

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



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'Obtention Du Diplôme de Master 2

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 zéen (*Quercus Canariensis*) au niveau Du massif
forestier de Béni Ghobri Tizi-Ouzou : implications écologiques.**

Présenté par :

MLLE HARCHAOUI Kenza

Devant le jury composé de :

Examinatrice : Mme AKLIA

Encadreur : MrRAHMANIA

Président : MrOUDJIANE A

M.C.B à l'UMMTO

M.A.A à l'UMMTO

M.C.B à l'UMMTO

Promotion: 2024 / 2025

Remerciements

Nous tenons a remercier en premier DIEU le tout puissant de nous accordé la force , le courage et la volonté afin de pouvoir accomplir ce modeste travaille

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie tout particulièrement Monsieur RAHMANI ABD El Malik mon promoteur , pour sa disponibilité, ses conseils précieux, et l'attention qu'il a portée à mon travail tout au long de cette expérience, Ses remarques pertinentes et son accompagnement ont été déterminants pour l'élaboration de ce projet.

Je souhaite également remercier Monsieur OUDJIANE Ahmed , président du jury , Maître dd conférence (B) a l'université MOULOUD MAAMERI de Tizi-Ouzou (UMMTO) so' intérêt et ses remarques constructives lors de la soutenance

Je remercie aussi Madame AKLI Amel , Maître de conférence (B) a l'université MOULOUD MAAMERI de TIZI-OUZOU (UMMTO) d'avoir accepté de siéger dans ce jury et d'avoir consacré une partie de son temps a examiner ce travail

Je n'oublie pas de remercier les ingénieurs de laboratoire Monsieur BELIBEK Amar ingénieur de laboratoire d'Ecologie et environnement a l'université Mouloud MAAMERI de Tizi-Ouzou (UMMTO) , dont les conseils pratiques dans le cadre de les recherches et Monsieur AIT IZEM ingénieur de laboratoire de production animale de département agronomie a université mouloud Maameri a TIZI-OUZOU

Sur un plan plus personnel, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille et à mes amis, pour leur soutien moral, leur patience et leur encouragement constant tout au long de mon parcours.

À tous, je dis merci.

Dédicas

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont soutenu et accompagné durant mon parcours.

À mes parents, mon frère Anis , pour leur amour inconditionnel, leur patience, leurs sacrifices, et pour m'avoir toujours encouragé à croire en moi , Surtout ma mère Madame HARCHAOUI Nadia , qui a toujours été à mes côtés et m'a soutenue quand j'étais perdue

À ma famille, pour leur soutien moral et leur présence rassurante dans les moments de doute.

A mes copines fidèle qui ont toujours marché à mes côtés, m'ont soutenue dans chaque épreuve, et ne m'ont jamais laissée tomber, quoi qu'il arrive , pour leur amitié sincère, leur humour et leurs encouragements constants.

À toute personne que j'aime et qui est chère pour moi , merci d'être toujours à mes côtés

Listes de figures

Figure 1 : Diagramme de classification détaillé des textures (JAMAGNE , 1997)

Figure 2 : Description du réseau poreux du sol selon la répartition Texturale et structurale (BRAUND et TESSIER , 1996)

Figure 3 : Coupe verticale d'une racine (Guide pédagogique, 2012)

Figure 4 : Vue de la forêt au niveau de El Ainseur d'Ath Ghobri

Figure 5 : Carte géographique de forêt d'Ath Ghobri (Source ; google Maps)

Figure 6 : Végétation dans la station d'El Ainseur

Figure 7 : Diagramme Ombro- thermique de la commune d'Azazga

Figure 8 : L'étage bioclimatique de la station d'el Ainseur projeté sur le climagramme d'Emberger

Figure 9 : Préparation et conditionnement des échantillons de sol pour analyse en laboratoire

Figure 10 : Observation écologique de l'arbre de chêne zeen N03 dors de prélèvement

Figure 11 : Observation écologique de l'arbre de chêne zeen N07 lors de prélèvement

Figure 12 : Observation de l'arbre de chêne zeen N09 lors de prélèvement

Figure 13 : Observation écologique de l'arbre de chêne zeen N 01 lors de prélèvement

Figure 14 : Observation écologique de l'arbre de chêne zeen N14 lors de prélèvement

Figure 15 : Illustration de la mesure de l'humidité

Figure 16 : illustration de la mesure de Ph eau

Figure 17 : Illustration de la mesure de Ph Kcl

Figure 18 : Illustration de la mesure de M.O

Figure 19 : Illustration de la mesure de C.E

Figure 20 : Variation de taux d'humidité % dans le sol de 02 niveaux

Figure 21 : variation de Ph eau du sol à 02 niveaux de profondeur

Figure 22 : variation de Ph Kcl du sol à 02 niveaux de profondeur

Figure 23 : Variation de M.O % du sol à 02 niveaux de profondeur

Figure 24 : Variation de C.E (ms) du sol à 02 niveaux de profondeur

Listes d'abréviation

M.O : Matière organique (Kg de M.O /kg de solide) (%)

C.O Carbone organique (%)

T : temperature..... (°C)

Ph : potentiel hydrique

Ph eau : potentiel hydrique d'un échantillon de sol placé dans l'eau distillée

Ph Kcl : Potentiel hydrique d'un échantillon de sol dans une solution normale de Kcl

$\mu\text{S/cm}$: Micro siemens par centimètre

% : pourcentage

°C : degré celsius

H : heure

Kg : kilo graille

G : gramme

Mm : millimètre

N1 ; Niveau 1

N2 ; Niveau 2

Listes des Tableaux

Tableau 1 : Température moyenne annuelles en C° (2001-2010) (UMMTO _ 2010)

Tableau 2 : Pluviométrie annuelle (2001 – 2010) de la commune d'Azazga en (mm)

Tableau 3 : variation du taux d'humidité du sol en fonction du la profondeur

Tableau 4 : Variation des taux d'humidité de 02 niveaux

Tableau 5 : Variation des mesures du Ph eau du sol en fonction de la profondeur

Tableau 6 : Variation de Ph eau de 02 niveaux

Tableau 7 ; variation des mesures du Ph Kcl du sol en fonction de la profondeur

Tableau 8 : variation de Ph kcl de 02 niveaux

Tableau 9 : variation du taux de M.O % de sol en fonction de la profondeur

Tableau 10 : Variation de M.O% de 02 niveaux

Tableau 11 : Variation des mesures du C.E du sol en fonction de la profondeur

Tableau 12 : Variation de C.E de 02 niveaux

Sommaire

Introduction	1
<i>1-Généralité sur le sol</i>	<i>4</i>
<i>1-Définition et description.....</i>	<i>4</i>
<i>2-Les constituants du sol</i>	<i>5</i>
<i>4- La structure du sol</i>	<i>6</i>
<i>5 -Les caractéristiques chimiques du sol</i>	<i>6</i>
<i>5-1- La conductivité électrique.....</i>	<i>6</i>
<i>5-2- pH du sol</i>	<i>7</i>
<i>5-3--La matière organique</i>	<i>7</i>
<i>5-4-Humidité du sol.....</i>	<i>7</i>
6- Propriétés physicochimiques du sol et leur importance écologique	7
7- Les fonctions du sol.....	7
7-1-Fonctions écologiques	7
7-2-Fonction milieu biologique.....	8
7-3-Fonction environnementale	8
7-4-Fonction puits et source dans les cycles biogéochimiques	8
7-5-Fonction de réservoir biologique.....	8
<i>8- La rhizosphère</i>	<i>8</i>
<i>8-1-Définition de la rhizosphère</i>	<i>8</i>
<i>8 -2- Importance de la rhizosphère</i>	<i>9</i>
<i>8-3-Exsudation dans la rhizosphère</i>	<i>10</i>
<i>9- Importance du sol dans la croissance des végétaux</i>	<i>11</i>

<i>2- généralité sur le Chêne Zeen</i>	11
<i>2-1-Systématique</i>	11
<i>2-2-Caractéristiques botaniques du Chêne zeen</i>	12
<i>2-3-. Aire de répartition</i>	12
<i>2-4 ; Ecologie du Chêne zeen</i>	13
<i>2-5-Exigences écologique du Chêne zeen</i>	13
<i>I -La zone d'étude</i>	16
<i>1-Description de la zone d'étude</i>	16
<i>1-1-Géographie</i>	17
<i>1-2-Géologie</i>	16
<i>1-3- La végétation</i>	17
<i>1-4-Le climat</i>	18
<i>1-5-Couverture pédologique</i>	18
<i>1-6-La température</i>	19
<i>1-7-Précipitations</i>	19
<i>1-8-Diagramme ombro-thermique de Bagnouls et Gaussen</i>	21
<i>1-9-L'étage bioclimatique de la zone d'étude</i>	22
<i>2-Exposition de la station aux différentes activités anthropiques</i>	23
<i>3-Méthode d'échantillonnage</i>	23
<i>3-1- Le choix de la station</i>	24
<i>3-2- période d'échantillonnage</i>	24
<i>3-3-Procédure d'échantillonnage</i>	23
<i>4-Les analyses physicochimiques de sol</i>	26

<i>4-1-L'humidité</i>	28
<i>4-2-Potentiel hydrique (Ph)</i>	28
<i>4-2-1--Ph eau</i>	29
<i>4-2-2-Ph kcl</i>	29
<i>4-3- Matière organique</i>	30
<i>4-5-la conductivité électrique</i>	32
<i>La méthode</i>	32
<i>1-Résultats et discussion</i>	35
<i>1-1-L'humidité du sol</i>	35
<i>1-1-1 _L'écart type</i>	35
<i>1-2-Ph eau</i>	40
<i>1-3-Ph Kcl</i>	40
<i>1-3-1- L'écart type</i>	40
<i>1-4-La matière organique</i>	42
<i>1-4-1-L'écart type</i>	45
<i>1-5-La conductivité électrique</i>	45
<i>1-5-1- L'écart type</i>	46
<i>1- Caractérisation des gradients verticaux et implications écologiques</i>	52
<i>1-1-Humidité du sol</i>	52
<i>Disponibilité conditionne directement l'activité microbienne et la pédofaune (Schimel , 2000)</i>	
<i>1-2-PH du sol, environnement équilibré pour le chêne zéen</i>	50
<i>1-3-Matière organique : un indicateur de fertilité et d'hétérogénéité</i>	53
<i>1-4-Conductivité électrique</i>	53

<i>2-Hétérogénéité spatiale et influence du chêne zéen</i>	<i>53</i>
<i>3-Implications écologiques pour la fonctionnalité de l'écosystème</i>	<i>54</i>
<i>3-1-Disponibilité des nutriments</i>	<i>54</i>
<i>3-2-Activité biologique du sol</i>	<i>54</i>
<i>3-3-Résilience de l'écosystème</i>	<i>55</i>
<i>3-4-Comparaison avec d'autres études</i>	<i>55</i>
<i>3-5-Limites de l'étude et perspectives Cette étude</i>	<i>55</i>
<i>Conclusion générale</i>	<i>58</i>
<i>Références bibliographique</i>	

Introduction

La biodiversité représente l'ensemble des formes de vie – et des gènes et des écosystèmes – et intègre aussi bien les individus, les espèces, que leurs interactions avec leur environnement (**Joyard, 2022**). Elle constitue la base du fonctionnement des écosystèmes, qui sont des systèmes complexes où les organismes vivants interagissent de manière dynamique avec leur milieu physique (sol, eau, climat). Dans le contexte méditerranéen, les écosystèmes forestiers, en particulier ceux dominés par le chêne zéen (*Quercus canariensis*), jouent un rôle fondamental : ils assurent la régulation du cycle de l'eau, stockent le carbone, préservent la biodiversité et limitent l'érosion des sols. Toutefois, ces milieux naturels sont fragilisés par les changements climatiques, les incendies fréquents et la pression croissante des activités humaines, rendant la nécessité urgente d'une gestion durable et intégrée

Les forêts méditerranéennes couvrent environ 81 millions d'hectares, représentant 9,4 % de la surface forestière mondiale. Elles sont majoritairement composées de feuillus (environ 60 %) (**Mugnossa et al., 2000**), dont certains, comme le chêne zéen, possèdent une valeur écologique exceptionnelle. Malheureusement, ces forêts sont de plus en plus soumises à des pressions anthropiques : surpâturage, collecte de bois, incendies, conversions agricoles, combinées aux effets du changement climatique (hausse des températures, réduction des précipitations, prolifération de parasites...). Ces facteurs déclenchent des phénomènes de déforestation et de dégradation visibles et alarmants.

En Algérie, le massif forestier de Beni-Ghobri est un exemple emblématique de forêt caducifoliée, ayant attiré dès le début du XXe siècle l'attention de nombreux chercheurs tels que Lapie, Maige (1909), Quézel (1956) ou encore Salamani et Laribi.

Le chêne zéen, espèce endémique du Maghreb, y occupe environ 102 000 ha. C'est un arbre majestueux, atteignant parfois plus de 30 mètres de hauteur et 2 mètres de diamètre. Doté d'un tronc élancé, d'un houppier étalé, d'une écorce foncée et profondément fissurée, il peut vivre plus de 550 ans et atteindre une circonférence de 8 mètres . Longtemps jugé comme peu intéressant sur le plan économique, son bois pourrait cependant offrir de nouvelles perspectives dans un contexte de développement durable (**Messaoudene et al., 2008**).

L'aire de répartition du chêne zéen est limitée à la rive sud-ouest du bassin méditerranéen. On le retrouve au Maroc (Rif, Moyen et Haut Atlas), en Tunisie (massifs de Feidja et Aïn Draham), et en Algérie, notamment en Kabylie (Aït Ghobri, Akfadou), dans la région de Jijel (forêt de

Guerrouch), à Annaba (Edough), à El Kala, Souk Ahras, et sous forme disséminée jusqu'à l'Aurès et le Hodna (**Rabhi, 2011**).

Malgré son importance, le chêne zéen est confronté à de multiples contraintes écologiques. Les incendies de forêt détruisent chaque année entre 700 000 et un million d'hectares, compromettant la régénération naturelle en réduisant la production de glands. Le stress hydrique, accentué pendant les étés méditerranéens secs, limite l'enracinement profond et entraîne une mortalité élevée des jeunes plants. Les pressions liées au climat, à la prédation (rongeurs, sangliers), et à la fragmentation des habitats aggravent encore les difficultés de régénération.

Dans ce contexte, le sol forestier, et plus particulièrement la rhizosphère – cette zone d'interaction intense entre les racines et le sol – joue un rôle central. Les racines y exercent une action mécanique, chimique et biochimique qui influence directement l'humidité, le pH et l'activité microbienne du sol. Ces processus contribuent au cycle des nutriments, et donc au développement et à la survie de l'arbre . (**Marschner (1995)** souligne d'ailleurs que la rhizosphère est le siège de processus biologiques et chimiques complexes déterminant la disponibilité des nutriments et la résilience des plantes aux stress environnementaux.

Ainsi, mieux comprendre la dynamique de la rhizosphère du chêne zéen permet non seulement d'éclairer les mécanismes d'adaptation de cette espèce aux conditions édaphiques difficiles, mais aussi de contribuer à la préservation de la fertilité des sols et à la durabilité des écosystèmes forestiers.

Ce mémoire s'inscrit dans cette démarche et vise à étudier les caractéristiques physico-chimiques de la rhizosphère sous chêne zéen, en analysant leur évolution selon la profondeur du sol. Pour cela, plusieurs paramètres seront mesurés : le pH en eau, le pH en KCl, la matière organique, la conductivité électrique (C.E.), ainsi que l'humidité du sol. L'objectif est également d'explorer les corrélations éventuelles entre ces facteurs, afin de mieux comprendre les conditions de développement de cette espèce emblématique des forêts méditerranéennes

Chapitre 01

Sol et rhizosphère

1-Généralité sur le sol

1-Définition et description :

Le sol est la couche Supérieure de la croûte terrestre de structure meuble et d'épaisseur variable, plus ou moins colorée par l'humus ; résultant de la transformation lente et progressive de la roche-mère Sous-jacente, sous l'influence de facteurs physique, chimique et biologique ,et la formation de la surface terrestre qui constitue l'élément de base des Biomes propres aux écosystèmes continentaux. Leur totalité, appelée pédosphère, est le résultat de l'interaction de deux compartiments de la biosphère : l'atmosphère et la couche Superficielle de la lithosphère. **(Manneville et al ; 1999).**

La formation des sols est un processus complexe, qui consiste en la transformation des roches mères par l'action conjuguée de facteurs climatiques et de facteurs biologiques (animaux et plantes du sol). Ces derniers changements ont commencé par le phénomène de Dissociation physique provoqué par l'action des facteurs climatiques, et ont ensuite augmenté La destruction de la matrice rocheuse par les racines des plantes. S'ensuit un processus de décomposition chimique, provoqué par le lessivage d'eau osmotique contenant des substances dissoutes, conduisant à l'élaboration d'un mélange des substances minérales et organiques. C'est pour cela que le sol est considéré comme un réacteur biogéochimique interactif et un constituant multiphasiques. **(Manneville et al ; 1999).**

2-Les constituants du sol :

Le sol est un milieu continu dont les dimensions et la géométrie sont propres à sa localisation c'est un milieu poreux tri phasique complexe, intégrant une phase solide (les particules s solides) de nature variable, une phase aqueuse, et une phase gazeuse

a) La phase gazeuse

La phase gazeuse du sol est constituée des mêmes composants que l'atmosphère. Cependant, le contenu de chaque composant peut varier considérablement en raison de la présence d'activité biologique dans le sol **(Calvet ; 2003)**. La composition de cette étape dépend également de la profondeur et du moment du renouvellement de l'air dans le sol. Un exemple d'évaluation du transport de gaz dans le sol implique l'estimation du transport de composés organiques volatils sur des sites contaminés. Essentiellement à la surface, l'oxygène et le dioxyde de carbone jouent un rôle important. En effet, la concentration en oxygène maintient Les conditions aérobies ou

anaérobies du sol, qui sont liées aux conditions de vie des micro-organismes. L'aération du sol est très importante pour la croissance des racines des plantes.

Effets du dioxyde de carbone Le carbone affecte l'acidité du sol par transformation chimique Sous forme de carbonates en réaction avec la phase liquide du sol. La composition de cette Phase gazeuse du sol peut contrôler fortement la distribution et l'activité des communautés Bactériennes des sols.

b) *La phase aqueuse :*

La phase liquide du sol est principalement composée d'eau de pluie, dans laquelle sont dissous des ions minéraux et des molécules organiques, qui modifient la composition du sol et la vitesse à laquelle il est transféré d'un sol à l'autre. La composition de l'eau du sol dépend de L'environnement géologique avec lequel elle interagit chimiquement. Du point de vue de la réactivité chimique et biologique, le pH de l'eau du sol est la principale propriété impliquée dans toutes les réactions biologiques et chimiques qui ont lieu dans le sol.

La composition chimique de la phase aqueuse est régulée par des processus chimiques aux interfaces roche-Eau et atmosphère-eau, ainsi que par des processus biologiques comme la photosynthèse ou la respiration. Les processus de dissolution des roches contrôlent la présence de Ca et de Mg Dans les carbonates, et de Na et K ou d'anions HCO₃⁻ et NO₃⁻ dans le feldspath et le mica (**Sigg et al 2001**).; Ces différentes réactions permettent la libération de nutriments et oligo-Eléments, essentiels aux microorganismes du sol.

c) *La phase solide :*

La phase solide est la phase prépondérante du sol et représente 50 à 70 % du volume. Elle est Formée de trois types de constituants : les composés inorganiques (90 % du volume total), Organiques et biotiques (tels que la faune, la flore et les microorganismes).

4- La structure du sol

La structure du sol constitue un facteur déterminant de fonctionnement des sols, de sa Capacité à supporter la vie et à affecter la qualité de l'environnement, particulièrement à travers la séquestration du carbone et l'amélioration de la qualité de l'eau (**BRONICK et al, 2005**). De fait, elle peut être considérée comme un concept qualitatif ou Un indice de qualité, faisant référence à une propriété intégrative du sol (**AMEZTEKA, 1999**).

La structure peut être simplement définie, comme étant la manière dont sont disposées Les particules du sol les unes par rapport aux autres (**MUSY et al, 1991**). La structure du sol est l'hétérogénéité spatiale des différents constituants ou propriétés du Sol (**DEXTER, 1988**).

D'autres définitions font intervenir en plus de la disposition spatiale, la nature et l'intensité des liaisons établies entre les particules constitutives du sol (**MANICHON, 1982 ; STENGEL, 1990**)

5 -Les caractéristiques chimiques du sol

5-1- La conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) constitue une mesure du degré de salinité du sol. Elle est déterminée à partir d'un extrait de sol préparé selon un rapport sol/eau de 1/5, à l'aide d'un conductimètre, conformément à la méthode décrite par **Delaunois (1976)**. Cette propriété électrochimique permet d'estimer approximativement la concentration en solutés ionisables présents dans l'échantillon, en d'autres termes, son niveau de salinité.

La conductivité d'une solution augmente proportionnellement à la concentration en cations et anions, ces derniers étant les porteurs de charges électriques responsables de la conductance (inverse de la résistance électrique, exprimée en ohms Ω). Ainsi, plus la concentration en ions solubles est élevée, plus la conductivité augmente.

En science du sol, la CE est généralement exprimée en mmho/cm ou en dS/m (1 mmho = 1 dS), standardisée à une température de 25 °C (**Mathieu et al., 2003**). Elle constitue un indicateur important de la présence de sels solubles, utiles à l'évaluation de la fertilité et de la salinité du sol

5-2- pH du sol

Le pH exprime la réaction acide, neutre ou basique d'un milieu selon qu'il contient une forte ou faible concentration d'ions H^+ libres en solution. Dans le cas des sols, cette valeur est variable et influence directement de nombreuses propriétés physico-chimiques. Comme l'indique **Prévost (2006)** : « Si, en chimie, le pH varie de 0 à 14 (7 étant la neutralité), le pH des sols a pour extrêmes 4,5 à 5 pour les sols plus acides et 8 pour les terres très basiques. » Cette variabilité est en grande partie liée à des facteurs naturels.

5-3--La matière organique

La matière organique (M.O) du sol regroupe l'ensemble des résidus d'origine végétale et animale incorporés au sol, quel que soit leur degré de décomposition (**Collot et al., 1982**). Elle

est définie comme la matière spécifique issue des êtres vivants, qu'ils soient végétaux ou animaux (**Mustin, 1987**).

Une partie de cette matière organique reflète l'activité biologique des organismes présents à la surface ou à l'intérieur du sol. Elle constitue un élément fondamental de la fertilité, car elle influence plusieurs propriétés essentielles du sol : la réserve nutritive, la capacité de rétention en eau, le pouvoir tampon, ainsi que les caractéristiques physiques du sol (**Tiessen et al., 1994**)

5-4-Humidité du sol

L'humidité du sol, ou teneur en eau, est un facteur environnemental d'une importance capitale pour tous les processus biologiques et chimiques du sol. Elle détermine la disponibilité de l'eau pour les plantes, la diffusion des nutriments et des gaz, ainsi que l'activité et la survie des microorganismes et de la pédofaune (**Schimel ; 2000**). Dans les régions méditerranéennes, caractérisées par des périodes de sécheresse estivale, l'humidité du sol peut devenir un facteur limitant majeur pour la croissance végétale et l'activité biologique. Les variations saisonnières de l'humidité sont prononcées, avec des niveaux élevés pendant les saisons pluvieuses (automne, hiver, printemps) et des niveaux plus bas en été. Ces fluctuations influencent directement les cycles biogéochimiques et la dynamique des populations microbiennes (**Gallart et Llorens ; 2004**). Les gradients verticaux d'humidité sont également courants, avec des teneurs en eau généralement

6- Propriétés physicochimiques du sol et leur importance écologique

Les propriétés physicochimiques du sol sont des indicateurs fondamentaux de sa fertilité, de sa structure et de sa capacité à soutenir la vie végétale et microbienne. Elles influencent directement la disponibilité des nutriments, l'activité des microorganismes et la croissance des plantes. Une compréhension approfondie de ces propriétés est essentielle pour évaluer la santé des écosystèmes et leur résilience face aux perturbations

7- Les fonctions du sol

7-1-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**).

7-2-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**).

7-3-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**).

7-4-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 environ 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**).

7-5-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**).

8- La rhizosphère

8-1-Définition de la rhizosphère

La rhizosphère peut être définie comme la zone du sol immédiatement en contact avec le Système racinaire des plantes et qui est sous son influence. (**Chen et al ; 2006 ; Zhu et al ; 2006**). L'extension de la rhizosphère varie avec la nature de la plante, les éléments nutritifs considérés et les propriétés physiques du sol. Ainsi, pour les éléments peu mobiles tels que le Phosphore et la plupart des oligoéléments, l'extension de la rhizosphère est souvent limitée à moins d'un millimètre alors que pour des éléments fortement mobiles, tels que l'azote sous forme de nitrates, la rhizosphère peut s'étendre sur plusieurs centimètres (**Hinsinger ; 1998 ; Chaignon ; 2001 ; Hinsinger et al ; 2005**).

La communauté scientifique distingue 3 parties différentes qui constituent la rhizosphère :

- L'endorhizosphère ou rhizosphère interne comprend l'écorce racinaire (tissu situé entre l'endoderme et l'épiderme) envahi par les micro-organismes.
- Le rhizome est constitué de la surface des racines et des micro-organismes qui s'y trouvent.
- L'ectorhizosphère, l'exorhizosphère, le sol rhizosphérique ou la rhizosphère externe est la partie du sol qui est en contact étroit avec la surface des racines des plantes.

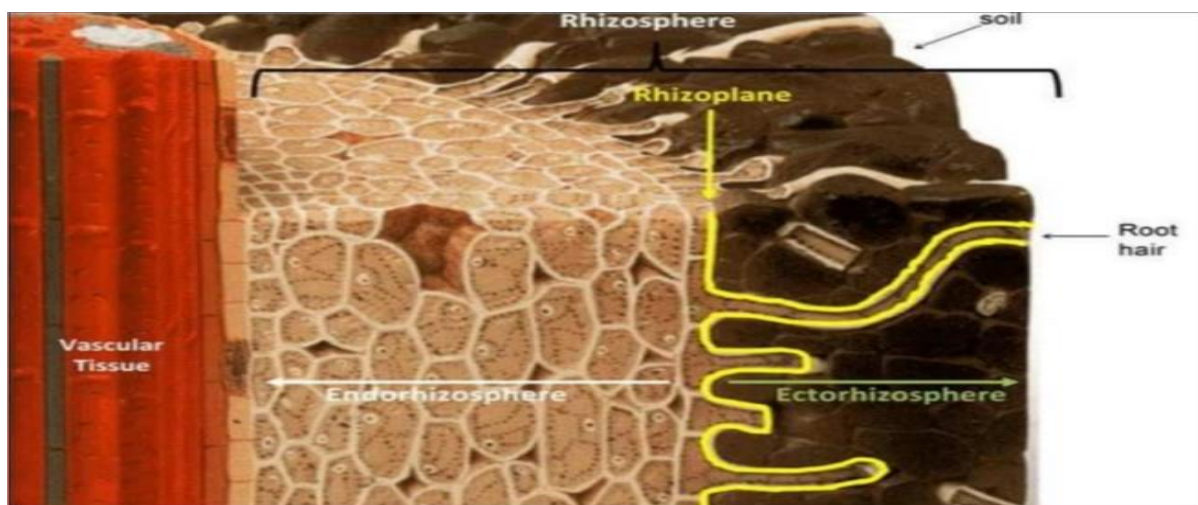


Figure 3 ; coupe verticale d'une racine (guide pédagogique, 2012)

8 -2- Importance de la rhizosphère

L'importance écologique et fonctionnelle de la rhizosphère réside dans les interactions complexes qui s'y établissent entre les plantes et les communautés microbiennes du sol (Reyes, 2011 ; Philippot et al., 2013). Zone d'intense activité biologique, la rhizosphère constitue un interface dynamique par lequel les plantes absorbent les nutriments essentiels (azote, phosphore, potassium), l'eau et le carbone organique (Bais et al., 2006 ; Hinsinger et al., 2009). Ce microenvironnement est également le siège d'échanges biochimiques vitaux pour les micro-organismes du sol — incluant bactéries, champignons mycorhiziens, actinomycètes, protozoaires, nématodes et vers de terre — qui y trouvent les exsudats racinaires nécessaires à leur métabolisme et à leur survie (Berendsen et al., 2012).

La microflore rhizosphérique joue un rôle fondamental dans la protection des racines contre les pathogènes telluriques, en activant des mécanismes de biocontrôle et en induisant la résistance

systémique des plantes (Compant et al., 2005 ; Mendes et al., 2011). Elle est également impliquée dans la biosynthèse de phytohormones de croissance telles que l'acide indole-acétique (AIA), les gibbérellines et les cytokinines, contribuant ainsi à l'élongation racinaire, à la division cellulaire et au développement global de la plante (Spaepen et al., 2007 ; Vacheron et al., 2013).

Par ailleurs, la rhizosphère est un haut lieu de la fixation biologique de l'azote (FBN). Ce processus, assuré par des bactéries diazotrophes libres ou symbiotiques (ex. *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Frankia*), permet la conversion de l'azote atmosphérique (N_2) en formes minérales assimilables par les plantes, telles que l'ammonium (NH_4^+) et le nitrate (NO_3^-), contribuant significativement à la fertilité naturelle des sols (Giller, 2001 ; Smercina et al., 2019).

Ainsi, la rhizosphère se présente comme un écosystème souterrain hautement stratégique, où s'orchestrent des processus écophysologiques essentiels à la nutrition, à la croissance et à la résilience des végétaux dans leur environnement édaphique.

8-3-Exsudation dans la rhizosphère

La rhizosphère se distingue nettement du sol non rhizosphérique (ou volume massique du sol) en raison de processus biologiques et physicochimiques spécifiques, parmi lesquels l'exsudation racinaire des composés carbonés constitue un mécanisme clé. Cette exsudation a été abondamment étudiée pour son rôle fondamental dans la structuration de la communauté microbienne du sol et dans la dynamique biogéochimique du carbone dans les écosystèmes terrestres (Jones et al., 2004 ; Kuzyakov & Razavi, 2020). Il est aujourd'hui largement reconnu qu'en moyenne environ 20 % du carbone fixé par les plantes supérieures via la photosynthèse est réinjecté dans le sol sous forme d'exsudats racinaires. Cette proportion peut varier considérablement, allant de 10 % à plus de 50 % selon les espèces, les conditions édaphiques et les stades phénologiques, ce qui témoigne de l'importance de ces flux pour le cycle global du carbone (Badri & Vivanco, 2009).

Les exsudats racinaires comprennent une grande diversité de composés : sucres simples, polysaccharides, acides organiques (malate, citrate, oxalate), acides aminés, peptides et protéines, ainsi que des composés secondaires. Ces substances servent à la fois de substrats et de signaux pour la microflore rhizosphérique, modulant l'abondance, la diversité et la fonctionnalité des communautés microbiennes associées (Bais et al., 2006 ; Dennis et al., 2010). Au-delà de leur impact structurant sur l'écologie microbienne, les exsudats racinaires et les métabolites microbiens associés participent activement aux processus biogéochimiques

majeurs en sol. En particulier, ils stimulent ou régulent l'activité enzymatique dans la rhizosphère via des enzymes extracellulaires telles que les phosphatases, protéases, arylsulfatases et glucosidases, impliquées respectivement dans les cycles du phosphore (P), de l'azote (N), du soufre (S) et du carbone (C) (Richardson et al., 2009).

Parmi ces exsudats, les carboxylates (ex. citrate, oxalate, malate) ont reçu une attention particulière en raison de leur rôle déterminant dans la mobilisation des nutriments peu disponibles. En milieu acide ou fortement adsorbant, ces anions organiques forment des complexes avec les métaux multivalents (Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+}) qui lient fortement les anions phosphates, facilitant ainsi leur désorption et leur biodisponibilité par des processus de complexation et d'échange de ligands (Dakora & Phillips, 2002 ; Jones, 1998).

Ainsi, l'exsudation racinaire ne se limite pas à une fonction nutritive ou microbienne : elle représente un levier central de la régulation biogéochimique des éléments majeurs dans la zone racinaire, et par extension, dans le fonctionnement global des écosystèmes terrestres.

9- Importance du sol dans la croissance des végétaux :

La fertilité chimique des sols, nettement plus élevée dans les horizons de surface, semble Expliquer la répartition majoritairement superficielle du système racinaire des arbres (Humbel,1978 ; Boulet et al., 1979). L'essentiel du cycle biogéochimique se passe dans les horizons Superficiels, là où la disponibilité des nutriments, issue de la décomposition de la litière, est la Plus forte et le système racinaire le plus dense. Ce cycle présente peu de pertes : « l'analyse Des eaux de nappe en milieu ferrallitique met en évidence leur extrême dilution et leur acidité Liées à l'absence de minéraux facilement altérables et à un recyclage efficace des éléments Nutritifs par la végétation » (Grimaldi et al., 1994). Enfin, l'acidité des sols peut induire pour Les arbres des toxicités souvent associées à une déficience en éléments importants (Ca, Mg, P, Cu...).

2- généralité sur le *Chêne Zeen*

2-1-Systématique :

- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Sous embranchement** : Angiosperms
- **Classes** : Dicotylédones
- **Ordre** : Fagales
- **Famille** : Fagacées

- **Sous Famille** : Quercinées
- **Genre** : Quercus .L
- **Espèce** : *Quercus Canariensis*

2-2-Caractéristiques botaniques du Chêne zeen

Le chêne zeen (*Quercus canariensis*) est une espèce Monoïque, atteignant plus de 30 m de hauteur, 2 m A 1,30 m de diamètre à partir du sol, avec un fût très élancé et un houppier étalé en Peuplements clairs et fastigié dans le des formations très denses. Son écorce a des fissures Profondes et est brun foncé. Ces jeunes rameaux sont poilus. (Mechergui et al ; 2021) . Les feuilles sont obovales ou lancéolées, plus ou moins auriculées à la base.

Le chêne zeen est un arbre à feuilles caduques et visqueux, ce qui signifie qu'il peut persister jusqu'au Printemps suivant. Le limbe forme 10 à 12 paires de lobes mucronées, réguliers, arrondis ou Obtus. Le dessous a une nervure principale proéminente, elles ont une longueur de 5 à 20 cm , Et une largeur de 4 à 12 cm et commencent à perdre leurs feuilles au printemps (une partie des Feuilles tombent en hiver). (Mechergui et al ; 2021)

Les glands subsessiles à maturité annuelle sont inclus pour un tiers environ dans une cupule Recouverte d'écailles lancéolées, planes, imbriquées et longues tout au plus de 5 à 6 mm. Sa Longueur varie de 20 à 40 mm et son diamètre de 10 à 15 mm. La floraison se produit en Avril Ou en Mai. Le gland est mûr fin octobre. (Mechergui et al.2021)

2-3-. Aire de répartition

Le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) est une espèce relictuelle méditerranéenne de la région ibéro-maghrébine, dont l'aire naturelle se limite à quelques zones humides du Maghreb et du sud de l'Espagne (Quézel & Bonin, 1980 ; Médail & Quézel, 2003). L'Algérie constitue aujourd'hui le principal bastion de l'espèce, abritant les peuplements les plus étendus, les plus diversifiés et les mieux conservés (Boudy, 1950 ; Quézel & Santa, 1962).

La zénaie algérienne couvre environ **65 000 hectares**, répartis dans plusieurs massifs forestiers de l'Atlas tellien, avec des extensions notables dans les régions de Tizi Ouzou, Souk Ahras, Jijel et Béjaïa (Messaoudene, 1989). Parmi ces sites, le massif de Beni Ghobri (commune de Yakouren, Wilaya de Tizi Ouzou) représente un réservoir écologique stratégique, caractérisé par une forte biodiversité floristique et microbienne, et un état de conservation relativement favorable (Nadi & Belkacem, 2022 ; Touat Ferroudja, 2023)

Des peuplements secondaires ou issus de reboisement sont également présents dans d'autres zones du Nord algérien telles que Collo, Edough, Djebel Bissa, Sidi Bernous, l'Ouarsenis, Teniet El Had, l'Atlas blidéen, le Djurdjura et les Aurès, témoignant de la résilience et de la plasticité écologique de l'espèce, malgré sa forte exigence en humidité et sa vulnérabilité aux stress hydriques et aux perturbations anthropiques.

2-4 ; Ecologie du Chêne zeen

Sur le plan édaphique, le chêne zéen peut être considéré comme indifférent à la composition Physique et chimique de son substrat, pourvu que le sol soit frais et pas trop compact. Il Prospère sur les terrains calcaires ainsi que siliceux, il ne pousse bien que sur des sols Profonds et perméables (**Boudy ; 1950**). Du point de vue bioclimatique, le chêne zeen se limite Aux variantes tempérées et fraîches du bioclimat humide ; et à un degré moindre, au Subhumide. Toutefois, il peut se développer dans le subhumide frais et il n'est pas absent dans L'humide chaud, son optimum de production est atteint dans le supra méditerranéen (**Quezel et Medail ; 2003**). Le chêne zéen exige annuellement plus de 800 mm de pluies (**Boudy ; 1952**), et ne prenant son développement optimal que dans les zones recevant 1000 mm et plus. La Nébulosité et le brouillard favorisent son développement. Il résiste bien aux vents violents et Aux neiges abondantes. Quant aux températures, il supporte un froid allant jusqu'à -8° C.

2-5-Exigences écologique du Chêne zeen

Le chêne zeen exige annuellement plus de 800 mm de pluies (**Boudy , 1955**) , et ne prenant son développement optimal que dans les zones recevant 1000 mm et plus , la nébulosité et le brouillard favorisent son développement, il résiste bien aux vents violents et aux neiges abondantes, quand aux températures, il supporte un froid Allant jusqu'à -8 °C (**Bouazza, 2021**) , il peut se développer dans le subhumide frais et il n'est pas absent dans l'humide chaud , son optimum de production est atteint dans le supra méditerranéen (**Quézel & medail , 2003**) .

Les chênes caducifoliés sont généralement peu sensibles à la composition chimique des substrats et la nature du sol (**Quézel et al., 2003**), toutefois, ils préfèrent les sols plus au moins évolués qu'ils ont contribué à constituer. Le chêne zéen prospère beaucoup dans les substrats à grés numidiens. Et, il s'accommode dans les sols siliceux et profonds

Selon **Emberger (1939)**, le chêne zéen ne tolère pas les sols peu profonds, cette essence se développe sur presque tous les substrats à l'exception des argiles dures et les sols salés

(MAIRE, 1926). Il est réputé calcifuge en Espagne méridionale (Martinez & pennardo, 1987 ; Tonnero et al., 1998 in Quézel et al., 2003)

Le chêne ne craint l'hydromorphie , même temporaire , c'est ce qui fait son bon développement sur les sols bruns lessivés (Messaoudene , 1989)

Chapitre 2

Matériel et Méthode

I -La zone d'étude

1-Description de la zone d'étude

La station forestière est une étendue de surface variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques (topographie, structure de la végétation, sol, etc.). Un arbre est ainsi soumis à des facteurs stationnels agissant sur sa croissance (Becker et Goff, 1988 ; Prevosto, 1999 ; Baix et *al.*, 2002).



Figure 4 : vue de la forêt au niveau de el Ainseur (HARCHAOUI ; 2025)

1-1-Géographie

La station de *El Ainseur* de la forêt de *Béni Ghobri* , a Yakouren de commune AZAZGA située à l'est de la wilaya de TIZI-OUZOU a environ 55 km à l'Est du Chef-lieu de la wilaya , couvrant une superficie de 5720 Ha (Messaoudene et al ., 2008) et limitée au Nord par une ligne de crêtes qui la sépare de la forêt Tamgout et par l'oued d'Acif El Hammam , au Sud par les villages Cheurfa n'Bhloul , Assiakh Bouada et Chebel à l'Est par la forêt d'Akfadou à l'ouest par de vastes plantations d'oliviers (Mimoun , 2006).

1-2-Géologie

D'après **GELARD (1978)**, le grès numidien constitue le substrat géologique le plus répandu dans la région de *Ath-Ghobri*. Parfois, il se trouve masqué par une formation récente d'éboulis et de glissement du quaternaire. A la faveur de certains replats au niveau de la forêt de *Ath-Ghobri* et suite à un affaissement de terrain occasionné par un jeu de faille (à l'ouest de la Forêt), c'est la couche de l'argile sous-numidien qui affleure en surface. Sous le numidien, se situe directement le Flysch de Tagdimt (Flysch à microbrèche et marnes à plaquettes), qui ne débord pas des affleurements gréseux sauf au niveau des clairières qui montrent un niveau sous-jacent au numidien (Yakouren de Tizi-Ouffelah).

Dans la forêt d'Ath Ghobri, le chêne zéen se localise dans les endroits à forte et moyenne pentes sur sols acides de type (A C) et (AB, C) (**Ferrahi, 2004**).



Figure 5 ; carte géographique de la forêt d'Ath Ghobri (source ; google Maps)

1-3- La végétation

Selon **BOUDY (1955)**, la zone orientale de la Kabylie Djurdjurienne est riche car c'est à ce niveau qu'on rencontre les plus belles forêts de chêne d'Algérie. On rencontre deux types de chênaies, l'une sclérophylle représentée par le chêne liège, l'autre caducifoliée représentée par le chêne zeen et le chêne afarès.

La forêt caducifoliée est constituée essentiellement de chêne zeen, qui domine en superficie occupée dans le massif par rapport au chêne afarès. Il occupe les fonds de vallons, les versants ombrageux et les expositions nord (**MESSAOUDENE, 1989**), il est caractérisé par une

amplitude altitudinale vaste et se développe à une altitude minimale de 700 m, où il est souvent en concurrence spatiale avec le chêne liège, jusqu'aux environs de 1600 m

Le chêne zéen est l'essence dominante de cette forêt, jusqu'à 1646 m d'altitude, où il occupe environ 45 % de la superficie boisée

- **Strate Arborescente** : composé par Quercus Canariensis (chêne zéen) à côté du Chêne liège
- **Strate arbustive** : est plus abondante composé essentiellement de *Genista monspessulana*, *Beakea Frutescens*, *Arbutus Unedo*, *Cytisus Triflorus*, *Erica Arborea*



Figure 6 ; végétation dans la station d'El Ainseur (HARCHAOUI ; 2025)

1-4-Le climat

Le climat méditerranéen est caractérisé par une période considérée comme sèche biologiquement qui coïncide avec l'été, et c'est la saison la moins arrosée (DAGET, 1988, 1984). Il est considéré comme un climat extratropical à photopériodisme saisonnier et quotidien, à pluviosité concentrée durant les saisons froides et relativement froides, l'été, saison plus chaude, étant sec (EMBERGER, 1954).

La forêt de Beni-Ghobri, est une région écologique assez homogène du point de vue climatique, mais offrant divers variantes liées aux conditions stationnelles (MEROUKI et al, 2016). Elle est caractérisée par un total annuel de 900 et du type H.P.A.E (MESSAOUDENE, TESSIER, 1991)

C'est essentiellement en fonction des précipitations, des températures et de la période sèche ; critères déterminants dans l'individualisation des structures de végétation (QUEZEL, 1976 in LARIBI, 2000), que le climat est découpé en tranches ou niveaux bioclimatiques.

Selon LARIBI et al. (2008), du point de vue bioclimatique, le massif forestier de Beni-Ghobri s'inscrit dans l'humide tempéré et le perhumide frais. Pour la définition des étages de végétation, les critères ombrothermiques et biocénotiques ont été conjointement utilisés. Si les équivalences étages-variantes bioclimatiques proposées par QUEZEL (1979) se sont avérées satisfaisantes dans l'humide, des incompatibilités ont été relevées pour le perhumide.

1-5-Couverture pédologique

L'aspect géomorphologiques de la forêt étudiée montre un relief très variable et accidenté (Ferrahi , 1994) . Les sols sont acides et présentent une texture limono_sableuses (Messaoudene et al , 2008) . Ces sols forestière sont évolués , de profondeur supérieure en général à 50 cm , de type brun lessivé . L'humus est un Mull forestier , a ph acide , caractérisé par un rapport C/N satisfaisant donnant une bonne minéralisation

1-6-La température

La température dans la zone d'étude (Azazga) est très fluctuante. Elle est faible en hiver (<10 °C) et relativement élevée en été. Plus précisément, en juillet et août (25-35°C), les températures diurnes peuvent atteindre jusqu'à 40°C. Le tableau montre la température Mensuelle moyenne pour ces années. La température des eaux souterraines est constante.

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	9.02	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

Tableau1 ; Température moyenne annuelles en C ° (2001-2010) (OMMTO-2010)

1-7-Précipitations

Les précipitations représentent un facteur écologique fondamental dans les écosystèmes Terrestres, car elles conditionnent avec la température, la structure et la productivité primaire De ces derniers (**Ramade, 1993**). Les pluies s’étalent sur une période de 6 mois (novembre à avril), avec de fortes pluies En décembre, janvier, février et mars. Les précipitations annuelles varient de 700 à 1000 mm Et peuvent atteindre jusqu’à 1500 mm d’eau.

Mois Années	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	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	43.4 2
2002	365.9	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	83.3 0
2004	197.6	209	34.1	260.6	5.9	1	2.5	0.3	31.9	35.4	154.1	245.8	98.1 8

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	74.7
													4
2006	15	66	362.2	260.6	38.8	12.8	11.3	7.9	72.5	10.3	5.2	193.1	87.9
													8
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	89.6
													5
2010	82.7	184.5	87.5	92	106.9	20.1	0	0	37.7	133.4	119	81.6	78.7
													8
Moy	161.75	106.4	110	141.83	67.5	10.12	3.5	7.35	52.95	83.43	147.83	188.0	90.0
												3	6

Tableau 2 : Pluviométrie annuelle (2001-2010) de la commune d'azazga en (mm)

1-8-Diagramme ombro-thermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique a été développé par Bagnouls et Gaussen en 1953 Pour déterminer l'intensité et la durée des saisons de pluies et des saisons sèches. Ils Rassemblent les deux courbes des précipitations et des températures dans le même graphique.

Le principe est $P \leq 2T$. Ce chiffre est défini en fonction de la gravité de la sécheresse et du mois le plus sec selon la formule suivante : Pour l'équation suivante : $P, moy \leq 2T$, donc Le mois est sec. Les points d'intersection des deux courbes, pluviothermique et thermique Délimitent la durée de la saison sèche lorsque $P \leq 2T$ et l'autre partie correspond à la saison Humide

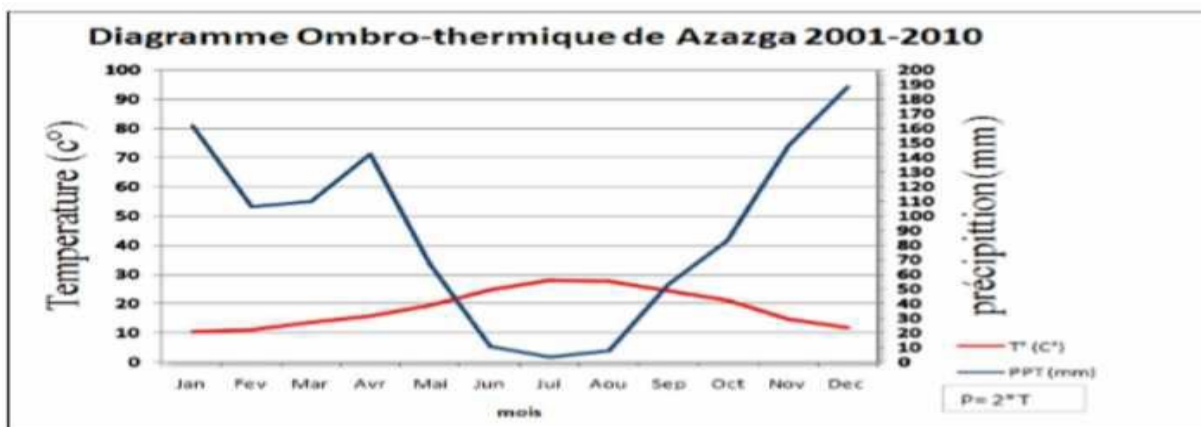


Figure 7 ; Diagramme ombro-thermique de la commune d'Azazga

1-9-L'étage bioclimatique de la zone d'étude

Le climagramme d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région Donnée.

Emberger a précisé cinq étages bioclimatique : humide, subhumide, aride, semi-aride, et Saharien, et quatre variantes thermiques :

- Hiver froid : $m < 0^{\circ}\text{C}$
- Hiver frais : $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$
- Hiver doux ou tempéré : $3 < m < 7^{\circ}\text{C}$
- Hiver chaud : $m < 7^{\circ}\text{C}$

Le climagramme est déterminé à partir de la formule modifiée :

$$Q2 = 2000 \frac{P}{M - m}$$

Q2 : Quotient pluviothermique.

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.

$$P = 1077.51 \text{ mm} ; M = 27.7^{\circ}\text{C} ; m = 10.24^{\circ}\text{C} ; \text{D'où } Q2 = 211.36$$

Le calcul du quotient (Q2) nous permet de classer la zone d'étude de Tizi-Ouzou dans l'étage bioclimatique humide à hiver chaud.

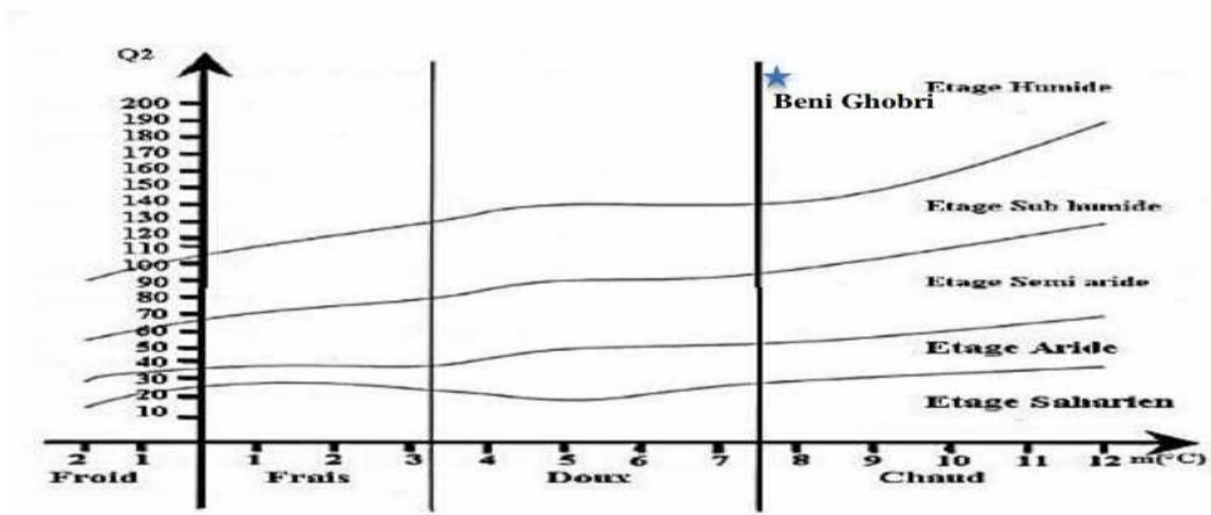


Figure 8 ; L'étage bioclimatique de la station d'el Ainseur projeté sur le climogramme d'Emberger

2-Exposition de la station aux différentes activités anthropiques

L'ensemble des environnements dans notre pays et dans l'ensemble de la planète sont influencés par les activités humaines, dont les impacts peuvent modifier la structure et l'intégrité des écosystèmes de façon durable.

Les polluants que l'on retrouve sont souvent d'origine anthropique, c'est-à-dire produits par les activités humaines ou d'origine naturelle (émissions par la végétation, l'érosion du sol, les volcans, les océans, etc).

Tous les secteurs d'activité humaine sont susceptibles d'émettre des polluants : les activités industrielles, les transports (routiers et non routiers), les activités domestiques, L'agriculture, la sylviculture, le tourisme...

Notre région d'étude et l'une des zones touchées par les activités anthropique dont en remarque la présence de traces humaines sous forme d'incendie, d'élevage (trace de bétail), Exploitation intensive du liège ainsi que le jet d'ordure sous forme de bouteilles de verre.

3-Méthode d'échantillonnage

3-1- Le choix de la station

En raison de la grande variété des espèces présentes dans le sol et de la végétation il faut délimiter correctement l'aire de prélèvement , selon (Pesson , 1971 ; Gobat et al. 1998) , la

station doit être la plus homogène, elle est choisie en fonction de quatre critères d'homogénéité pédologique, floristique, Topographique et climatique .

3-2- période d'échantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé en période hivernale exactement le 03 décembre 2024

3-3-Procédure d'échantillonnage

A l'intérieur d'une superficie de 50 m X 100 m , dans notre station d'étude , on a choisis 30 arbres de Chêne Zêne (*Quercus Canariensis*) selon un échantillonnage aléatoire, ensuite 5 arbres ont été sélectionnés par tirage au sort , suite à cela nous avons utilisé la technique des quadrats proposé par (Coineau 1974) afin d'effectuer la collecte des échantillons.

Au pied des arbres sélectionnés, à 1 mètre du tronc en exposition nord, nous avons retiré la litière pour accéder au sol nu. Ensuite, nous avons prélevé des échantillons de sol sur une surface de 25 cm² à deux profondeurs distinctes :

- Niveau 1 (N1) : 0-10 cm
- Niveau 2 (N2) : 10-20 cm

Les sols prélevés sont récupérés dans des sachets, et conduits au laboratoire afin de mesurer les différents paramètres analysés tels que le Ph , l'humidité, et la matière organique.



Figure 9 : préparation et conditionnement des échantillons de sol pour analyse en laboratoire (HARCHAOUI ; 2025)

Les arbres que nous avons échantillonnés sont :

Arbre 03 :



Figure 10 : Observation écologique de l'arborede *chêne zeen* N 03 lors du prélèvement (HARCHAOUI ; 2025)

- La pente 5%
- Le périmètre : 140 cm
- Diamètre : 44.58 cm

Arbre 07 :



l'arbre N07 (HARCHAOUI ; 2025)

- Le sol est en pente
- L'arbre est en bonne santé

- Périmètre : 140cm
- Diamètre : 44.58 cm

Arbre 09

- Arbre sain et en bonne santé
- Arbre en pente de 5%
- Sous bois
- Périmètre : 170 cm
- Diamètre : 54.14



Figure 12 arbre N 09 (HARCHAOUI ; 2025)

Arbre 01

- En bonne santé globalement car est loin de la route et non dégradé
- Le sol est en pente
- Y'a pas de bois
- Périmètre : 105 cm
- Diamètre : 33.43



Figure 13 ; arbre N01 HARCHAOUI ; 2025)

Arbre 14 :

- Le périmètre : 1.25 cm
- Diamètre : 39.80



Figure 14 ; arbre N 14 (HARCHAOUI ; 2025)

*4-Les analyses physicochimiques de sol :**4-1-L'humidité :*

C'Est la quantité total d'eau dans le sol , (la vapeur d'eau dans un sol) , ou l'eau qui réside plutôt dans les pores du sol

- Sol tamisé
- Bêchers
- Spatule
- Balance
- Étuve
- Dessiccateur

Pour mesurer le taux d'humidité du sol, la procédure suivante a été appliquée :

1. **Pesée du béccher vide** : Mesurer et enregistrer la masse d'un béccher vide (notée **B**).
2. **Pesée du sol humide** : Dans un béccher préalablement taré, peser précisément 15 g de sol humide. Noter la masse totale (béccher + sol humide), désignée par **P1**.

3. **Séchage du sol** : Placer le bécher contenant l'échantillon de sol dans une étuve réglée à 105 °C pendant 24 heures pour éliminer l'humidité.
4. **Refroidissement** : Retirer le bécher de l'étuve et le laisser refroidir dans un dessiccateur pour éviter la réabsorption d'humidité ambiante.
5. **Pesée du sol sec** : Peser le bécher contenant le sol après séchage pour obtenir la masse totale (bécher + sol sec), notée **P2**.

Le pourcentage d'humidité (%H) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\% H = \frac{P1 - P2}{P1 - B} \times 100$$

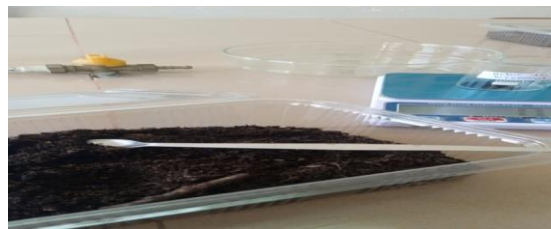


Figure 15 ; Illustration de la mesure de l'humidité



4-2-Potentiel hydrique (Ph)

Cette caractéristique issue de théorie chimique, rend compte de la concentration en ions hydrogène H⁺, d'une suspension de terre dans l'eau avec un rapport sols /eau de 1/5 (**Iso 10390 ,2021**), pour l'acidité actuelle (Ph eau), vu la nature des sols nous avons aussi déterminé l'acidité potentielle (Ph kcl), la lecture de fait a l'aide d'un Ph mètre (Ph mètre préalablement étalonné a l'aide d'une solution tampon de Ph connu ; Ph =7)

4-2-1--Ph eau :

Est la concentration des ions d'hydrogènes H⁺ dans l'eau

- 10g du sol

- Bêchers
- Balance
- Spatule
- Ph étalonné
- L'eau distillée
- Agitateur

A_ Peser un bêtecher vide , et prendre sa masse

B_ Tarer le bêtecher pour ajouter 10g du sol

C_ Ajouter 25 ml de l'eau distillée au sol

D_ Mélanger par l'agitateur pendant 1 a 2 min pour obtenir une suspension homogène

E_ Laisser la suspension repose pendant 15 a 30 min avant de mesurer le Ph eau

F_ Insérer 'a sonde de Ph mètre dans la solution et lire la valeur de Ph



figure 16 ; Illustration de la mesure de PH eau

4-2-2-Ph kcl

Donne une mesure du Ph potentiel du sol , en échangeant les ions H^+ et Al^{3+} absorbés sur les particules du sol (Ce Ph est généralement plus acide que Ph eau)

- 10g du sol
- Bêchers

- Agitateur
- Spatule
- Balance
- Ph mètre étalonné
- Chlorure de Potassium

A_ Peser un bēcher vide

B_ Tarer bēcher pour peser 10g du sol

C_ ajouter 25ml de solution de Kcl au sol

D_ Mēlanger par l'agitateur pendant 1 a 2 min Pour obtenir une suspension homogēne

E_ Laisser la suspension reposer pendant 15 a 30 min avant de mesurer le Ph kcl

F_ insérer la sonde de Ph mètre dans la solution et lire la Valeur de Ph

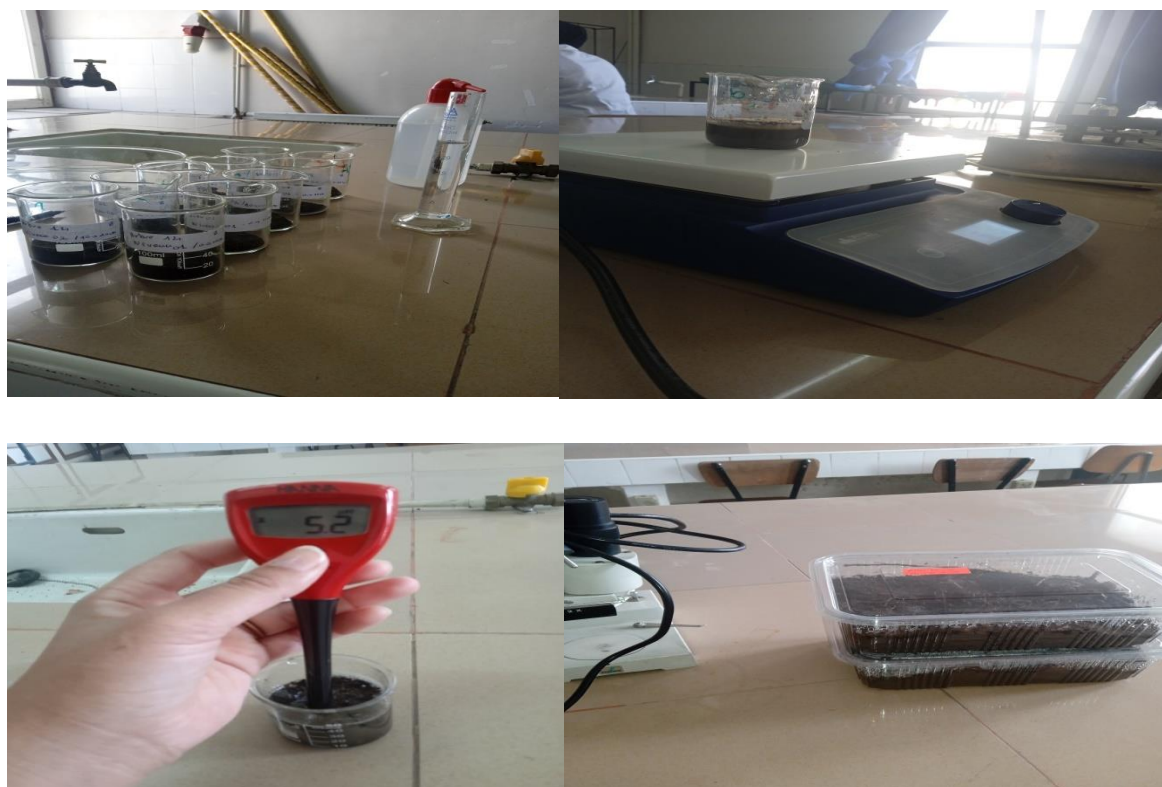


Figure 17 ; Illustration de la mesure de PH kcl

4-3- Matière organique :

Le taux de carbone organique dans le sol a été la méthode de perte au feu ou la calcination. , la méthode consiste à soumettre l'échantillon de sol a une température (500- 550C°) pour la combustion du carbone organique

- 10g du sol
- Creusets Résistant à la Chaleur
- Four a moufle (500-550C°)
- Balance Analytique
- Dessiccateur (pour refroidir les échantillons)
- Spatule

A_ Peser un creuset vide, et prendre sa masse M0

B_ Ajouter 10g du sol dans le creuset et noter la masse M1

C_ Faire les creusets dans le four a moufle dans une température de 500-550C° pendant (4h-6h) pour la combustion complète de la matière organique

D'après la combustion, placer les creusets dans le dessiccateur pour éviter refroidir.

E_ Pesée finale après la combustion M2 .

Le taux de matière organique s'exprime en pourcentage avec la formule suivante :

Matière organique : $(M1_M2/M1_M0) \times 100$





Figure 18 ; Illustration de la mesure de M.O

4-5-la conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol, elle exprime approximativement la concentration des sels minéraux et solutés inusables présents dans l'échantillon, c'est à dire son degré de salinité, elle est mesuré a l'aide d'un conductimètre.

Le matériel nécessaire

- 10 g du sol
- _ Balance
- _ Spatule
- _ Tamis (2mm)
- _ L'eau distillée
- _ Bécher
- _ Éprouvette
- _ Entonnoir
- _ Coton
- _ Conducti- mètre
- _ Étuve (105°)

La méthode

Tamiser 10 du sol, et peser 10g , placer les échantillons dans l'étuve pendant 24h a une température de 105° , pour sécher le sol ,puis après séchage , nous avons ajouté l'eau distillée et laisser après 24h on a filtrer la solution dans un bêcher contient de coton et papier , et on a fait le sol filtrer dans une éprouvette pour insérer la sonde et mesurer la conductivité dans le conducti-mètre



Figure 19 ; Illustration de la mesure de la C.E

[Tapez ici]

Chapitre 3

RESULTATS

1-Résultats et discussion

Ce chapitre présente les résultats des analyses physicochimiques réalisées sur les échantillons de sol prélevés sous le chêne zéen (*Quercus canariensis* Guss.) à El Aïnsar. Les données sont présentées pour chaque paramètre mesuré (humidité, pH eau, pH KCl, matière organique et conductivité électrique), en mettant en évidence les variations entre les deux profondeurs d'échantillonnage (N1 : 0 -10 cm et N 2: 10 -20 cm) et la variabilité observée.

1-1-L'humidité du sol

<i>Arbre</i>	<i>Niveau</i>	<i>Taux d'humidité</i>
<i>1</i>	<i>01</i>	<i>3.42%</i>
	<i>02</i>	<i>4.21%</i>
<i>2</i>	<i>01</i>	<i>6.82%</i>
	<i>02</i>	<i>4.40%</i>
<i>3</i>	<i>01</i>	<i>4%</i>
	<i>02</i>	<i>2.7%</i>
<i>4</i>	<i>01</i>	<i>3.78%</i>
	<i>02</i>	<i>2.26%</i>
<i>5</i>	<i>01</i>	<i>5.47%</i>
	<i>02</i>	<i>2.62%</i>

Tableau 3 ; Variation du taux d'humidité du sol en fonction de la profondeur

Les mesures de la teneur en humidité du sol sous chêne zéen ont révélé des valeurs variant de ,2.26 % à 6.82 %. Les résultats montrent une tendance où les valeurs sont systématiquement plus élevées au niveau 1 (N1) qu'au niveau 2 (N2). Le sol est globalement sec, ce qui est probablement lié à la période d'échantillonnage (hiver) et aux conditions de stockage des échantillons.

1-1-2 _L'écart type

◆ Calculons d'abord les moyennes :

Niveau 01 :

$$\bar{x}_1 = \frac{3.42 + 6.82 + 4.00 + 3.78 + 5.47}{5} = \frac{23.49}{5} = 4.698$$

Niveau 02 :

$$\bar{x}_2 = \frac{4.21 + 4.40 + 2.70 + 2.26 + 2.62}{5} = \frac{16.19}{5} = 3.238$$

◆ Calculons ensuite les écarts types (formule pour échantillon) :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Pour Niveau 01 :

$$(3.42-4.698)^2 + (6.82-4.698)^2 + (4.00-4.698)^2 + (3.78-4.698)^2 + (5.47-4.698)^2 \\ = 1.63 + 4.48 + 0.49 + 0.84 + 0.60 = 8.04 \square$$

$$S_1 = \sqrt{8.04 / 4} = \sqrt{2.01} = 1.42$$

Pour Niveau 02 :

$$(4.21-3.238)^2 + (4.40-3.238)^2 + (2.70-3.238)^2 + (2.26-3.238)^2 + (2.62-3.238)^2 \\ = 0.95 + 1.35 + 0.29 + 0.95 + 0.38 = 3.92 \square$$

$$S_2 = \sqrt{3.92 / 4} = \sqrt{0.98} = 0.99$$

Niveau	N1	N2
Humidité	4.70	3.24

Tableau 4 ; Variation de taux d'humidité de 02 niveaux

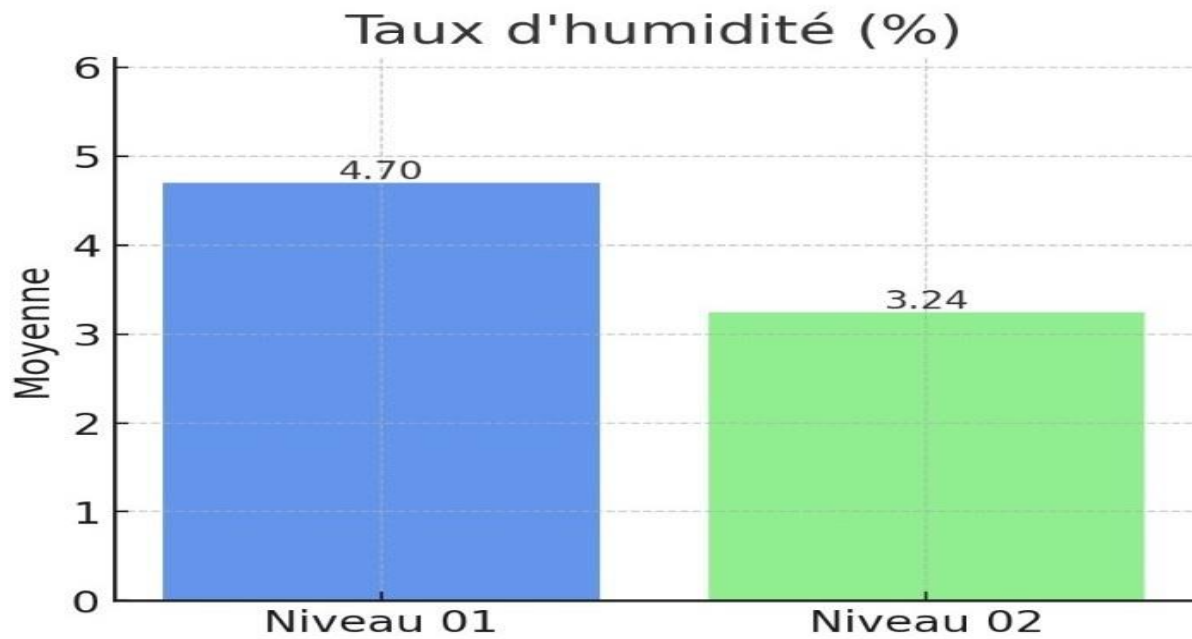


Figure 20 : Variation de taux d'humidité% du sol à 02 niveaux de profondeur

1-2-Ph eau

<i>Arbre</i>	<i>Niveau</i>	<i>PH eau</i>
<i>1</i>	<i>01</i>	<i>6.5</i>
	<i>02</i>	<i>6.7</i>
<i>2</i>	<i>01</i>	<i>6.2</i>
	<i>02</i>	<i>5.4</i>
<i>3</i>	<i>01</i>	<i>7.1</i>
	<i>02</i>	<i>6.8</i>
<i>4</i>	<i>01</i>	<i>6.7</i>
	<i>02</i>	<i>6.1</i>
<i>5</i>	<i>01</i>	<i>6.6</i>
	<i>02</i>	<i>6.9</i>

Tableau 5: Variation des mesures du PH eau du sol en fonction de la profondeur

Les mesures de pH eau effectuées sur le sol sous chêne zéen révèlent des valeurs comprises entre 5.4 et 7.1 , Ces résultats indiquent un sol allant de très légèrement acide à neutre, ce qui correspond à une situation globalement équilibrée et favorable au développement du chêne zéen. On observe par ailleurs un pH légèrement plus élevé au niveau N1 qu'au niveau N2.

1-2-1-L'écart type

_ Niveau 01 :

Valeurs : 6.5, 6.2, 7.1, 6.7, 6.6

Moyenne (\bar{x}) = $(6.5 + 6.2 + 7.1 + 6.7 + 6.6) / 5 = 6.62$

Calcul des écarts au carré :

$$(6.5 - 6.62)^2 = 0.0144$$

$$(6.2 - 6.62)^2 = 0.1764$$

$$(7.1 - 6.62)^2 = 0.2304$$

$$(6.7 - 6.62)^2 = 0.0064$$

$$(6.6 - 6.62)^2 = 0.0004$$

Somme = 0.428

Variance = $0.428 / 5 = 0.0856$

Écart type = $\sqrt{0.0856} = 0.29$

_ Niveau 02 :

Valeurs : 6.7, 5.4, 6.8, 6.1, 6.9

Moyenne (\bar{x}) = $(6.7 + 5.4 + 6.8 + 6.1 + 6.9) / 5 = 6.38$

Calcul des écarts au carré :

$$(6.7 - 6.38)^2 = 0.1024$$

$$(5.4-6.38)^2 = 0.9604$$

$$(6.8-6.38)^2 = 0.1764$$

$$(6.1-6.38)^2 = 0.0784$$

$$(6.9-6.38)^2 = 0.2704$$

$$\text{Somme} = 1.588$$

$$\text{Variance} = 1.588 / 5 = 0.3176$$

$$\text{Écart type} = \sqrt{0.3176} = 0.56$$

Niveau	Niveau 01	Niveau 02
PH eau	6.62	6.38

Tableau 6; Variation de PH eau de 02 niveaux

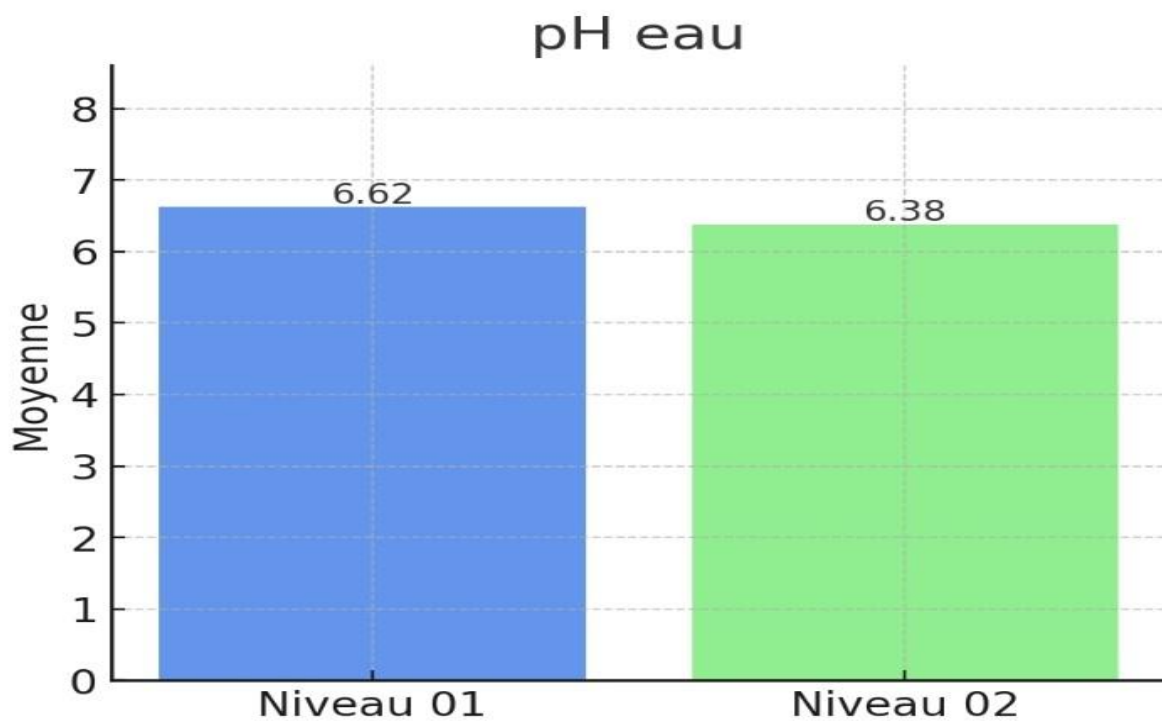


Figure 21 ; Variation de PH eau du sol à 02 niveaux de profondeur

1-3-Ph Kcl

<i>Arbre</i>	<i>Niveau</i>	<i>PH Kcl</i>
<i>1</i>	<i>01</i>	<i>5.6</i>
	<i>02</i>	<i>5.5</i>
<i>2</i>	<i>01</i>	<i>5.8</i>
	<i>02</i>	<i>5.3</i>
<i>3</i>	<i>01</i>	<i>5.6</i>
	<i>02</i>	<i>5.5</i>
<i>4</i>	<i>01</i>	<i>5.4</i>
	<i>02</i>	<i>4.2</i>
<i>5</i>	<i>01</i>	<i>5.6</i>
	<i>02</i>	<i>5.4</i>

Tableau 7 ; Variation des mesures du PH kcl du sol en fonction de la profondeur

Les mesures de pH KCl effectuées dans le sol sous chêne zéen présentent des valeurs comprises entre 4.20 et 5.80 , ce qui indique un sol globalement acide à modérément acide, traduisant une acidité potentielle relativement élevée. On observe que le pH KCl est plus élevé au niveau (surface) qu'au niveau (profondeur), ce qui suggère que l'acidité est plus marquée en profondeur.

1-3-1- L'écart type

_ Niveau 01 :

Valeurs : 5.6, 5.8, 5.6, 5.4, 5.6

Moyenne (\bar{x}) = $(5.6 + 5.8 + 5.6 + 5.4 + 5.6) / 5 = 5.60$

Écarts au carré :

$$(5.6-5.6)^2 = 0$$

$$(5.8-5.6)^2 = 0.04$$

$$(5.6-5.6)^2 = 0$$

$$(5.4-5.6)^2 = 0.04$$

$$(5.6-5.6)^2 = 0$$

$$\text{Somme} = 0.08$$

$$\text{Variance} = 0.08 / 5 = 0.016$$

$$\text{Écart type} = \sqrt{0.016} = 0.13$$

_ Niveau 02 :

Valeurs : 5.5, 5.3, 5.5, 4.2, 5.4

$$\text{Moyenne } (\bar{x}) = (5.5 + 5.3 + 5.5 + 4.2 + 5.4) / 5 = 5.18$$

Écarts au carré :

$$(5.5-5.18)^2 = 0.1024$$

$$(5.3-5.18)^2 = 0.0144$$

$$(5.5-5.18)^2 = 0.1024$$

$$(4.2-5.18)^2 = 0.9604$$

$$(5.4-5.18)^2 = 0.0484$$

$$\text{Somme} = 1.228$$

$$\text{Variance} = 1.228 / 5 = 0.2456$$

$$\text{Écart type} = \sqrt{0.2456} = 0.50$$

Niveau	N1	N2
PH kcl	5.60	5.18

Tableau 8 ; Variation de PH kcl de 02 niveau

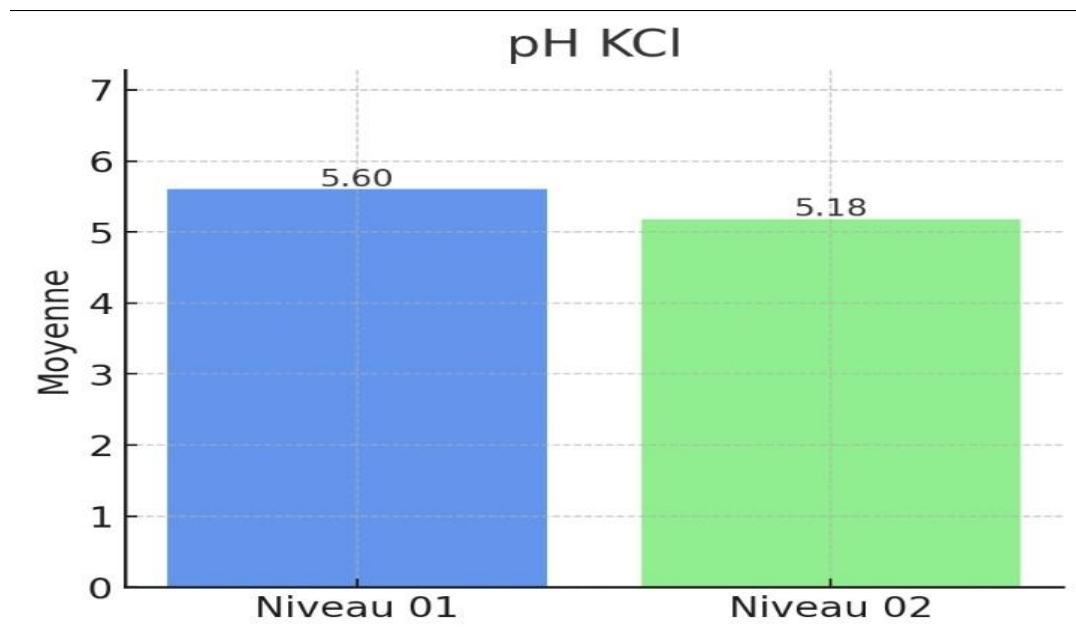


Figure 22 ; Variation de PH kcl du sol à 02 niveaux de profondeur

1-4-La matière organique

<i>Arbre</i>	<i>Niveau</i>	<i>Taux de M.O%</i>
<i>1</i>	<i>01</i>	<i>12.66%</i>
	<i>02</i>	<i>2.37%</i>
<i>2</i>	<i>01</i>	<i>11.307%</i>
	<i>02</i>	<i>7.00%</i>
<i>3</i>	<i>01</i>	<i>7.659%</i>
	<i>02</i>	<i>3.94%</i>
<i>4</i>	<i>01</i>	<i>6.428%</i>
	<i>02</i>	<i>3.86%</i>
<i>5</i>	<i>01</i>	<i>4.876%</i>
	<i>02</i>	<i>4.550%</i>

Tableau 9 ; Variation du taux de M.O% du sol en fonction de la profondeur

Les analyses de matière organique présentent des taux variant de 2.37 % à un maximum de 12.66 %, révélant une grande hétérogénéité dans le sol sous chêne zéen. Certaines zones sont modérément pauvres, tandis que d'autres sont exceptionnellement riches, traduisant une répartition irrégulière mais globalement favorable à la vitalité de l'arbre. L'analyse comparative des différents niveaux de sol montre que le niveau présente une moyenne de matière organique légèrement supérieure à celle du niveau , ce qui confirme une observation classique : la matière organique est en général plus concentrée en surface, là où s'accumulent les résidus végétaux et où l'activité biologique est la plus intense.

1-4-1-L'écart type

_ Niveau 01

Valeurs : 12.66, 11.307, 7.659, 6.428, 4.876

Moyenne (\bar{x}) = (12.66 + 11.307 + 7.659 + 6.428 + 4.876) / 5

= 42.93 / 5 = 8.586

Écarts au carré :

$(12.66 - 8.586)^2 = 16.547$

$(11.307 - 8.586)^2 = 7.398$

$(7.659 - 8.586)^2 = 0.859$

$(6.428 - 8.586)^2 = 4.671$

$(4.876 - 8.586)^2 = 13.777$

Somme = 43.252

Variance = 43.252 / 5 = 8.650

Écart type = $\sqrt{8.650} = 2.94$

_ Niveau 02

Valeurs : 2.37, 7.00, 3.94, 3.86, 4.55

Moyenne (\bar{x}) = (2.37 + 7.00 + 3.94 + 3.86 + 4.55) / 5

$$= 21.72 / 5 = 4.344$$

Écarts au carré :

$$(2.37 - 4.344)^2 = 3.904$$

$$(7.00 - 4.344)^2 = 7.051$$

$$(3.94 - 4.344)^2 = 0.163$$

$$(3.86 - 4.344)^2 = 0.234$$

$$(4.55 - 4.344)^2 = 0.043$$

Somme = 11.395

$$\text{Variance} = 11.395 / 5 = 2.279$$

$$\text{Écart type} = \sqrt{2.279} = 1.51$$

Niveau	N1	N2
M.O %	8.61	4.34

Tableau 10 ; Variation de M.O de 02 niveaux

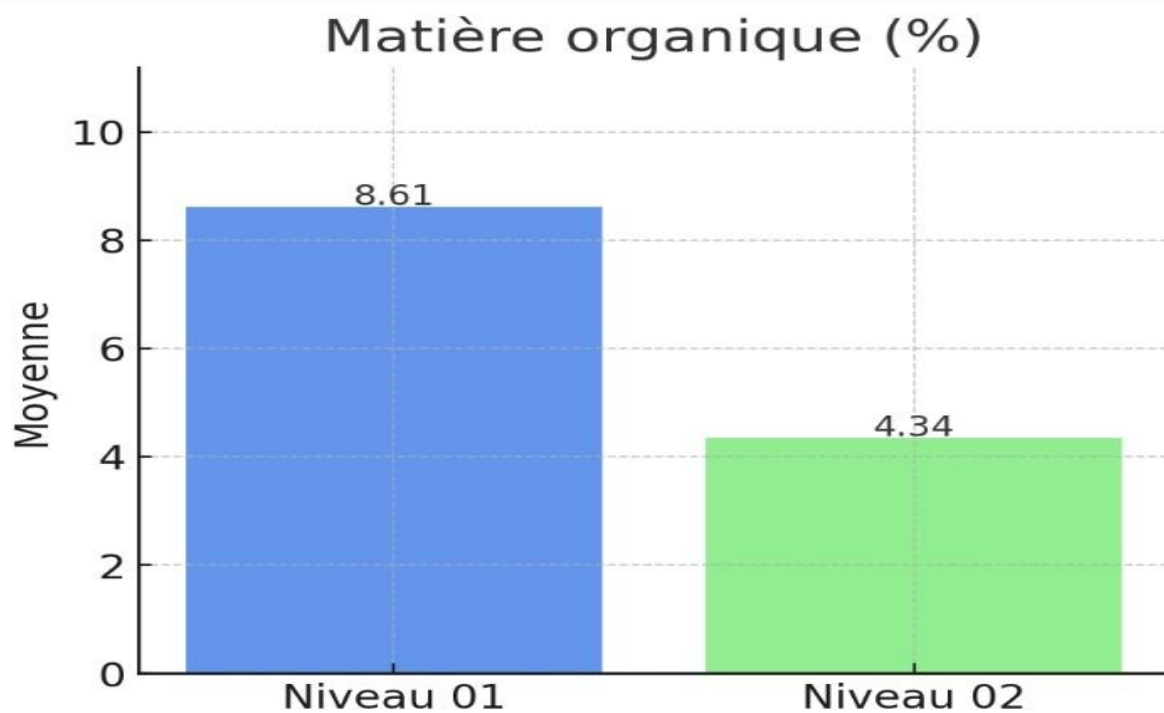


Figure 23 : Variation de M.O % du sol à 02 niveaux de profondeur

1-5-La conductivité électrique

Arbre	Niveau	C.E (ms)
1	01	0.22 ms
	02	0.09 ms
2	01	0.25 ms
	02	0.10 ms
3	01	0.20 ms
	02	0.07 ms
4	01	0.30 ms
	02	0.12 ms
5	01	0.47 ms
	02	0.14 ms

Tableau 11 ; Variation des mesures du C.E du sol en fonction de la profondeur

1-5-1- L'écart type

_Niveau 01

Valeurs : 0.22, 0.25, 0.20, 0.30, 0.47

Moyenne (\bar{x}) = $(0.22 + 0.25 + 0.20 + 0.30 + 0.47) / 5$ = $1.44 / 5 = 0.288$

Écarts au carré :

$$(0.22 - 0.288)^2 = 0.0046$$

$$(0.25 - 0.288)^2 = 0.0014$$

$$(0.20 - 0.288)^2 = 0.0077$$

$$(0.30 - 0.288)^2 = 0.0001$$

$$(0.47 - 0.288)^2 = 0.0331$$

$$\text{Somme} = 0.0469$$

$$\text{Variance} = 0.0469 / 5 = 0.00938$$

$$\text{Écart type} = \sqrt{0.00938} = 0.097$$

$$\sigma = 0.10 \text{ mS/cm}$$

_ Niveau 02

Valeurs : 0.09, 0.10, 0.07, 0.12, 0.14

$$\text{Moyenne } (\bar{x}) = (0.09 + 0.10 + 0.07 + 0.12 + 0.14) / 5$$

$$= 0.52 / 5 = 0.104$$

Écarts au carré :

$$(0.09 - 0.104)^2 = 0.0002$$

$$(0.10 - 0.104)^2 = 0.0000$$

$$(0.07 - 0.104)^2 = 0.0012$$

$$(0.12 - 0.104)^2 = 0.0003$$

$$(0.14 - 0.104)^2 = 0.0013$$

$$\text{Somme} = 0.0030$$

$$\text{Variance} = 0.0030 / 5 = 0.0006$$

$$\text{Écart type} = \sqrt{0.0006} = 0.025$$

$$\sigma = 0.03 \text{ mS/cm}$$

Les mesures de conductivité électrique (CE) du sol prélevé sous le chêne zéen présentent des valeurs comprises entre 0.07 mS/cm et 0.47 mS/cm. Ces valeurs relativement faibles indiquent que le sol est non salin. Cette faible salinité peut s'expliquer par le lessivage des sels minéraux dû aux pluies hivernales, ainsi que par l'évaporation de l'eau pendant le stockage des échantillons. Par ailleurs, on observe que la CE est significativement plus élevée au niveau 1 (horizon de surface) qu'au niveau 2 (horizon plus profond).

Niveau	N1	N2
C.E (ms)	0.29	0.10

Tableau 12 ; Variation de C.E de 02 niveaux

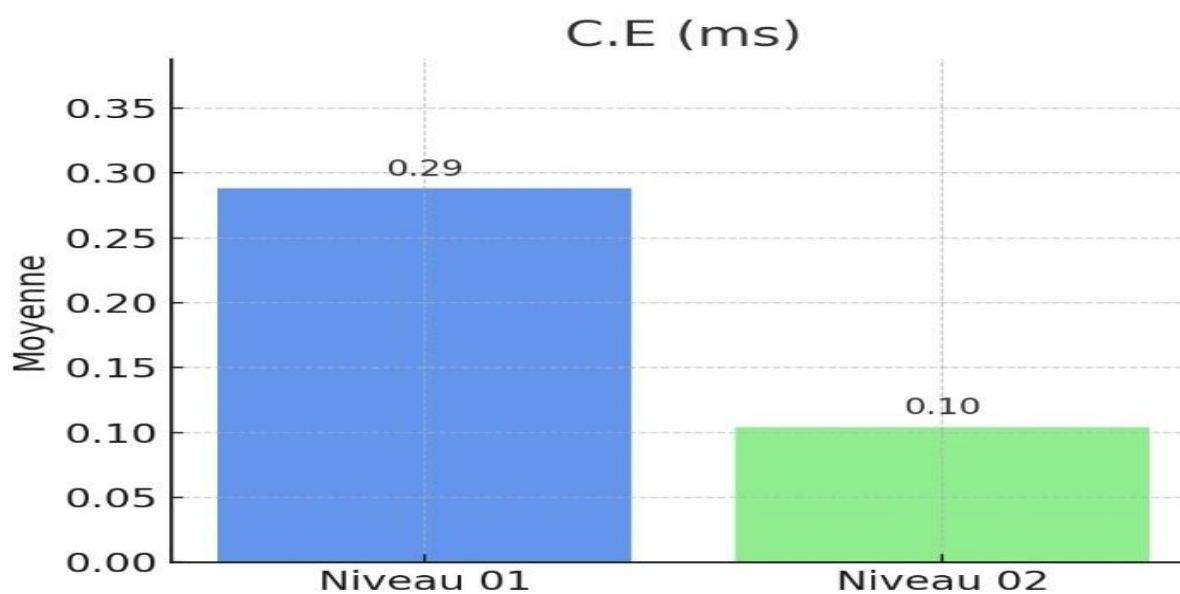


Figure 24 ; Variation de C.E (ms) du Sol à 02 niveaux de profondeur

Résultats

Humidité du sol

L'humidité est plus élevée en surface (4,70 %) qu'en profondeur (3,24 %). Cela s'explique par une plus grande exposition de la surface aux précipitations et à la rosée, ainsi que par la capacité de la litière à retenir l'eau. Cependant, une exception est observée pour l'arbre 1, où l'humidité

est plus élevée en profondeur, ce qui pourrait indiquer une particularité locale, comme un sol plus argileux favorisant la rétention d'eau.

pH eau

Le pH eau est légèrement plus élevé en surface (6,62) qu'en profondeur (6,38). Ces valeurs, proches de 6,5, sont typiques des sols forestiers et favorables à la plupart des plantes. La diminution en profondeur pourrait résulter d'une accumulation d'acides organiques ou d'une activité biologique réduite.

pH KCl

Le pH KCl, qui reflète l'acidité potentielle, est plus bas en profondeur (5,18) qu'en surface (5,60). Cela suggère une acidité plus marquée en profondeur, potentiellement liée à une moindre présence de matière organique capable de tamponner cette acidité.

Matière organique

La teneur en matière organique est bien plus élevée en surface (8,61 %) qu'en profondeur (4,34 %). Ceci est cohérent avec l'accumulation de litière et de résidus végétaux en surface. La variabilité plus importante en surface pourrait être due à des différences dans la densité de végétation ou les taux de décomposition.

Conductivité électrique

La conductivité électrique est plus forte en surface (0,29 mS/cm) qu'en profondeur (0,10 mS/cm). Cela indique une concentration plus élevée d'ions en surface, probablement liée à la décomposition de la matière organique et à une activité biologique plus intense.

Discussion des résultats

Ces résultats révèlent une structuration verticale du sol, avec des conditions plus favorables en surface (humidité, matière organique et ions plus abondants) pour l'activité biologique et la disponibilité des nutriments. Cela correspond aux caractéristiques attendues d'un écosystème forestier et semble bénéfique pour le chêne zéen.

Les résultats indiquent que la rhizosphère sous *Quercus canariensis* présente des caractéristiques typiques des sols forestiers méditerranéens, avec une acidité modérée et une richesse organique en surface. Cette structuration verticale – humidité, pH, MO et CE plus élevés à N1 qu'à N2 – reflète l'influence de la litière et des exsudats racinaires, favorisant

l'activité biologique près de la surface (Duchaufour, 1991). Ces observations corroborent les travaux de Brady & Weil (2016) sur le rôle des horizons superficiels dans la fertilité des sols.

La forte variabilité de la MO (2,37 % à 12,66 %) suggère une hétérogénéité locale, potentiellement liée à la densité racinaire ou aux conditions microclimatiques (Stevenson, 1994). Cette irrégularité pourrait affecter la disponibilité des nutriments et la résilience de l'écosystème face aux stress climatiques méditerranéens (Quézel & Médail, 2003). Par ailleurs, les corrélations entre humidité, CE et pH KCl traduisent des interactions biogéochimiques complexes, où l'humidité stimule l'activité microbienne et la libération d'ions (Schimel, 2000).

Les limites de l'étude incluent un échantillonnage réduit (cinq arbres) et un possible biais dû au stockage des échantillons, affectant les mesures d'humidité et de MO (Carter & Gregorich, 2008). L'absence de données biologiques limite également une analyse complète des dynamiques rhizosphériques.

Pour aller plus loin, un échantillonnage élargi, et des analyses microbiologiques permettraient de mieux comprendre ces processus. En conclusion, la rhizosphère sous chêne zéen favorise la croissance et la résilience de l'arbre grâce à une activité biologique intense en surface, soulignant l'importance d'une gestion durable des sols forestiers au niveau de ces écosystèmes.

Chapitre 4 ;

**Discussion
générale**

Ce chapitre vise à interpréter les résultats obtenus concernant les propriétés physicochimiques de la rhizosphère du chêne zéen à El Aïnsar, 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 pour la plupart des propriétés physicochimiques analysées dans la rhizosphère du chêne zéen. Ces gradients sont le reflet de processus écologiques fondamentaux qui façonnent l'environnement du sol.

1-1-Humidité du sol

Un facteur à interpréter avec prudence La teneur en humidité du sol, bien que globalement faible, montre une tendance où les valeurs sont systématiquement plus élevées en surface (N1) qu'en profondeur (N2). Cette faible humidité est probablement liée à la période d'échantillonnage où les réserves hydriques ne sont pas encore reconstituées (fin d'automne), et aux conditions de stockage des échantillons, qui ont pu entraîner un dessèchement partiel. Cependant, la persistance du gradient vertical (plus humide en surface) est cohérente avec les observations classiques en écologie des sols forestiers (**Hilel , D (1998)**).

L'humidité en surface est souvent influencée par les apports récents de précipitations et la présence de litière qui réduit l'évaporation, tandis que l'humidité en profondeur est affectée par l'infiltration et l'absorption racinaire (**Gallart , et Llorens , 2004**). Malgré les précautions à prendre concernant les valeurs absolues d'humidité, la tendance observée suggère que même en hiver, la couche superficielle conserve une meilleure capacité de rétention d'eau, ce qui est crucial pour l'activité biologique du sol et la disponibilité des nutriments. L'eau est le principal solvant et transporteur de nutriments dans le sol, et sa disponibilité conditionne directement l'activité microbienne et la pédofaune (**Schimel , 2000**)

1-2-PH du sol , environnement équilibré pour le chêne zéen

Les mesures de pH eau (5.4 à 7.1) indiquent un sol allant de très légèrement acide à neutre sous le chêne zéen, ce qui est considéré comme équilibré et favorable au développement de cette espèce. Le pH eau est légèrement plus élevé en surface (N1) qu'en profondeur (N2). Le pH KCl (4.20 à 5.80) confirme un sol globalement acide à modérément acide, avec une acidité potentielle plus marquée en profondeur. Cette observation, où le pH KCl est plus élevé en

surface qu'en profondeur, est attribuée à l'accumulation de matière organique en surface qui tamponne l'acidité (Gafur et al, 2019) L'acidité du sol influence fortement l'activité biologique, notamment celle des champignons, et la disponibilité des nutriments (Merschener ; 2012) . Un pH légèrement acide à neutre favorise le développement des micro-organismes bénéfiques impliqués dans la décomposition de la matière organique et la libération des éléments nutritifs nécessaires aux plantes (Roudart M. et Roudart L., 2002) . L'adaptation du chêne zéen à ces conditions acides, tant que l'acidité ne devient pas excessive, contribue à maintenir un équilibre biologique favorable à la vie du sol et à la disponibilité des éléments nutritifs

1-3-Matière organique : un indicateur de fertilité et d'hétérogénéité

Les analyses de matière organique (MO) révèlent une grande hétérogénéité (2.37 % à 12.66 %) dans le sol sous chêne zéen. contrairement à une observation classique, les données fournies par l'utilisateur indiquent que le niveau (profondeur) présente une moyenne de matière organique légèrement supérieure à celle du niveau (surface). Cela pourrait être dû à des spécificités locales de décomposition ou d'accumulation, ou à l'influence des racines profondes du chêne zéen. Cependant, la matière organique reste un indicateur essentiel de la fertilité et de la santé du sol, influençant sa structure, sa capacité de rétention d'eau et l'activité biologique (Stevenson ; 1994) La richesse en MO observée suggère un sol globalement fertile, avec une grande capacité biologique et une réserve nutritive importante, fondamentales pour soutenir la croissance et la résilience du chêne zéen (Nyle C. Brady, 2002)

1-4-Conductivité électrique

Un sol non salin Les mesures de conductivité électrique (CE) montrent des valeurs faibles(, mS/cm à , mS/cm), indiquant un sol non salin, ce qui est favorable à la croissance du chêne zéen . La CE est significativement plus élevée au niveau 1 (surface) qu'au niveau 2 (profondeur). Cette différence pourrait refléter une activité biologique plus intense en surface, entraînant une libération accrue d'ions dans le sol (Brady & Weil ; 2016) . La faible salinité est probablement due au lessivage des sels minéraux par les pluies hivernales et à l'évaporation pendant le stockage des échantillons . Ces observations confirment l'absence de problème de salinité pour le chêne zéen dans cette station.

2-Hétérogénéité spatiale et influence du chêne zéen

Au-delà des gradients verticaux, les données révèlent une variabilité notable des propriétés physicochimiques entre les différents points de prélèvement. Cette hétérogénéité spatiale à

l'échelle locale est un aspect crucial des écosystèmes forestiers et souligne l'influence individuelle de chaque chêne zéen sur son environnement rhizosphérique immédiat(**Wardle ;2002**)

Le chêne zéen, par son système racinaire et son apport de litière spécifique, est un ingénieur d'écosystème. Ses exsudats racinaires peuvent modifier le pH local, la disponibilité des nutriments et la composition des communautés microbiennes(**Bais et al ; 2006**)

L'hétérogénéité de la matière organique, bien que la moyenne du niveau soit légèrement supérieure à celle du niveau , reste un point important. Cette variabilité peut 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(**Giller et el ; 1997**)

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 forêt et sa capacité à maintenir ses fonctions écologiques (**Schimel et Schaeffer ;2012**)

3-Implications écologiques pour la fonctionnalité de l'écosystème

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

3-1-Disponibilité des nutriments

Le pH et la matière organique sont des facteurs clés de la disponibilité des nutriments. Le pH légèrement acide à neutre est favorable à la disponibilité de nombreux nutriments essentiels pour le chêne zéen. La richesse en matière organique 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(**Mrschener ;2012**)

3-2-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 (**Schimel ; 2000 ; Stevenson ; 1994**). Les conditions de pH favorables et la richesse en matière organique suggèrent une activité biologique intense, essentielle au recyclage des nutriments et à la formation de l'humus. La compréhension de ces conditions abiotiques est donc essentielle pour inférer les dynamiques biotiques du sol.

3-3-Résilience de l'écosystème

La capacité du chêne zéen à s'adapter aux conditions édaphiques locales, y compris les 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 environnementaux (**Mendes et al 2013**). La variabilité spatiale, en créant une diversité de micro-habitats, peut également augmenter la résilience globale de la forêt face aux perturbations, en permettant à différentes populations d'organismes du sol de persister et de s'adapter (**Schimel et al 2012**)

3-4-Comparaison avec d'autres études

Les résultats obtenus à El Aïnsar sont cohérents avec de nombreuses études menées sur les sols forestiers méditerranéens et les espèces de chênes. Le pH légèrement acide à neutre est typique des sols sous *Quercus canariensis* (**Terrades et Penuelas ; 2001**). 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 (**Jobbagy et Jackson ; 2000 , Jenny ; 1980**)

Les observations de **Bouandas et al. (2024)**, confirment que la rhizosphère de *Quercus canariensis* présente des variations significatives en termes de pH, d'humidité et de teneur en matière organique, reflétant une adaptation de l'espèce aux conditions édaphiques locales, notamment dans les sols acides et pauvres en calcium. Cela renforce la validité de nos observations et de nos interprétations.

3-5-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 zéen, 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 (hiver), ce qui ne permet pas d'appréhender l'amplitude des variations saisonnières(**Gallart , et Llorens ; 2004**) . 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 (El Aïnsar) et à un nombre restreint d'échantillons peut également limiter la généralisation des résultats. 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 zéen sur les propriétés du sol.

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

- **Multi-saisonniers**

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 **Raaijmakers et al , 2009**)

- **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 zéen (**.Wardle ; 2002**)

- **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 (**Millan et al , 2005**)

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

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a exploré les gradients verticaux des propriétés physicochimiques (humidité, pH eau, pH KCl, matière organique et conductivité électrique) dans la rhizosphère du chêne zéen (*Quercus canariensis* Guss.) à El Aïnsar, en Algérie. En analysant les données issues d'échantillons prélevés à deux profondeurs (0-10 cm et 10-20 cm), nous avons pu caractériser les dynamiques de ce micro-environnement essentiel à la santé des écosystèmes forestiers méditerranéens

Les résultats ont mis en évidence des gradients verticaux pour la plupart des paramètres. L'humidité, bien que globalement faible en raison des conditions d'échantillonnage, montre une tendance à être plus élevée en surface. Le sol présente un pH allant de légèrement acide à neutre, favorable au chêne zéen, avec une acidité potentielle plus marquée en profondeur.

La matière organique, bien que très hétérogène, est globalement riche, indiquant un sol fertile. La conductivité électrique, faible, confirme l'absence de salinité. La variabilité observée souligne l'hétérogénéité spatiale et l'influence de l'arbre sur son environnement immédiat. En réponse à notre problématique, ces gradients et cette hétérogénéité ont des implications écologiques profondes pour la fonctionnalité de l'écosystème. Les conditions physicochimiques observées sont cohérentes avec l'adaptation du chêne zéen à son milieu.

Le pH favorable et la richesse en matière organique suggèrent une activité biologique intense, essentielle au recyclage des nutriments et à la fertilité du sol. Ces dynamiques contribuent à la résilience du chêne zéen 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 zéen, en confirmant l'importance des gradients verticaux et de l'hétérogénéité spatiale. Elle souligne le rôle du chêne zéen 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 multisaisonnnières 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,

Conclusion générale

permettraient d'approfondir notre compréhension des interactions complexes au sein de la rhizosphère du chêne zéen. Ces recherches futures sont essentielles pour développer des stratégies de conservation et de gestion durable plus robustes pour les précieuses forêts méditerranéennes.

Références bibliographique

- 1-**Amézketa, E. (1999)**. Soil aggregate stability : A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14, 83–151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08
- 2-**Bais, H. P., Weir, R. P., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006)**. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 233-266
- 3-**Bouazza, N. (2021)**. Analyses de la diversité phytoécologique du Chêne Zêne (*Quercus faginea* subsp. *Tlemcenensis* (DC)) : cas de la réserve de Moutas (Tlemcen, Algérie occidentale). Thèse de doctorat, Université de Sidi Bel Abbès, Algérie.
- 4-**Boudy, P. (1952)**. Guide du forestier en Afrique du Nord. Maison Rustique, Paris, 505p.
- 5-**Boudy, P. (1955)**. Économie forestière nord-africaine. Tome I : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larose éd., Paris.
- 6-**Boulet, R., Fritsch, E., & Humbel, F.X. (1979)**. Les sols des terres hautes et de la plaine côtière ancienne en Guyane française septentrionale : organisation en systèmes et dynamique actuelle de l'eau. ORSTOM, Cayenne, 160p.
- 7-**Bronick, C. J., & Lal, R. (2005)**. Soil structure and management : A review. *Geoderma*, 124(1–2), 3–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- 8-**Calvet, R. (2003)**. Le sol : Propriétés et fonctions. Ed. France agricole ; Dunod, Paris.
- 9-**Calvet, R. (2013)**. Le sol. Constitution, propriétés physiques, physico-chimiques et chimiques ; organismes vivants : rôles, biodisponibilité de l'eau, des nutriments et des substances toxiques ; qualité des sols, relation avec la qualité de l'air et des eaux. Ed. France Agricole.
- 10-**Charnet, F. (2018)**. Les sols forestiers. Institut pour le Développement Forestier, France.
- 11-**Chen, Y.-H., Aires, F., Francis, J.A., & Miller, J.R. (2006)**. Observed relationships between Arctic longwave cloud forcing and cloud parameters using a neural network. *Journal of Climate*, 19, 4087–4104. <https://doi.org/10.1175/JCLI3839.1>
- 12-**Chaussord, R. (1996)**. La qualité biologique des sols : évaluation, implication. Éditions INRA, pp. 261–264.
- 13-**Coineau, Y. (1974)**. Introduction à l'étude des microarthropodes du sol et de ses annexes. Paris : Doin, 117 p.

- 14-**Collot et al. (1982)**. Les interactions sols-racines. Incidences sur la nutrition minérale. INRA, Paris.
- 15-**DAGET, Ph. (1984)**. Introduction à une théorie générale de la Méditerranée. Bulletin de la Société Botanique de France, 131, 2-3-4, 31–36.
- 16-**Emberger, L. (1939)**. Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/1.500.000. Veroff. Geobot. Rubel Inst. Zürich, 14, 40–157.
- 17-**Emberger, L. (1954)**. Projet d'une classification biogéographique des climats. Annales de Biologie, 31(5–6), 249–255.
- 18-**Ferrahi, M. O. (2004)**. Cartographie pédologique du massif forestier des Béni-Ghobri : facteurs de répartition des sols. Annales de la Recherche Forestière en Algérie, 7(1), 3–9.
- 19-**Gallart, F., & Llorens, P. (2000)**. Rainfall interception by cork oak (*Quercus suber* L.) in a Mediterranean climate. Hydrological Processes, 18(11), 2053–2061.
- 20-**Gélard, J.-P. (1979)**. Géologie du Nord-Est de la Grande Kabylie : cartographie, stratigraphie et tectonique. Thèse de doctorat, Université de Dijon, 335 p.
- 21-**Giller, K. E., Witter, G., & McGrath, S. (1997)**. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils : A review. Soil Biology and Biochemistry, 29(5–6), 755–770.
- 22-**Gobat, J.-M., et al. (1998)**. Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- 23-**Grimaldi, C., Fritsch, E., & Boulet, R. (1994)**. Composition chimique des eaux de nappe et évolution d'un matériau ferrallitique... C.R. Acad. Sci. Paris, Série 2, 319, 1383–1389.
- 23-**Halitim, A. (1988)**. Sols des régions arides d'Algérie. Alger : Office des Publications Universitaires.
- 24-**Hilel, D. (1998)**. Environmental soil physics. Academic Press.
- 25-**Hinsinger, P. (1998)**. How do plant roots acquire mineral nutrients? Advances in Agronomy, 64, 225–265.
- 26-**Hinsinger, P., Gobran, G.R., Gregory, P.J., & Wenzel, W.W. (2005)**. Rhizosphere geometry and heterogeneity... New Phytologist, 168, 293–303.

- 27-**Humbel, F.X. (1978)**. Caractérisation, par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement, de sols... *Science du Sol*, 2, 83–94.
- 28-**Jenny, H. (1980)**. *The soil resource : Origin and behavior*. Springer.
- 29-**Jobbágy, E.G., & Jackson, R.B. (2000)**. The vertical distribution of soil carbon : A global synthesis. *Ecological Applications*, 10(2), 423–436.
- 30-**Jones, D. L., Hodge, A., & Kuzyakov, Y. (2004)**. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*, 163(3), 459–480.
- 31-**Joyard, J. (2022)**. Qu'est-ce que la biodiversité
- 32-K. **Mechergui, W. Jaouadi, Y. Ammari. (2021)**. Le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) en Tunisie : Écologie, production, état de dégradation et pratiques d'aménagement. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, p-ISSN : 2028-991X, p. 148.
- 33-**LARIBI, M., DERRIDJ, A., & ACHERAR, M. (2008)**. Phytosociologie de la forêt caducifoliée à chêne zéen (*Quercus ... Willd.*) dans le massif d'Ath-Ghobri Akfadou (Grande Kabylie, Algérie). *Phytosociologie*, 45, 77–91.
- 34-**Maire, R. (1926)**. *Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie*. Alger : Bacconier.
- 35-**Manneville, O., Vergne, V., & Villepoux, O. (1999)**. *Le monde des tourbières et des marais*. Delachaux et Niestlé, 320p.
- 36-**Marschner, H. (1995)**. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.
- 37-**Marschner, H. (2012)**. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.
- 38-**Mathieu, C., Pielain, J., Jeanroy, E., Marcovercchio, F., Servain, F., & Scouffhuyre, H. (2003)**. *Analyses chimiques des sols : méthodes choisies*.
- 39-**Messaoudene, M. (1989)**. *Dendroécologie et productivité de Quercus canariensis Willd. Et Quercus afares Pomel dans les massifs de l'Akfadou et de Béni Ghobri*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III.
- 40-**MESSAOUDENE, M. et TESSIER, L. (1991)**. Croissance de *Quercus canariensis* Willd. Et *Quercus afares* Pomel en Kabylie (Algérie). *Ecologia Mediterranea*, 17, 119–133.
- 41-**MESSAOUDENE, M., TAFER, M., LOUKKAS, A., & MARCHAL, R. (2008)**. Propriétés physiques du bois de chêne Zêne de la forêt des Aït Ghobri (Algérie). *Bois et Forêts des Tropiques*, 298(4), 37–48.

- 42-Mendes, R., Garbeva, P., & Raaijmakers, J. M. (2013). The rhizosphere microbiome : A key component of sustainable cork oak forests. *Forest Ecology and Management*, 302, 21–28.
- 43-Merouki, K., Lalami, R., & Lechani, L. (2016). Étude de la répartition de la matière organique sur quelques types de sols de la forêt de Beni-Ghobri.
- 44-Mimoun, K. (2006). Insectivorie du hérisson d’Algérie *Atelerix algirus* (Lereboullet, 1842) dans la forêt de Béni Ghobri (Tizi-Ouzou). Mémoire de magister, INA El-Harrach.
- 45-Millán, R., & Gimeno, B. S. (2005). Air pollution and Mediterranean forest ecosystems. *Environmental Pollution*, 137(3), 407–410.
- 46-Mustin, M. (1987). Le compost : gestion de la matière organique. Éditions François Dubusc, Paris.
- 47-Quézel, P. (1976). Les forêts du pourtour méditerranéen : écologie, conservation et aménagement. Notes techniques du MAB2, UNESCO, 3.
- 48-Quézel, P. (1979). À propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia Mediterranea*, 5, 211–249.
- 49-Quézel, P. & Médail, F. (2003). Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Lavoisier, Paris.
- 50-Quézel, P., & Santa, S. (1962). Nouvelles flores de l’Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS, Paris, 2 tomes.
- 51-Raaijmakers, J. M., Paulitz, T. C., Steinberg, C., Alabouvette, V., & Moëgne-Loccoz, Y. (2009). The rhizosphere : a playground for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant and Soil*, 321(1–2), 341–361.
- 52-Rabhi, K. (2011). Ajustement de modèles hauteur-circonférence-âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d’Akkfadou (Tizi Ouzou). Magister en foresterie, Université de Tlemcen.
- 53-Ramade, F. (1993). *Encyclopedic Dictionary of Ecology and Environmental Sciences*. Édiscience International, Paris.
- 54-Reyes Jaramillo, I. (2011). La mycorhize arbusculaire (MA), centre de la rhizosphère : Communauté microbiologique dynamique du sol. UAM Iztapalapa..
- 55-chimel, J. P. (2000). Global change : A terrestrial perspective. *Nature*, 408(6812), 610–613.

56-Schimel, J. P., & Schaeffer, S. M. (2012). Microbial control over carbon cycling in soil. *Frontiers in Microbiology*, 3, 348.

57-Sigg, L., Behra, P., & Stumm, W. (2001). *Chimie des milieux aquatiques. Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement* (3^e éd.). Dunod, Paris.

58-Terradas, J., & Peñuelas, J. (2001). Ecological responses of Mediterranean plant species to drought. *Journal of Mediterranean Ecology*, 2(1), 1–12.

59-Tissen, H., Cuevas, E., & Chacon, P. (1994). The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371

60-Wardle, D. A. (2002). *Communities and ecosystems : Linking the aboveground and belowground components*. Princeton University Press.

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans l'étude des caractéristiques physico-chimiques de la rhizosphère sous chêne zéen (*Quercus canariensis*) dans le massif forestier de Béni Ghobri, à Tizi-Ouzou, Algérie. Espèce clé des écosystèmes méditerranéens, le chêne zéen contribue à la stabilisation des sols, à la biodiversité et aux cycles biogéochimiques, mais fait face à des menaces comme les incendies, le stress hydrique et les pressions anthropiques. Cette recherche vise à analyser les variations des paramètres du sol (humidité, pH eau, pH KCl, matière organique, conductivité électrique) à deux profondeurs (0-10 cm et 10-20 cm) pour comprendre les conditions de développement de l'espèce et orienter la gestion durable des forêts. L'étude, menée dans la forêt d'Aït Ghobri (station d'El Ainseur), repose sur des prélèvements de sol près de cinq arbres, analysés en laboratoire. Les résultats montrent des gradients verticaux nets : humidité, matière organique et conductivité électrique sont plus élevées en surface, le pH eau diminue légèrement en profondeur, et le pH KCl révèle une acidité potentielle accrue. Ces tendances reflètent une adaptation du chêne zéen à des sols acides et riches en matière organique, typiques des forêts méditerranéennes. Malgré une taille d'échantillon limitée et l'absence de données biologiques (ex. activité microbienne), ce travail éclaire les dynamiques de la rhizosphère et ouvre des perspectives pour des recherches intégrant des analyses microbiologiques et saisonnières, afin de renforcer la conservation des écosystèmes face aux changements climatiques. traduire en anglais

Abstract

This thesis focuses on studying the physico-chemical characteristics of the rhizosphere under the Algerian oak (*Quercus canariensis*) in the Béni Ghobri forest massif, located in Tizi-Ouzou, Algeria. As a key species of Mediterranean ecosystems, the Algerian oak contributes to soil stabilization, biodiversity, and biogeochemical cycles, but it faces threats such as wildfires, water stress, and anthropogenic pressures. This research aims to analyze variations in soil parameters (moisture, pH in water, pH in KCl, organic matter, electrical conductivity) at two depths (0–10 cm and 10–20 cm) to better understand the species' development conditions and guide sustainable forest management.

The study, conducted in the Aït Ghobri forest (El Ainseur station), is based on soil samples collected near five trees and analyzed in the laboratory. The results show clear vertical gradients: moisture, organic matter, and electrical conductivity are higher at the surface; the pH in water decreases slightly with depth, while the pH in KCl indicates increased potential acidity. These trends reflect an adaptation of *Quercus canariensis* to acidic, organic-rich soils typical of Mediterranean forests.

Despite a limited sample size and the absence of biological data (e.g., microbial activity), this work sheds light on rhizosphere dynamics and opens avenues for further research integrating microbiological and seasonal analyses, in order to strengthen ecosystem conservation in the face of climate change.

الملخص

يندرج هذا البحث في إطار دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمنطقة الجذور (الريزوسفير) تحت شجرة البلوط الزان (*Quercus canariensis*) في الكتلة الغابية بني غبري بولاية تيزي وزو، الجزائر. يُعدّ البلوط الزان من الأنواع الرئيسية في النظم الإيكولوجية المتوسطة، إذ يساهم في تثبيت التربة، الحفاظ على التنوع البيولوجي ودورات العناصر البيوجيوكيميائية، إلا أنه يواجه تهديدات عديدة كحرائق الغابات، الإجهاد المائي والضغط البشرية. يهدف هذا البحث إلى تحليل تباين خصائص التربة (الرطوبة، درجة الحموضة في الماء، درجة الحموضة في KCl، المادة العضوية، التوصيلية الكهربائية (على مستويين من العمق -0) 10 سم و 20-10 سم (لفهم ظروف نمو هذا النوع وتوجيه إدارة الغابات بشكل مستدام).

حيث تم أخذ عينات التربة بالقرب من خمس (محطة العنسيور) أُجريت الدراسة في غابة آيت غبري أظهرت النتائج وجود تدرجات رأسية واضحة؛ إذ سُجّلت نسب أعلى للرطوبة. أشجار وحُلّت مخبرياً والمادة العضوية والتوصيلية الكهربائية في الطبقات السطحية، بينما انخفضت درجة الحموضة في الماء تعكس هذه الاتجاهات قدرة. عن زيادة الحموضة المحتملة KCl في pH قليلاً مع العمق، وكشف الـ البلوط الزان على التكيف مع تربة حمضية غنية بالمادة العضوية، وهي سمة نموذجية للغابات المتوسطة