune. Les conditions plus favorables en surface (humidité, MOS) suggèrent une activité biologique plus intense dans cet horizon, contribuant à la décomposition de la litière et au recyclage des nutriments. Le pH, quant à lui, sélectionne les communautés microbiennes et de pédofaune adaptées aux conditions acides. La compréhension de ces conditions abiotiques est donc essentielle pour inférer les dynamiques biotiques du sol.

5. Résilience de l'écosystème

La capacité du chêne-liège à modifier son environnement rhizosphérique et à s'adapter aux gradients verticaux des propriétés du sol contribue à la résilience de l'écosystème. Des sols bien structurés, avec une bonne teneur en matière organique et un pH adapté, favorisent la croissance racinaire et l'établissement de symbioses bénéfiques, renforçant la capacité de l'arbre à faire face aux stress hydriques et aux maladies. La variabilité spatiale, en créant une diversité de micro-habitats, peut également augmenter la résilience globale de la subéraie face aux perturbations, en permettant à différentes populations d'organismes du sol de persister et de s'adapter.

6. Comparaison avec d'autres études

Les résultats obtenus à Ath Ghobri sont cohérents avec de nombreuses études menées sur les sols forestiers méditerranéens et la rhizosphère du chêne-liège. L'acidité des sols sous chêne-liège est une caractéristique bien documentée dans la région méditerranéenne. Les gradients verticaux de matière organique et d'humidité sont également des phénomènes largement observés dans les sols forestiers, reflétant les processus de décomposition et d'infiltration .

Des études antérieures sur la rhizosphère du chêne-liège ont souligné l'importance des propriétés physicochimiques du sol pour le microbiome et la pédofaune. Par exemple, des travaux en Algérie ont montré que les caractéristiques physicochimiques du sol influencent la composition et la répartition de la pédofaune dans les subéraies . Bien que cette étude n'ait pas inclus de données biologiques directes, les inférences faites sur l'activité biologique sont étayées par cette littérature. La variabilité inter-arbres observée pour la matière organique et la conductivité électrique est également un phénomène reconnu, reflétant l'hétérogénéité intrinsèque des écosystèmes forestiers .

Limites de l'étude et perspectives

Cette étude, bien que fournissant des informations précieuses sur les gradients verticaux des propriétés physicochimiques de la rhizosphère du chêne-liège, présente certaines limites. La principale est l'absence de données multi-saisonnières complètes, ce qui limite la compréhension des dynamiques temporelles de ces paramètres. Les données fournies semblent correspondre à un seul point dans le temps, probablement une période sèche, ce qui ne permet pas d'appréhender l'amplitude des variations saisonnières . De plus, l'absence de mesures directes de l'activité microbienne ou de la pédofaune ne permet que des inférences sur les implications biologiques, basées sur la littérature.

L'échantillonnage limité à un seul site (Ath Ghobri) et à un nombre restreint d'arbres (cinq) peut également limiter la généralisation des résultats à l'ensemble des subéraies algériennes ou méditerranéennes. L'absence d'échantillons de sol en vrac (hors rhizosphère) ne permet pas une comparaison directe de l'effet spécifique de la présence des racines du chêne-liège sur les propriétés du sol.

Pour les perspectives de recherche, il serait crucial de mener des études :

Multi-saisonnières : Un suivi régulier des mêmes paramètres sur plusieurs saisons permettrait de mieux comprendre les dynamiques temporelles et l'impact des cycles climatiques.

Intégratives : L'intégration de mesures biologiques (biomasse microbienne, activité enzymatique, composition des communautés microbiennes par séquençage, inventaire de la pédofaune) permettrait de valider les inférences faites sur l'activité biologique et d'établir des corrélations directes entre les propriétés physicochimiques et les communautés vivantes du sol.

Comparatives : Étendre l'échantillonnage à d'autres sites (différents types de sols, expositions, niveaux de perturbation) et inclure des échantillons de sol en vrac permettrait de mieux contextualiser les résultats et d'identifier les facteurs spécifiques à la rhizosphère du chêne-liège.

Sur l'impact des pressions anthropiques : Des études ciblées sur l'effet du surpâturage, des incendies ou d'autres perturbations sur les propriétés physicochimiques et biologiques de la rhizosphère seraient essentielles pour des recommandations de gestion plus précises .

Ces pistes de recherche permettraient d'approfondir la compréhension des dynamiques écologiques de la rhizosphère du chêne-liège et de renforcer les bases scientifiques pour la conservation et la gestion durable de ces écosystèmes précieux.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude a exploré les gradients verticaux des propriétés physicochimiques (teneur en eau, pH eau, pH KCl, matière organique et conductivité électrique) dans la rhizosphère du chêne-liège (*Quercus suber* L.) à Ath Ghobri, en Algérie. En analysant les données issues d'échantillons prélevés à deux profondeurs (- cm et - cm) sous différents individus, nous avons pu caractériser les dynamiques de ce microenvironnement essentiel à la santé des écosystèmes forestiers méditerranéens.

Les résultats ont clairement mis en évidence des gradients verticaux significatifs pour la plupart des paramètres. La teneur en eau et la matière organique sont plus élevées en surface, reflétant l'apport de litière et une activité biologique plus intense dans les horizons superficiels. Le sol présente une acidité générale, typique des subéraies, avec une légère tendance à l'acidification en profondeur. La conductivité électrique, globalement faible, indique une faible salinité du sol, avec des valeurs légèrement plus élevées en surface. La variabilité inter-arbres observée pour certains paramètres souligne l'influence micro-environnementale de chaque individu de chêne-liège sur sa rhizosphère immédiate.

En réponse à notre problématique, ces gradients et cette hétérogénéité ont des implications écologiques profondes pour la fonctionnalité de l'écosystème. Les conditions physicochimiques de surface, plus favorables en termes d'humidité et de matière organique, sont propices à une activité biologique intense, essentielle au recyclage des nutriments et à la fertilité du sol. L'acidité du sol, quant à elle, influence la disponibilité des nutriments et sélectionne les communautés microbiennes et de pédofaune adaptées à ces conditions. Ces dynamiques contribuent à la résilience du chêne-liège face aux stress environnementaux, en favorisant un environnement racinaire sain et fonctionnel.

Cette étude apporte une contribution à la compréhension des dynamiques du sol dans la rhizosphère du chêne-liège, en confirmant l'importance des gradients verticaux et de l'hétérogénéité spatiale. Elle souligne le rôle du chêne-liège en tant qu'ingénieur d'écosystème, façonnant activement les propriétés de son environnement racinaire. Les résultats sont cohérents avec la littérature existante sur les sols forestiers méditerranéens, renforçant les connaissances sur ces écosystèmes fragiles.

Cependant, les limites de cette étude, notamment l'absence de données multisaisonniers complètes et de mesures biologiques directes, ouvrent la voie à de nombreuses perspectives de

recherche. Des suivis à long terme, l'intégration d'analyses microbiennes et de la pédofaune, ainsi que des études comparatives sur différents sites et sous diverses pressions anthropiques, permettraient d'approfondir notre compréhension des interactions complexes au sein de la rhizosphère du chêneliège. Ces recherches futures sont essentielles pour développer des stratégies de conservation et de gestion durable plus robustes pour les précieuses subérais méditerranéennes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abbara, M. (2018). Étude morphologique et écologique du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en Algérie [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie].

Allalou, S. (1986). Étude écologique et floristique de la forêt d'Ath Ghobri (Tizi-Ouzou) [Mémoire d'Ingénieur, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie].

Barea, J.-M., Pozo, M. J., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1761–1778. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri197>

Bazot, S. (2005). Fonctionnement et diversité microbienne de la rhizosphère : une interface plante-sol hautement dynamique [Thèse de doctorat, INRA, France].

Belgherbi, B., & Benabdeli, K. (2015). Écologie du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en Algérie : Répartition et conditions écologiques [Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, Algérie].

Benhalima, S. (2016). Structure et dynamique des peuplements subéricoles de Kabylie [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie].

Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y., & Boeuf, G. (2010). *The Mediterranean Region: Biological Diversity in Space and Time* (2^e éd.). Oxford University Press.

Bouchaour-Djabeur, S., & al. (2021). Cartographie et état actuel des subéraies algériennes. *Revue Algérienne d'Écologie*, 12(3), 45–57.

Bouhraqua, M., et al. (2010). *Subéraies d'Algérie : structure, extension et enjeux écologiques*. Institut National de Recherche Forestière, Alger.

Boudy, P. (1955). *Économie forestière nord-africaine* (Tome IV). Paris : Larose.

Buttler, A. (1992). *Écologie du sol et fonctionnement des écosystèmes*. Paris : Masson.

Calvet, R. (2013). *Le sol : Propriétés et fonctions*. Paris : Dunod.

Cantat, A., & Piazzetta, R. (2005). *Guide du chêne-liège*. Toulon : Institut Méditerranéen du Liège (IML).

Cailler, J., & Morandi, M. (2024). *Flore forestière méditerranéenne et identification botanique du chêne-liège*. Paris: CIRAD Éditions.

Cheng, W. (2008). Rhizosphere priming effect: Its functional relationships with microbial turnover, evapotranspiration, and C–N cycles. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(3), 716–724. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.09.002>

Davet, P. (1996). *Vie microbienne du sol et production végétale*. Paris : INRA Éditions.

De Carne, C., et al. (2010). The rhizosphere: A key functional zone for plant–soil interactions.

Comptes Rendus Biologies, 333(2), 99–109.

Delaunoy, M. (1976). Méthodes d'analyse physico-chimique des sols agricoles. Liège : Presses Universitaires de Liège.

Direction Générale des Forêts (DGF). (2009). Statistiques et gestion durable des subéraies algériennes.

Alger : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: Disentangling the complexities of the soil microbiome.

Nature Reviews Microbiology, 15(9), 579–590. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>

Gholami, A., Shahsavani, S., & Nezarat, S. (2012). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth, and yield of maize. *World Applied Sciences Journal*, 12(9), 1413–1419.

Gil, L., & Varela, M. C. (2008). Cork oak woodlands on the edge: Ecology, adaptive management and restoration. Washington D.C. : Island Press.

Guettas, R. (2012). Caractéristiques subéroïdes du liège et influence de l'environnement [Mémoire de Master, Université Saad Dahleb de Blida, Algérie].

Hiltner, L. (1904). Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie.

Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft, 98, 59–78.

Hinsinger, P., Bengough, A. G., Vetterlein, D., & Young, I. M. (2009). Rhizosphere: Biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant and Soil*, 321(1–2), 117–152. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9885-9>

Institut Méditerranéen du Liège (IML). (2005). Fiches écologiques et techniques du chêne-liège et de ses habitats. Lisbonne : IML Press.

IPROCOR. (1999). Le liège et ses applications industrielles. Lisbonne : Institut Portugais du Liège.

Jenks, M. A., & Hasegawa, P. M. (2014). Plant adaptation to environmental stress. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 21–44. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040133>

Kaioua, A. (2015). Les interactions biologiques dans la rhizosphère du blé tendre (*Triticum aestivum*) [Mémoire de Master, Université Mohamed Seddik Ben Yahia de Jijel, Algérie].

Lamey, P. (1893). Étude sur les systèmes racinaires du chêne-liège et de ses variétés méditerranéennes. Montpellier : Éditions Universitaires de France.

Manneville, O., et al. (1999). Pédologie et environnement. Paris : Presses de l'École des Mines.

Maria, L., Inácio, L., & al. (2021). Global cork production and sustainability perspectives. *Forests*, 12(9), 1125. <https://doi.org/10.3390/f12091125>

Meddour, R. (2010). Bioclimatologie de la Kabylie djurdjurienne et typologie des forêts de chêne-liège [Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie].

Metna, A. (2003). Étude morphologique des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.) [Mémoire de Master, Université Frères Mentouri de Constantine, Algérie].

Nardini, A., et al. (1999). Water relations and hydraulic characteristics of *Quercus suber* L. *Trees*,

13(5), 258–264. <https://doi.org/10.1007/PL00009762>

Office National des Statistiques (ONS). (2006). Compendium national sur les statistiques de l'environnement – Algérie 2006. Alger : ONS. <https://www.ons.dz/IMG/pdf/CompenAlg2006.pdf>

Pausas, J. G., & Ribeiro, E. (2017). Fire and plant diversity at the global scale. *Global Ecology and Biogeography*, 26(8), 889–897. <https://doi.org/10.1111/geb.12596>

Pereira, H. (2007). *Cork: Biology, production and uses*. Amsterdam : Elsevier.

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

Rolland, J. (1988). *Introduction à la science du sol*. Paris : Masson.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer* (9^e éd.). Paris : Dunod.

Saccardy, J. (1938). *Étude botanique du chêne-liège et des subéraies méditerranéennes*. Montpellier : Institut Botanique de Montpellier.

Tchakpa, V. (2011). *La matière organique des sols : Rôles et dynamique* [Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique].

Touyre, A. (2015). *Biologie du sol et dynamique microbienne* [Thèse de doctorat, Université Toulouse III – Paul Sabatier, France].

Van Elsas, J. D., et al. (2007). Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104(25), 10013–10018. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611252104>

Zarroug, S., et al. (2022). Phytochemical composition and antioxidant potential of *Quercus suber* L. acorns. *Industrial Crops and Products*, 176, 114312. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114312>

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche écologique visant à caractériser les propriétés physicochimiques de la rhizosphère du chêne-liège (*Quercus suber* L.) au sein du massif forestier de Béni Ghobri (Tizi-Ouzou, Algérie). L'étude s'est focalisée sur les paramètres essentiels tels que le pH (eau et KCl), la teneur en matière organique, la conductivité électrique et l'humidité du sol, à deux profondeurs (0–10 cm et 10–20 cm). À travers une série de prélèvements et d'analyses en laboratoire, la variabilité spatiale et verticale de ces paramètres a été évaluée. Les résultats permettent de mieux comprendre le fonctionnement de la rhizosphère en milieu subéricole, ses implications sur la disponibilité des nutriments, la dynamique microbienne du sol et la résilience de l'écosystème face aux contraintes climatiques et anthropiques.

Mots-clés:

Rhizosphère, *Quercus suber*, Sol forestier, Matière organique, pH, Conductivité électrique, Écologie méditerranéenne, Biodiversité du sol, Stress écologique, Résilience

Abstract

This thesis contributes to the ecological understanding of the physicochemical characteristics of the rhizosphere of corkoak (*Quercus suber* L.) in the Béni Ghobri forest massif (Tizi-Ouzou, Algeria). The study focused on key parameters such as soil pH (water and KCl), organic matter content, electrical conductivity, and moisture, assessed at two depths (0–10 cm and 10–20 cm). Through systematic sampling and laboratory analyses, the vertical and spatial variability of these properties was investigated. The findings offer insights into the functioning of the rhizosphere in corkoak ecosystems, with implications for nutrient availability, microbial activity, and the forest's resilience to climatic and anthropogenic stresses.

Keywords :

Rhizosphere, *Quercus suber*, Forest soil, Organic matter, pH, Electrical conductivity, Mediterranean ecology, Soil biodiversity, Ecological stress, Resilience