

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHESCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale

**Importance de la caractérisation phytochimique et
biométrique de la rhizosphère dans le cadre de la
conservation du chêne zéen**

Réalisé par : AIT ALI Dyhia

Soutenu devant le jury composé de :

Président : OUDJIANE.A

MAA

UMMTO

Promoteur : RAHMANI.A.M

MAA

UMMTO

Examinatrice : BRAHMLK

Professeur

UMMTO

Promotion : 2021/2022

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon promoteur, monsieur **Rahmani A.M.** Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie également mon président de jury monsieur **Oudjiane**, ainsi que mon examinatrice madame **Brahmi**, pour me faire l'honneur de juger mon travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, **Lamara** et **djamila**, qui ont toujours été là pour moi et qui ont fait de moi la femme que je suis aujourd'hui. Je remercie mes sœurs, **Thinhinane** et **Samira** pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis **Kamar**, **Lynda**, **Rosa** et **Manel** qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné, et à l'amour de la nature qu'ils m'ont transmis depuis mon enfance.

A mes magnifiques sœurs qui m'ont encouragé et poussé à construire le meilleur de moi.

A mon neveu **Eden** qui a apporté de la lumière dans ma vie

A mon grand-père qui me soutien et qui m'a toujours soutenu dans tout ce que j'entreprends.

A la mémoire de tous les membres de ma famille qui sont partie trop tôt.

A mes amis qui m'ont toujours encouragé et aidé quand j'en avais le plus besoin.

A vous tous ma chère famille et chers amis.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 5

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.	Présentation de l'espèce :	8
1.	Systématique :	8
2.	Aire de répartition :	8
3.	Caractéristiques botaniques du Chêne zéen:	9
4.	Ecologie du Chêne zéen:	10
5.	Utilité du chêne zéen :	10
II.	Le sol :	10
1.	Définition et description :	10
2.	Les constituants du sol :	11
A.	La phase gazeuse :	11
B.	La phase aqueuse :	11
C.	La phase solide :	11
3.	Les horizons du sol :	12
A.	Horizon O (ou A0) :	12
B.	Horizon A :	12
4.	La rhizosphère :	12
III.	Importance du sol dans la croissance des végétaux :	15

IV.	Exsudation dans la rhizosphère :	15
V.	Métabolites primaires et secondaires :	16
1.	Définition des métabolites	16
2.	Métabolites primaires :	16
3.	Métabolites secondaires :	16
A.	Les composéé phénoliques :	16

Chapitre II : matériels et méthodes

I.	Etude du Milieu :	18
1.	Situation géographique :	18
2.	Géologie :	19
3.	Géomorphologie :	19
4.	Climat :	19
5.	Température :	19
6.	Précipitations :	20
7.	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :	21
II.	Echantillonnage :	22
1.	Echantillonnage des racines et du sol :	22
III.	Biométrie racinaire :	22
IV.	Analyse du sol :	23
1.	Dosage du pH :	23
2.	Carbone :	24
V.	Préparation des extraits racinaires	26
VI.	Dosage des phénols totaux :	28

Chapitre III : Résultats et discussions

I.	Résultats et discussions :	29
	Conclusion	33

Bibliographie

Liste des figures

Figure 1: Répartition du chene zéen dans le bassin méditerranéen (Quezel et Bonin; 1980)...	8
Figure 2: Aire de répartition schématique de deux chêne caducifoliés ibéro- magrébins, le Chêne faginé (<i>Quercus faginea</i> Lamk.) <i>sensu lato</i> et le Chêne zéen (<i>Quercus canariensis</i> Wild) (QUEZEL, 2003).	9
Figure 3: les différents horizons d'un profil de sol (guide pédagogique; 2012).....	12
Figure 4: coupe verticale d'une racine (guide pédagogique, 2012).....	12
Figure 5: représentation schématique de la rhizosphère (Hinsinger, 2001).....	13
Figure 6: quelques composés phénoliques de base; acide salicylique (a), acide caféique (b) (Hannebelle et al; 2004)	17
Figure 7: situation géographique de la station d'étude à el Ainseur (source Google Earth)	18
Figure 8: Diagramme ombrothermique de la région de Azazga	21
Figure 9: Quadra de 25*25 cm	22
Figure 10: Repère du prélèvement	22
Figure 11: brossage et nettoyage des racines (photo de Ahmed Nadi)	23
Figure 12: Mesure du diamètre des racines avec un pied à coulisse électronique.	23
Figure 13: pesée du sol.....	24
Figure 14: Mesure du pH avec un pH-mètre	24
Figure 15: pesée du sol à l'aide d'une balance de précision	25
Figure 16: mise à l'étuve 16h à 220°C	25
Figure 17: dessiccateur	25
Figure 18: mise au four à 450°C	25
Figure 19: Broyage et pesée de la poudre des racines.....	26
Figure 20: Macération	27
Figure 21: A: conservation à 4°C (24H)	
B: Centrifugation.....	27
Figure 22: A: Récupération du surnageant	B:
Evaporation	27
Figure 23: Dosage des polyphénols totaux.	28
Figure 24: Variation des teneurs en polyphénols Totaux (PPT) selon deux niveaux.	29
Figure 25: Variation du pH et du pH K-Cl dans deux niveaux N1 et N2.	30
Figure 26: Variation du carbone dans deux niveaux N1 et N2.	30
Figure 27: Variation du diamètre des racines dans deux niveaux N1 et N2	31
Figure 28: Variation de la Longueur des racines dans deux niveaux N1 et N2.	31

Tableau 1:Principales classes des composés phénoliques (Manchando et Cheynier, 2006)....	17
Tableau 2:Températures moyenne annuelles en °C (2001-2010) (ONMTO,2010).....	20
Tableau 3:Pluviométries moyennes annuelles (2001-2010) de la commune d'Azazga, en (mm)	21

Introduction

Les forêts couvrent aujourd'hui environ 4 milliards d'hectares, soit 30 pour cent de la superficie totale des terres. La superficie forestière par habitant est de 0,62 hectare. (FAO ; 2006)

Les forêts méditerranéennes couvrent environ 81 millions d'hectares (9,4% de la superficie forestière mondiale) et sont composées d'une variété d'espèces forestières, principalement des feuillus (environ 60%) (Mugnossa et al ; 2000). Certains ont une importance écologique fondamentale.

En effet ces forêts sont simultanément une source de bois, de liège, d'énergie, de nourriture, de revenus et de nombreux autres biens et services environnementaux (protection de la biodiversité, conservation des sols et de l'eau, fourniture d'espaces de loisirs, stockage de carbone), souvent essentiels à de nombreux autres secteurs économiques (Agriculture et alimentation, conservation des sols et de l'eau, approvisionnement en eau potable, tourisme, énergie).

Le changement global affecte fortement la région méditerranéenne (évolution des sociétés et des modes de vie conjuguée au changement climatique). Ces changements rapides hypothèquent l'avenir des écosystèmes forestiers et autres espaces boisés (perte de biodiversité, augmentation des risques de feux de forêts, dégradation des bassins versants et accentuation des processus de désertification) et remettent en cause la fourniture durable de ces multiples biens et services en faveur des populations. (E, Rojas-Briales, H.Ravenel ; 2013).

Selon une analyse réalisée par WWF (2001), on peut estimer que les forêts primaires couvraient environ 82% de la superficie totale des pays méditerranéens. Actuellement, il ne reste que 17% du patrimoine forestier, et dans les pays du sud de la Méditerranée, celui-ci est généralement considéré comme sévèrement dégradé (Sousa & Atay-Kadiri, 2005).

Pour les pays d'Afrique du Nord, la situation actuelle a été qualifiée de dramatique, et seul un ambitieux plan de gestion écologique intégrée peut sauver les fragments de forêt restants, ou protéger certaines zones qui restent miraculeusement à l'abri de ces dévastations. (Quézel & Médail ; 2003).

En Algérie, les principaux représentants des forêts de feuillus sont le chêne zéen (*Quercus canariensis Willd*) que nous avons étudié et le chêne afares (*Quercus Afares*) s'étendant sur une superficie de 65 000 hectares (MESSAOUDENE et al. ; 1991). Le chêne zéen a tendance à dominer, puis d'autres espèces, comme le chêne-liège, sont éliminées. (Boddy ; 1952 et Harouni ; 1991).

Cependant ce patrimoine est soumis à différents facteurs de dégradation, écologiques et/ou entropiques (surpâturage, incendies, surexploitation, piétinement).

En interaction permanente avec l'atmosphère et la biosphère, le sol est un élément d'une importance capitale à l'échelle de la planète. Il est le substrat qui permet le développement des végétaux terrestres dont dépendent la majorité des chaînes alimentaires, mais aussi l'agriculture humaine. Il abrite d'innombrables organismes qui décomposent la

matière organique et la rendent assimilable par les plantes. Impliqué dans plusieurs grands cycles de la matière (carbone, azote), il tient également un rôle majeur dans la régulation du climat.

La disponibilité et les flux des ressources du sol (composition et transferts d'éléments minéraux et d'eau entre les différents horizons de sol) ainsi que la structuration du sol en tant qu'habitat (phénomènes érosifs, mélange entre horizons de sol) sont des déterminants majeurs de l'identité et de l'activité des organismes vivants, en particulier des plantes. La plupart des plantes sont en effet en interaction directe avec le sol tout au long de leur existence, de la graine jusqu'aux débris végétaux, et reposent largement sur lui pour leur alimentation en eau, leur nutrition minérale et leur ancrage. En retour, les plantes sont des ingénieures du sol. Elles influencent notamment les propriétés physico-chimiques (pH, agrégation, porosité) et hydriques du sol et constituent l'essentiel des apports de matières organiques aux sols, ce qui les place en amont de tous les réseaux trophiques. Ainsi, les sols et les plantes forment des couples dynamiques en interaction permanente, s'influencent mutuellement, avec des conséquences multiples et de grande ampleur sur l'ensemble des cycles biogéochimiques (p.ex. carbone, azote, eau) et des composantes des écosystèmes terrestres : roche-mère, micro-topographie, micro-climat, faune et microbiote souterrains et aériens. (G.T. Freschet et al ; 2019)

Du fait de la présence du vivant, le sol est un milieu complexe (évolution de la matière et flux d'énergie), contrôlé par la circulation de l'information, il définit les composantes d'un système dont le fonctionnement est vital pour les écosystèmes en général et l'homme en particulier. (Camuzard ; 2005)

En effet le sol forestier est une ressource non renouvelable qu'il convient de gérer en relation avec les fonctions de la forêt à privilégier, dans un contexte général d'aménagement durable. Les écosystèmes forestiers ont des fonctions : productives (environ 50 millions de mètres cubes de bois sont récoltés chaque année en France), écologiques (maintien de la biodiversité et de la qualité paysagère) et environnementales (protection de la qualité intrinsèque des sols, des eaux de surface et de l'atmosphère). (Ranger J ; 2001)

Les matières organiques sont une composante majeure, gérable, de la qualité des sols (Citeau *et al* ; 2009). De nombreux travaux avancent que le carbone d'origine racinaire en est la source principale (Balesdent et Balabane, 1996 ; revues de Kuzyakov et Domanski, 2000 ; Rasse *et al* ; 2005).

Au cours de leur vie, les racines des plantes libèrent des composés organiques dans leur environnement proche. Ce processus, nommé rhizodéposition, est d'importance écologique car 1/ c'est une perte de carbone organique pour la plante, 2/ c'est un flux d'intrant pour le compartiment de carbone organique du sol et 3/ il alimente la microflore du sol, qui est impliquée dans la grande majorité de l'activité biologique des sols tels que, par exemple, le cycle des éléments nutritionnels et des polluants ou encore la dynamique des pathogènes du sol. Les composés rhizodéposés sont d'une part transitoires et rapidement biodégradés, d'autre part difficilement extractibles voire impossible à extraire du sol. (J. Balesdent et al ; 2011).

Au cours de la dernière décennie, la biologie de la rhizosphère au niveau moléculaire a fait de grands progrès. L'apport continu de composés carbonés aux racines des plantes implique des interactions complexes entre les organismes de la rhizosphère, y compris des interactions entre des micro-organismes et des plantes, et des interactions entre des plantes et d'autres plantes de la même espèce ou d'espèces différentes. L'exsudation des racines, qui fait partie du processus de dépôt dans la rhizosphère, est une source majeure de carbone organique du sol libéré par les racines des plantes et représente clairement un coût carbone important pour les plantes. Les exsudats racinaires jouent également un rôle dans la disponibilité des éléments nutritifs du sol en modifiant la chimie du sol et les processus biologiques du sol. (Clelia De-la-Pena et al ; 2012).

Les plantes sont constamment confrontées aux changements globaux et ont développé diverses stratégies de défense pour lutter contre les attaques pathogènes, telles que des barrières préformées ou une immunité innée (Thordal-Christensen, 2003). Des études récentes suggèrent que les produits naturels sécrétés par les racines sont l'une des stratégies de l'arsenal de défense des plantes. Cependant, les mécanismes de ces interactions sont encore largement inconnus. Les plantes influencent la composition et la quantité de microbes du sol par la sécrétion de produits naturels dans la rhizosphère (Bais et al ; 2004 ; Bonkowski ; 2004) et, inversement, les produits microbiens peuvent induire l'exsudation des racines des plantes (Phillips et al ; 2004). La rhizodéposition, constituée de métabolites de petit poids moléculaire, explique une grande partie de la diversité des exsudats racinaires qui sont des acteurs clés des communications souterraines (Walker et al ; 2003a ; Bais et al ; 2006).

La composition qualitative et quantitative des exsudats racinaires est affectée par divers facteurs environnementaux, notamment le pH, le type de sol, les précipitations, l'état de l'oxygène, l'intensité lumineuse, la température du sol, la disponibilité des éléments nutritifs et la présence de micro-organismes. Ces facteurs peuvent avoir un impact plus important sur l'exsudation des racines que les différences dues aux espèces végétales (Geeta Singh et al ; 2006).

L'objectif de ce travail consiste en l'étude de l'impact des facteurs de dégradation écologiques et anthropiques sur le développement racinaire du chêne zéen et cela à l'aide de la caractérisation phytochimique et biométrique de la rhizosphère, en étudiant le pH, le Carbone et les polyphénols mais aussi en mesurant le diamètre et les longueurs des racines.

Pour ce faire nous avons réalisé ce travail qui s'articule autour de trois chapitres :

- Le premier chapitre est : La synthèse bibliographique qui traite des généralités sur le chêne zéen, le sol et la rhizosphère.
- Le deuxième chapitre : ce chapitre présente l'ensemble des matériels et méthodes qui ont été mis en œuvre pour répondre à ces objectifs.
- Et enfin le troisième chapitre : ce dernier présente les résultats obtenus et les discussions.

Matériel et méthodes

I. Présentation de l'espèce :

1. Systématique :

HAROUNI et OUDNI (1991) ont confirmé l'existence de deux sous-espèces en Algérie en étudiant la variabilité morphologique des populations de chênes zéens et de chênes verts : ssp *Quercus canariensis* et ssp *tlemsenensis*, et que la masse d'Ath Ghobri est la sous-espèce ssp *cannariensis*. Le chêne Zéen entre dans les classifications suivantes:

- Embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Ordre : Fagales
- Famille : Fagacées.
- S/Famille : *Quercinées*.
- Genre : *Quercus*.
- Esp : *Q. canariensis* Wild.

2. Aire de répartition :

Selon QUEZEL et BONIN (1980) et MEDAIL (2003), le chêne Zéen (*Quercus canariensis*) est localisé autour de la mer Méditerranée dans la région ibéro-maghrébine.

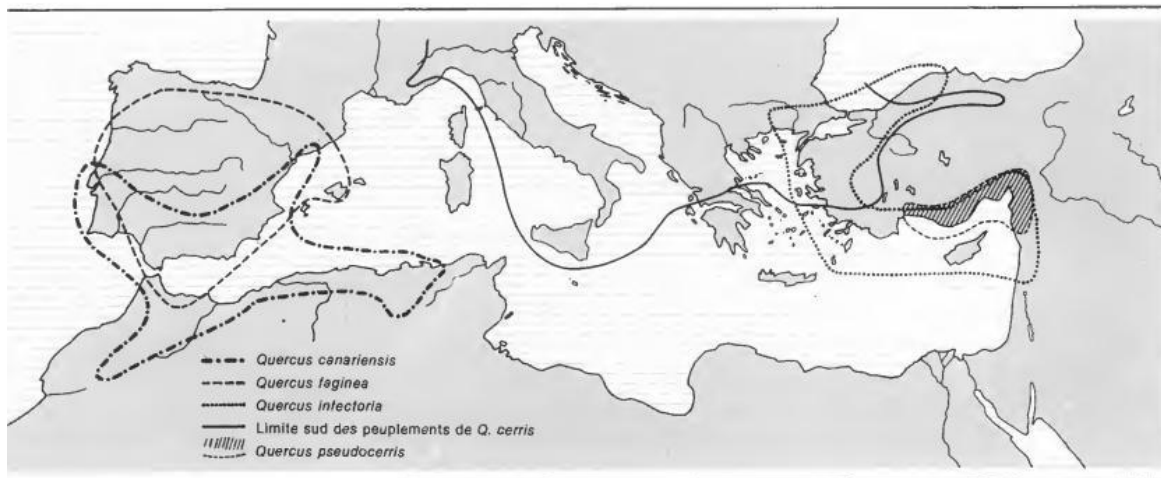


Figure 1: Répartition du chêne zéen dans le bassin méditerranéen (Quezel et Bonin; 1980)

C'est en Algérie que les plus belles futaies du chêne zéen se rencontrent (BOUDY ; 1950 ; QUEZEL et SANTA ; 1962 et LARIBI ; 2000).

La zenaie s'étend de Chréa à Kroumerie en Tunisie, couvrant 65 000 hectares, ainsi que les chênes afares couvrant 75 000 hectares (MESSAOUDENE ; 1989). La plus grande colonie est située dans la région de Numidie et est divisée en trois zones :

- La grande Kabylie où se trouvent les massifs d'Ath Ghobri et d'Akfadou.
- La petite Kabylie représentée par les massifs des Babours, Tamsguida, Guerrouche et Elma El Bared.
- Les Monts de la Meurdja dans le Djbel El Gorra.
- A Souk Ahres dans les massifs de l'Ain Zana et celle d'Ouled Bechih.

Par ailleurs, des reboisements moins importants sont à noter dans les zones suivantes : Collo, Edough, Djbel Bissa, Sidi Bernous, l'Ouarsenis, Teniet El Had, l'Atlas Blideen, Djurdjura et enfin dans les Aurès.

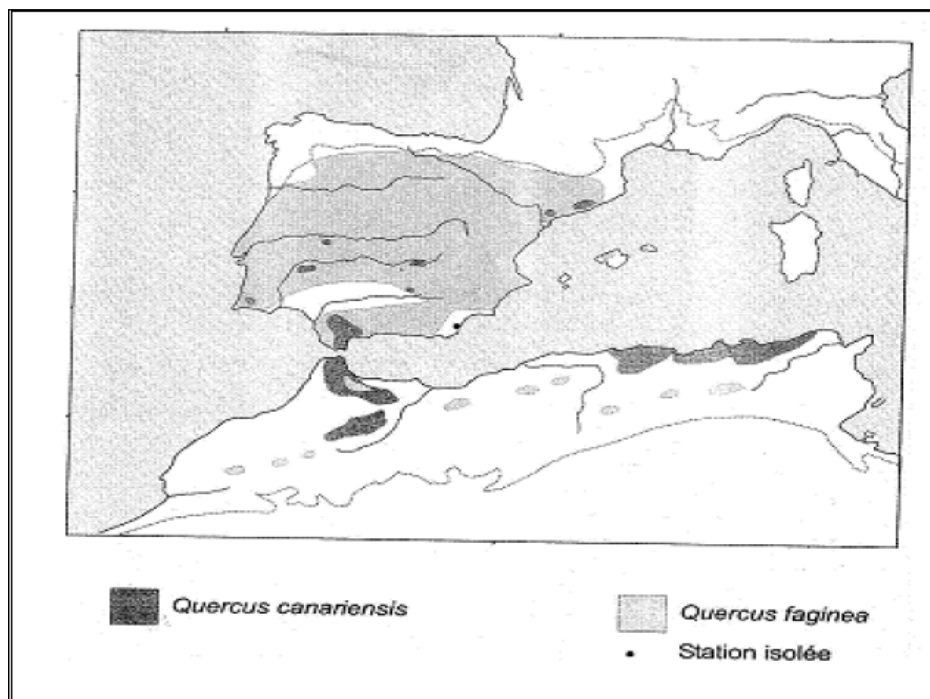


Figure 2: Aire de répartition schématique de deux chênes caducifoliés ibéro-magrébins, le Chêne fagine (Quercus faginea Lamk.) *sensu lato* et le Chêne zéen (Quercus canariensis Wild) (QUEZEL, 2003).

3. Caractéristiques botaniques du Chêne zéen:

Le chêne zéen (*Quercus canariensis*) est un Monoïque, atteignant plus de 30 m de hauteur, 2 m à 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 des blés 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 sessiles 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)

4. Ecologie du Chêne zéen:

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 zéen 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.

5. Utilité du chêne zéen :

Le bois du chêne zéen présente un grand intérêt pour l'Afrique du nord, la haute qualité de résistance et la haute adhérence de ces fibres convenant pour plusieurs utilisations (la menuiserie fine, l'ameublement et des emplois de haute qualité de résistance mécanique). Aussi, elles présentent un grand intérêt tant du point de vue écologique, biologique, esthétique, paysager et socio-économique (Rabhi; 2011).

II. Le sol :

1. Définition et description :

Le sol est 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 intime de substances minérales et organiques. C'est pour cela que le sol est considéré comme un réacteur biogéochimique interactif et un constituant multiphasiques. 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. (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 triphasique complexe, intégrant une phase solide (les particules 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 HCO_3^- et NO_3^- dans le feldspath et le mica (Sigg et al; 2001). Ces différentes réactions permettent la libération de nutriments et oligo-éléments, 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).

3. Les horizons du sol :

A. Horizon O (ou A0) :

Cet horizon est organique (riche en humus) et contient des résidus végétaux partiellement décomposés à peine reconnaissables au sol. Il contient 30 % de matière organique (Guide pédagogique, 2012).

B. Horizon A :

Il contient de la matière organique et des minéraux. Dans de rares cas, cela est causé par l'infiltration de matière organique dans le sol sous forme de composants solubles. En général, cependant, ceci est le résultat d'un mélange mécanique d'organismes (vers, insectes) dans le sol ou, dans le cas d'un travail du sol, il peut être obtenu par l'intervention d'outils (Guide pédagogique; 2012).

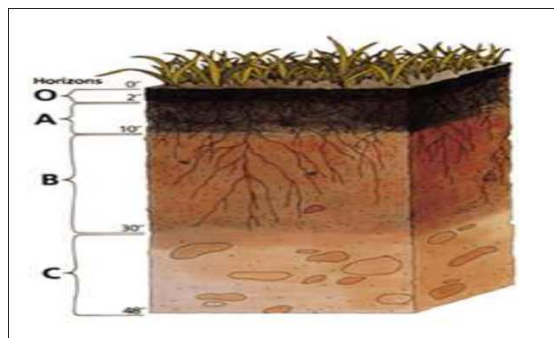


Figure 3: les différents horizons d'un profil de sol (guide pédagogique; 2012)

4. La rhizosphère :

A. Définition de la rhizosphère :

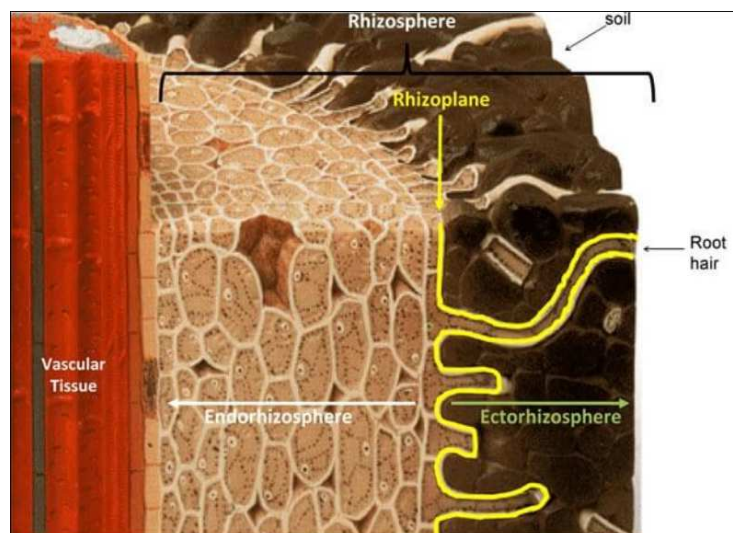


Figure 4: coupe verticale d'une racine (guide pédagogique, 2012)

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 quelques centimètres (Hinsinger; 1998 ; Chaignon; 2001 ; Hinsinger *et al*; 2005).

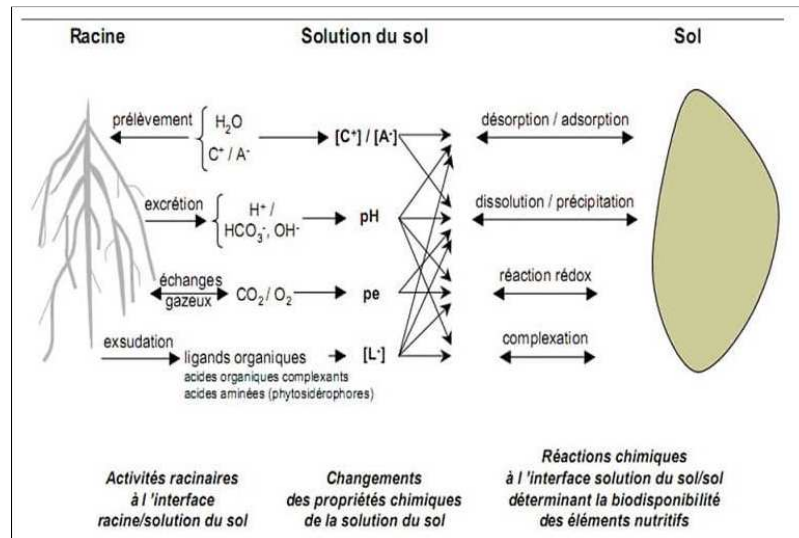


Figure 5: représentation schématique de la rhizosphère (Hinsinger, 2001)

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.

B. Composition de la rhizosphère :

On peut dire que la rhizosphère est composée du sol, d'eau, de dépôts (exsudats et mucilages) et microbiotes (bactéries, champignons, algues). (Reyes J 2011)

D'une part, le sol agit comme support physique et il fournit de la nourriture aux plantes. Ses propriétés physico-chimiques déterminent la présence et la répartition des micro-organismes, et sa conservation dépend de ces derniers. Il est possible de mettre en évidence le pH comme un facteur abiotique qui conditionne et caractérise le fonctionnement de la rhizosphère, puisque des variations de sa valeur peuvent entraîner l'inactivation des enzymes présentes

dans les micro-organismes et perturber la fixation des minéraux nutritifs. Dans cette région, les valeurs de pH sont inférieures ou plus acides par rapport au reste du sol, ce qui est dû à l'échange de cations et à la production d'acides organiques. (Reyes J; 2011)

D'une autre part, l'eau, qui est une ressource essentielle pour la vie, joue un rôle très important dans les interactions rhizosphériques. Sa disponibilité est directement liée à la porosité du sol et, son potentiel est contrôlé par le microbiote. En effet, les micro-organismes améliorent l'aération et la capacité d'infiltration du sol, favorisant ainsi le maintien de la pellicule d'eau dans la rhizosphère. (Reyes J; 2011)

En relation aux dépôts, les plantes libèrent des produits photosynthétiques (sucres, acides aminés, vitamines, acides organiques, hormones) par leurs exsudats radicaux, qui, s'ils sont de faible poids moléculaire, peuvent favoriser la diversité et la croissance microbiennes dans la rhizosphère. Ces composés organiques attirent les micro-organismes à la surface des racines, leur fournissant une source très importante de nourriture et d'énergie. L'un de ces exsudats est le mucigel, qui est une matière gélatineuse qui recouvre la surface des racines des plantes, composée de : mucilages végétaux, cellules bactériennes, polysaccharides, colloïdes minéraux et matière organique du sol. (Reyes J; 2011)

Enfin, les micro-organismes qui habitent dans la rhizosphère (bactéries, champignons, protozoaires et nématodes) sont pour la plupart bénéfiques. Les bactéries de la rhizosphère ou rhizobactéries sont responsables de la décomposition des exsudations racinaires et des résidus végétaux. Les champignons se distinguent également en établissant une relation symbiotique avec les racines, appelée mycorhize, car, comme les bactéries, ils sont capables de dégrader ou de minéraliser les substances toxiques et nocives dans un processus appelé détoxification. (Reyes J; 2011)

C. Importance de la rhizosphère

L'importance de la rhizosphère se trouve dans les interactions qui se produisent entre les plantes et le microbiote du sol. Pourquoi ? Eh bien, ça a à voir avec ce dont nous vous avons parlé précédemment (Reyes J; 2011) :

- Au travers de la rhizosphère les plantes récupèrent les nutriments. Il en va de même pour l'eau et le carbone dont les bactéries, les champignons, les insectes, les vers et les protozoaires ont besoin pour survivre.
- La microflore de la rhizosphère protège la racine contre les pathogènes, contre les maladies des racines et produit des substances qui stimulent la croissance des plantes, comme l'acide indole-acétique, les gibbérellines et les cytokinines.
- Se produit la Fixation Biologique du Nitrogène (FBN), c'est-à-dire que les micro-organismes donnent aux plantes des composés azotés assimilables (ammonium et nitrate), qu'ils fabriquent à partir de l'azote atmosphérique dans le sol (N₂).

III. 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...).

IV. Exsudation dans la rhizosphère :

Parmi les processus qui sont responsables de la différenciation de la rhizosphère par rapport au volume sol, l'exsudation des composés C a été beaucoup étudié pour son impact majeur sur la microbiologie du sol et Biogéochimie du C en milieu terrestre (Jones et al; 2004). Il est reconnu qu'une moyenne d'environ 20% du C assimilé par les végétaux supérieurs via la photosynthèse est libérée par les racines sous forme d'exsudats : sucres et polysaccharides, acides organiques et aminés, peptides et protéines. Ce chiffre peut varier de 10% à 50% et est donc toujours une composante importante du cycle biogéochimique du C. Outre l'effet dramatique de l'exsudation racinaire sur l'écologie microbienne de la rhizosphère, certains exsudats et métabolites microbiens sont également impliqué dans les processus biogéochimiques : enzymes comme les phosphatases, les protéases, les arylsulfatases, etc. avoir un effet dramatique sur le cycle biogéochimique de nutriments tels que P, N, S, etc. Parmi les exsudats racinaires, les carboxylates ont été les plus étudiés pour leur impact potentiel sur la biogéochimie des métaux, via des processus de complexation et des oxyanions tels que phosphate, via des processus d'échange de ligands et de complexation des métaux responsables de la liaison du phosphate (par exemple, Al, Ca et Fe).

V. Métabolites primaires et secondaires :

1. Définition des métabolites

Les métabolites sont les produits intermédiaires du métabolisme. Le terme métabolite est généralement, par définition, limité à de petites molécules. Les métabolites ont diverses fonctions, y compris l'énergie, la structure, la signalisation, un stimulant et des effets inhibiteurs sur les enzymes (Macheix et al;2005).

Chez les plantes, les métabolites secondaires sont importants à la survie et à la propagation de l'espèce. Il joue chez celles-ci différents rôles, comme des phéromones ou des signaux chimiques permettant à la plante de s'adapter à l'environnement (Lutge *et al*; 2002, Marouf et Reynaud; 2007).

Chez les plantes, il existe deux grandes classes de métabolites :

2. Métabolites primaires :

Les métabolites primaires sont des molécules organiques qui se trouvent dans toutes les cellules de l'organisme d'une plante pour y assurer sa survie. Ils sont classés en quatre grandes catégories: les glucides, les lipides, les acides aminés et les acides nucléiques (Macheix *et al*;2005).

3. Métabolites secondaires :

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes (Lutge *et al*; 2002). Elles sont caractérisées généralement par de faible concentration dans les tissus végétaux (généralement quelques pourcents du carbone total, si on exclue la lignine de cette catégorie) (Newman et Cragg, 2012). Ces molécules jouent un rôle dans l'adaptation des plantes à leur environnement et représentent également une source importante de produits pharmaceutiques (Bourgaud *et al*; 2001). Ils appartiennent à des groupes chimiques variés: alcaloïdes, terpènes et composés phénoliques (Macheix *et al*; 2005).

A. Les composés phénoliques :

Les polyphénols constituent un groupe de substances ubiquistes et variées allant de molécules simples jusqu'à des structures très complexes (Marouf et Reynaud; 2007). Les composés phénoliques jouent un rôle important dans les qualités sensorielles et nutritionnelles des produits végétaux car ils sont présents dans la plupart des organes et tissus utilisés ou consommés par l'homme (Manchando et Cheynier; 2006).

D. Structure chimique :

Les polyphénols se caractérisent par la présence au moins d'un cycle aromatique à 6 carbones dans leur structure, lui-même porteur d'un nombre variable de fonction hydroxyles OH (Hennebelle *et al*; 2004). La structure et le nombre de noyaux aromatiques sont la base de la classification des composés phénoliques (**Figure 6**) (Bruneton; 2009).



Figure 6: quelques composés phénoliques de base; acide salicylique (a), acide caféique (b) (Hannebelle et al; 2004)

E. Classification des composés phénoliques :

Les composés phénoliques peuvent être regroupés en de nombreuses classes (**Tableau 1**), qui se différencient d'abord par la complexité du squelette de base (allant d'un simple C6 à des formes très polymérisées), ensuite par le degré de modifications de ce squelette (degré d'oxydation, d'hydroxylation, de méthylation ...etc.), enfin par les liaisons possibles de ces molécules de base avec d'autres molécules (glucides, lipides et protéines) (Macheix et al; 2005).

Tableau 1:Principales classes des composés phénoliques (Manchando et Cheyner, 2006).

Squelette Carbone	Classe	Exemple	Origine
C6	Phénols simples	Catéchol	Nombreuses espèces
C6-C1	Acide hydroxy benzoïques	P-hydroxy benzoïque	Epices, frais
C6-C3	Acide hydroxycinnamiques coumarine	Acide caféique scopolétin	Pomme de terre, pomme, citrus
C6-C4	Naphtoquinones	Juglone	Noix
C6-C2-C6	Stilbénes	Resvérato	Vigne
C6-C3-C6	Flavonoïdes Iso flavonoïdes	Quercétine, cyanidine, daidzéine	Fruit, légumes, fleurs soja, pois
(C6-C3) ₂	Lignane	Pinorésinol	Pin
(C6-C3-C6) _n	Tanins condensés		Raisin, kaki

I. Etude du Milieu :

1. Situation géographique :

L'étude est menée dans la forêt des Ath-Ghobri (Fig. 7) située à environ 40 Km à l'est de Tizi-Ouzou, elle s'étend sur une superficie de 5705 ha et limitée :

- Au nord par une ligne de crête la séparant de Tamgout par l'Oued Acif Hammam,
- Au sud par le village de CherfaBahloul, AssiakBouada et Chebel;
- A l'est par la forêt d'Akfadou,
- A l'ouest par une plantation parsemée de petits hameaux et par le chemin de Wilaya (CW N° 134).

Les coordonnées angulaires sont : $36^{\circ}44'59''$ Nord et $4^{\circ}24'46''$ Est, avec une altitude moyenne de 735 m Le point le plus bas est de 270 m (Tizi-Bouchen) et le point le plus haut de 1200 m (Djebel Affroun) (carte topographique d'Azazga feuille N° 24)



Figure 7: situation géographique de la station d'étude à el Ainseur (source Google Earth)

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 Flysh de Tagdimt (Flysh à microbrèche et marnes à plaquettes), qui ne débord pas des affleurements gresseux sauf au niveau des clairières qui montrent un niveau sous-jacent au numidien (Yakouren de Tizi-Ouffelah).

3. Géomorphologie :

La région d'Ath-Ghobri est formée par un chaînon de montagnes orienté NW-SE qui correspond à un affleurement massif de grès numidien profondément entaillé par un réseau hydrographique dense. Ce dispositif montagneux se raccorde par sa partie septentrionale à la chaîne littorale du djebel Tamgout et par sa partie sud-est au chaînon de l'Akfadou (BENHASSAIN; 1980).

4. Climat :

Notre région répond au climat méditerranéen, qui se caractérise chaque année par l'inverse de la chaleur et des fortes pluies : des hivers froids et humides et des étés chauds et secs. La zone d'étude est l'une des zones les plus humides du nord de l'Algérie du fait de sa situation géographique. En effet, elle offre tous les avantages d'une bonne pluie, proche de la mer du Nord et du massif du Djurdjura au sud, formant une barrière aux vents humides méditerranéens.

Selon MEDDOUR (2010), BENI-HOBRI s'inscrit dans le climat meso-méditerranéen qui présente entre 75 et 100 jours secs.

Son régime pluviométrique est de type H-P-A-E.

5. 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 6 montre la température mensuelle moyenne pour ces années. La température des eaux souterraines est constante. Dans les puits profonds, il ne change que dans la plage de 2-3 ° C. Plus l'aquifère est profond, plus la variabilité est grande. Connaître la température de l'eau est très important, car elle joue

un rôle dans la mesure de la solubilité des sels et des gaz, de la dissociation des sels dissous, et donc de la conduction électrique et du Ph (RODIER; 1996) (tableau 02).

Tableau 2:Températures moyenne annuelles en °C (2001-2010) (ONMTO,2010)

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

6. Précipitations :

L'un des principaux facteurs climatiques est la précipitation. Comprend toutes les eaux courantes qui peuvent limiter la surface de la Terre sous forme de liquides ou de solides (Yakoub; 2005).

Pour l'analyse des précipitations, nous avons retenu la période d'observation de 2001 à 2010 pour deux stations, Azazga et Yakouren dont les coordonnées Lambert sont les suivantes :

- X : 649.25 Km
- Y : 383.9 Km
- Z : 430m

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.

Tableau 3: Pluviométries moyennes annuelles (2001-2010) de la commune d'Azazga, en (mm)

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

7. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

Bagnouls et Gausсен ont établi un diagramme qui permet de dégager la durée de la période sèche en s'appuyant sur la comparaison des moyennes mensuelles de températures en degrés Celsius avec celles des moyennes mensuelles des précipitations en mm, en admettant qu'un mois est sec lorsque le double de la température moyenne mensuelle est supérieure ou égale à la moyenne mensuelle des précipitations ($P \text{ mm} < 2T^{\circ}\text{C}$), (Bagnouls et Gausсен 1953, in Meddour., 1992).

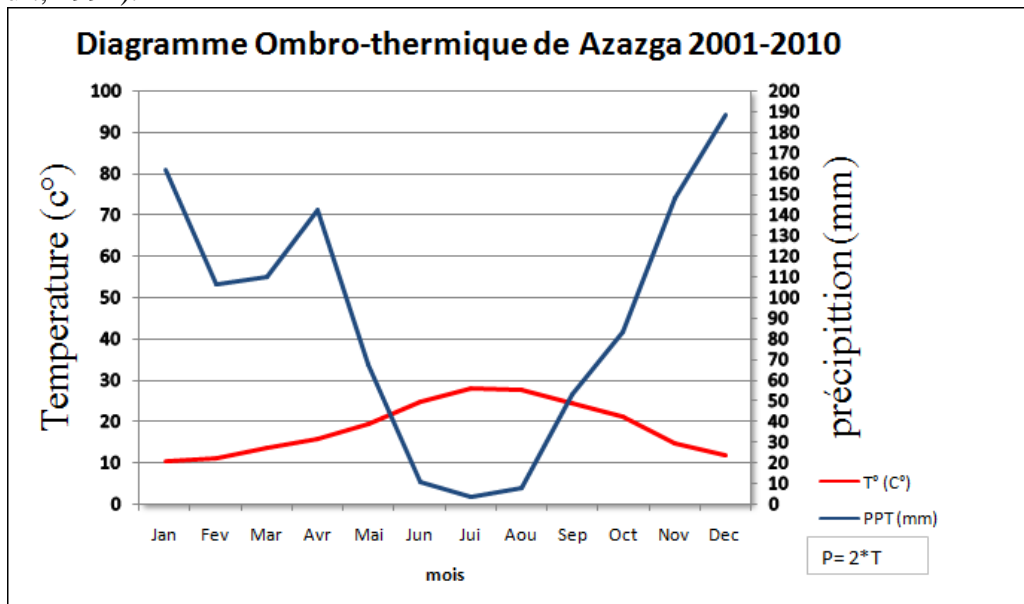


Figure 8: Diagramme ombrothermique de la région de Azazga

La lecture du diagramme ombrothermique de la région montre une période de sécheresse s'étalant de la mi-mai à la mi-septembre.

II. Echantillonnage :

L'échantillonnage a été réalisé en saison printanière, les prélèvements ont eu lieu au mois d'avril 2022, 30 arbres ont été choisis dans notre station suite à cela on a tiré au sort 6 individus, sous chaque arbre le point nord est pris comme repère pour notre prélèvement.

1. Echantillonnage des racines et du sol :

Dans ce travail nous avons marqué au hasard six (6) sujets *Quercus canariensis* d'une zéénée homogène dans la localité d'Ainseur, forêt d'Ath Ghobri. La matière végétale et le sol ont été récoltés suivant la méthode de Uterano et al ; (2000). Un volume de sol de 25x25x10 cm est prélevé sur chaque niveau (profondeur).

Les racines et les sols des deux niveaux (N1 et N2) sont récupérés dans des sacs. Ces derniers sont conduits au laboratoire afin de les traiter (figures 9 ; 10)



Figure 10: Repère du prélèvement

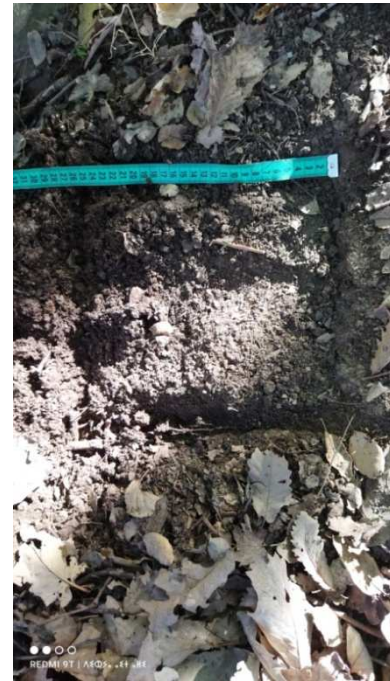


Figure 9: Quadra de 25*25 cm

III. Biométrie racinaire :

Au laboratoire, nous avons nettoyé toutes les racines à l'aide d'une brosse fine, afin d'extraire tout le sol rhizosphérique et le rhizoplan, ces derniers sont gardés soigneusement afin d'éviter toute contamination et les analyser (figure 11).



Figure 11: brossage et nettoyage des racines (photo de Ahmed Nadi)

A l'aide d'un pied à coulisse et d'une règle nous avons mesuré le diamètre ainsi que la longueur des racines. En suite ont les a laissés sécher à l'aire libre et a l'obscurité (figure 12).



Figure 12: Mesure du diamètre des racines avec un pied à coulisse électronique.

IV. Analyse du sol :

Nous avons laissé le sol sécher à l'air libre et à l'obscurité, nous avons procédé à un tamisage à l'aide d'un tamis de 2 mm, en suite ont à récupérer la portion fine.

1. Dosage du pH :

Pour chaque échantillon, nous avons pris 05 g du sol (figure 13), auquel nous avons rajouté 25ml d'eau distillée, puis nous avons procédé à une agitation de 15 minutes à l'aide d'un

agitateur, suivie de deux heures de repos à température ambiante. Le pH eau est mesuré à température ambiante (22°C) à l'aide d'un pH-mètre (figure 14).



Figure 13: pesée du sol



Figure 14: Mesure du pH avec un pH-mètre

2. Carbone :

Nous avons procédé au dosage du carbone organique du sol, en suivant la méthode par déshydratation puis calcination à 450°C. Nous avons pris 02 échantillons de 05g de sol tamisé et nettoyé méticuleusement.

Ensuite nous avons utilisé des creusets en céramique préalablement chauffés durant 16 h dans un four électrique à 550°C, puis passé au dessiccateur et pesé à l'aide d'une balance à précision, ainsi nous avons obtenus les poids des creusets vide (M0).

05g de sol de chaque échantillon est introduit dans un creuset, ensuite nous avons mis les creusets à l'étuve à 220°C durant 16 h, puis au dessiccateur pour refroidir.

Une fois refroidies, nous avons pesé les creusets pleins et obtenus le poids de nos creusets avec échantillon après passage à l'étuve (M1).

Nous avons mis les creusets dans un four électrique pendant 04 h à 450°C.

Une fois refroidies au dessiccateur, nous avons pesé les creusets après calcination et nous avons obtenus le poids (M2) (figures 15; 16; 17 et 18).

Une fois nos résultats obtenus, la perte au feu exprimée en % de la masse de l'échantillon déshydraté est donnée par la loi suivante :

$$\text{Perte au feu en \%} = (M1 - M2) / (M1 - M0) \times 100$$

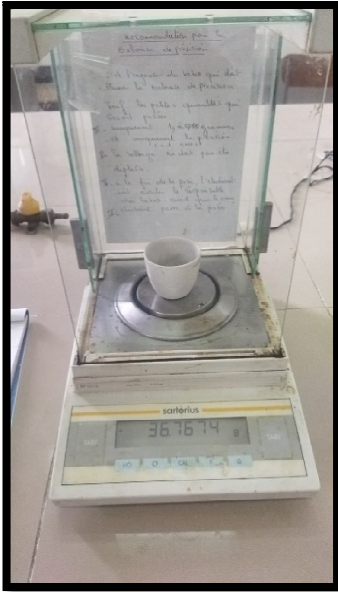


Figure 15: pesée du sol à l'aide d'une balane de précision



Figure 16: mise à l'étuve 16h à 220°C



Figure 18: mise au four à 450°C



Figure 17: dessiccateur

V. Préparation des extraits racinaires

Nous avons pris une même biomasse racinaire pour chaque sujet échantillonné. Ces derniers sont mélangés soigneusement afin d'avoir un échantillon moyen homogène. Ce dernier est broyé à l'aide d'un broyeur électrique afin d'avoir une poudre fine (figure 19).



Figure 19: Broyage et pesée de la poudre des racines.

L'extraction méthanolique est réalisée suivant le protocole élaboré par Ouzid et al ; (2018) Modifié. Cette extraction est réalisée pour une saison (printemps 2022) et sur deux niveaux (N1 et N2). 2g de poudre de racine sont mélangés à 20 ml de méthanol dilué à 70 %. Cette étape est suivie d'une agitation pendant 30 min, la solution est ensuite mise en macération à 4°C pendant 24 heures. Une centrifugation est effectuée à 4000 tours/minute pendant 15 min

pour recueillir le surnageant. Ce processus a été répété trois fois. Ensuite, le solvant a été éliminé par évaporation dans des cristallisoirs (figures 20 ; 21 et 22)



Figure 20: Macération



Figure 21: A: conservation à 4°C (24H)



B: Centrifugation

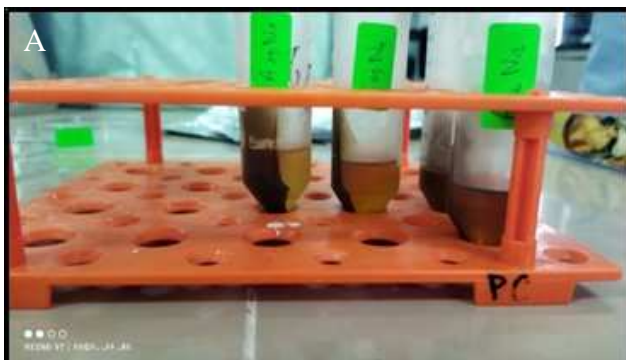
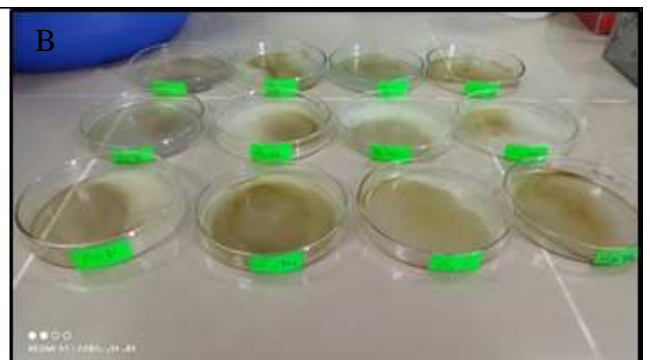


Figure 22: A: Récupération du surnageant



B: Evaporation

VI. Dosage des phénols totaux :

Les polyphénols totaux sont estimés en utilisant le réactif Folin-Ciocalteu suivant le protocole élaboré par Li et al; (2007).

200 μ l de l'extrait sont mélangés avec 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué au 1/10. Après 4 min, 800 μ l de carbonate de sodium Na_2CO_3 (75mg/ml) est rajouté à la solution. Après 2h d'incubation à température ambiante, la mesure de l'absorbance est faite à 765 nm. Une gamme étalon (10/100 μ g/ml) a été préparé avec l'acide gallique et les résultats sont exprimés en mg d'acide gallique par g de résidu sec (mg EAG/ g RS) (figure 23).



Figure 23: Dosage des polyphénols totaux.

Résultats et discussion

I. Résultats et discussions :

1. Résultats :

A. Polyphénols totaux :

La figure 24 montre que les deux niveaux (N1 et N2) présentent des taux en Polyphénols totaux(PPT) élevés, cependant les PPT dans le N2 sont supérieures à celles du N1. Les valeurs obtenues expriment une richesse en PPT dans les deux niveaux.

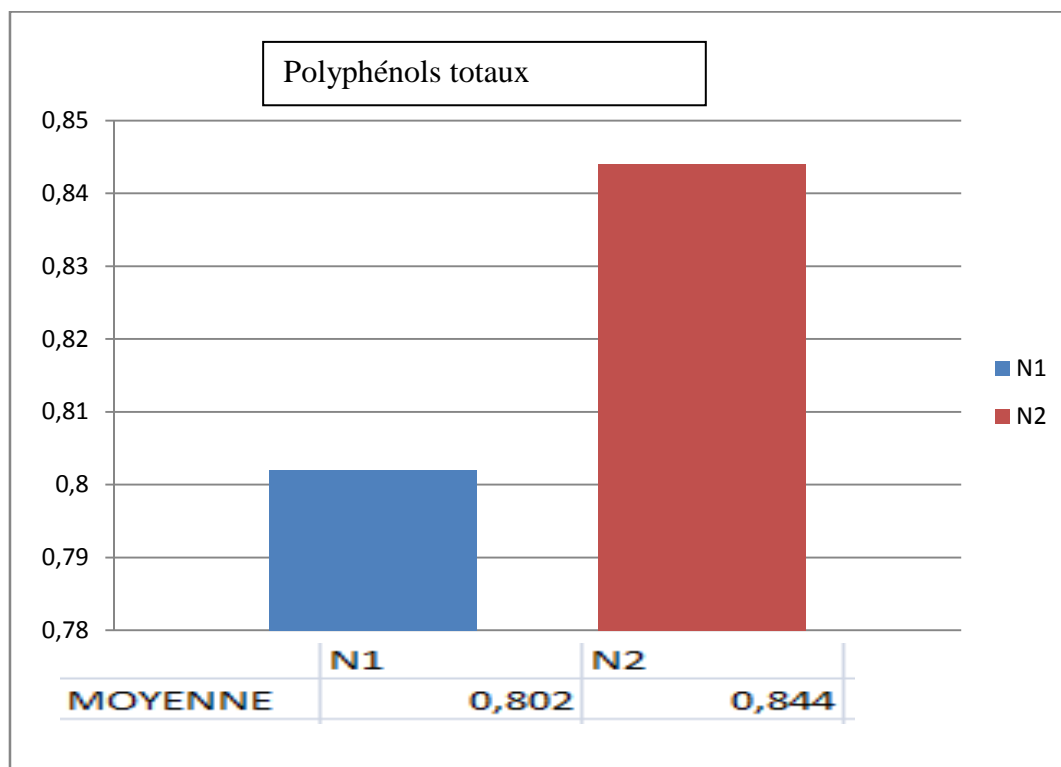


Figure 24: Variation des teneurs en polyphénols Totaux (PPT) selon deux niveaux.

La teneur en PPT est de 0.802mg EAG/g dans le N1 et de 0.844mg EAG/g dans le N2. La teneur la plus importante a été enregistrée dans le niveau 2.

B. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

On remarque que plus on descend plus le sol est acide et que Le pH du sol varie de 6.32 dans N1 à 5.73 dans le N2.

Le pH KCl des sols dans le N2 est plus acide que le N1 avec les valeurs de 4.76 pour le N2 et 5.86 pour le N1.

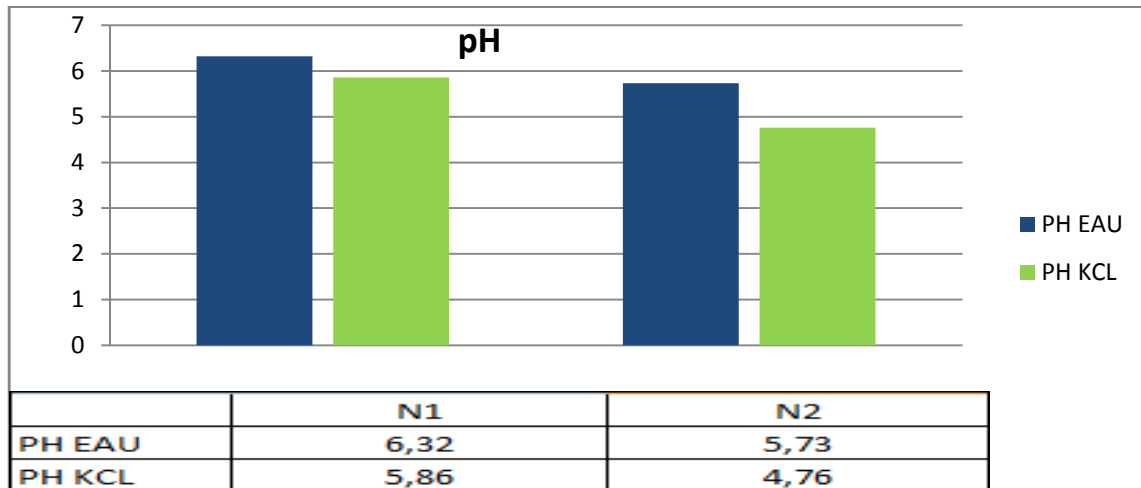


Figure 25:Variation du pH et du pH K-Cl dans deux niveaux N1 et N2.

C. Carbone organique :

L'analyse du carbone révèle que la moyenne du carbone dans le N1= 4.55 est beaucoup plus élevé que la moyenne dans N2= 2.76.

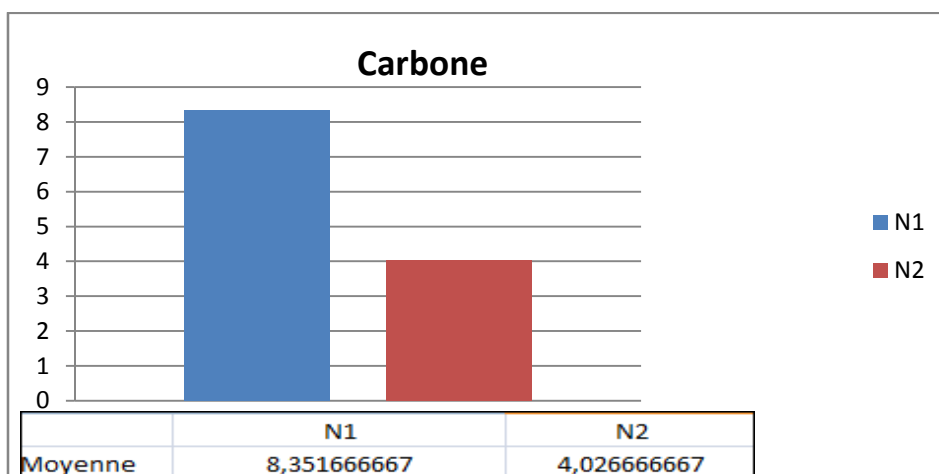


Figure 26:Variation du carbone dans deux niveaux N1 et N2.

D. Biométrie racinaire :

a. Diamètre des racines :

Le résultat du diamètre de la racine (en mm), indique que N1 à la moyenne la plus élevée par rapport au niveau N2.

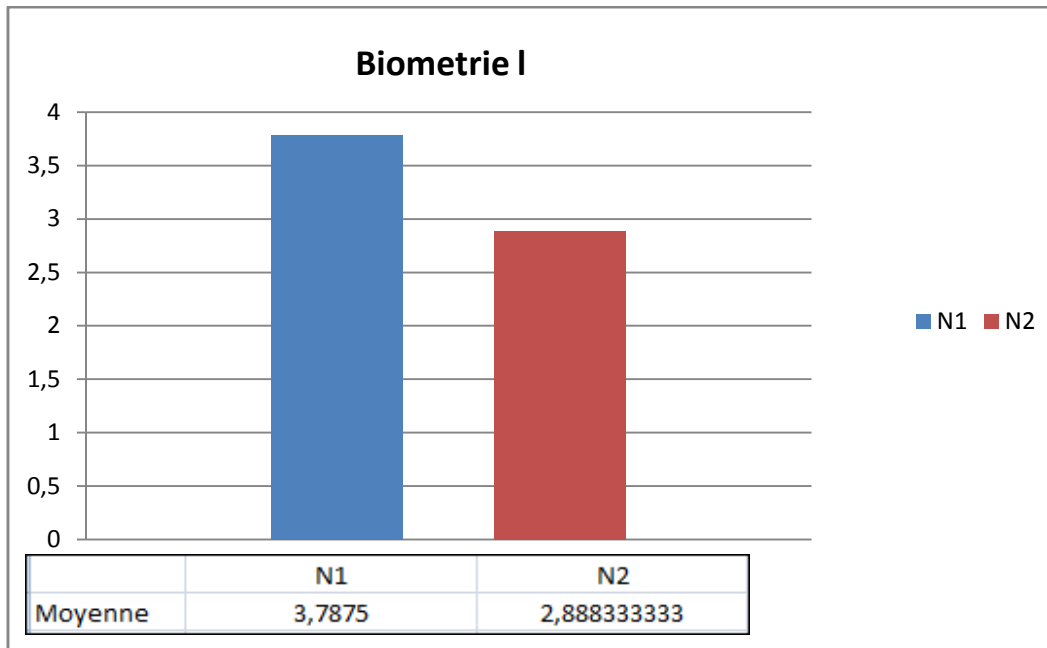


Figure 27:Variation du diamètre des racines dans deux niveaux N1 et N2

b. Longueur des racines :

Les résultats manifestent que la longueur des racines (en mm) présente une forte moyenne dans N1 et en faible moyenne dans N2.

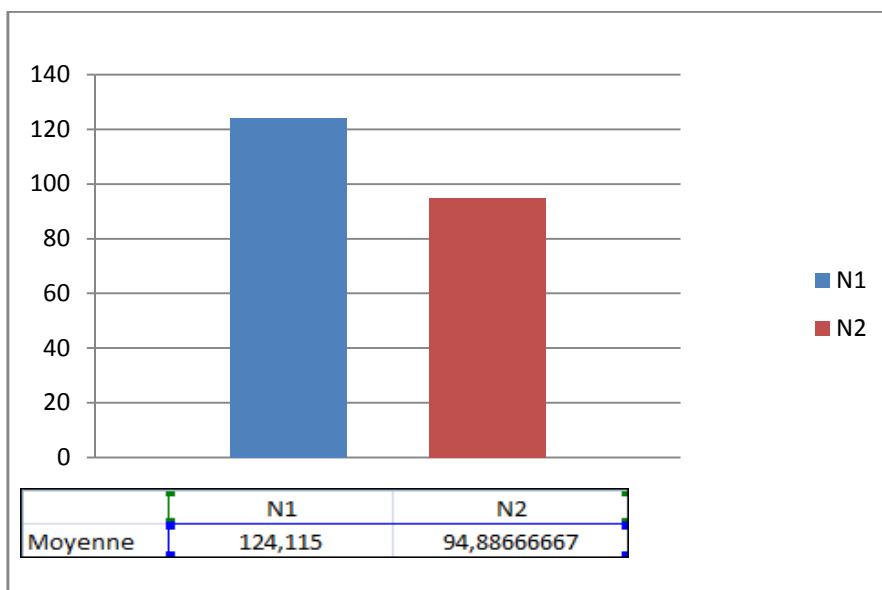


Figure 28:Variation de la Longueur des racines dans deux niveaux N1 et N2.

2. Discussion :

Globalement nos résultats montrent que le N1 compte les concentrations les plus élevées en carbone, le pH le plus élevé et les diamètres et longueurs les plus grands par rapport au N2. On remarque aussi que les polyphénols contrairement aux autres paramètres sont plus élevés dans le N2.

Une des originalités majeures des végétaux réside dans leur capacité à produire des substances naturelles très diversifiées (MACHEIX et al; 2005).

Les résultats (Fig.24), montrent une variation de la teneur en polyphénols selon la profondeur. Cela peut s'expliquer par l'infiltration des polyphénols dans le sol causée par les fortes précipitations précédant l'échantillonnage. Selon HARRIS, (1977), les facteurs climatiques et environnementaux peuvent influencer sur le taux de composés phénoliques comme: la lumière, les précipitations, la topographie, la saison et le type de sols.

Le N1 est plus riche en carbone que le N2 dont les valeurs sont respectivement C= 4.55%, C=2.76% De façon générale, le carbone du sol est plus important dans le N1 que le N2 du fait que le N1 est localisé dans l'horizon A qui est organique.

En général, le cycle du carbone et la séquestration du carbone sont plus actifs dans les horizons supérieurs du sol, L'accumulation du Carbone dans les horizons superficiels du sol peut s'expliquer par les échanges avec l'atmosphère et la fabrication du Carbone par les microorganismes dans le profil superficiel du sol (Kaiser et Kalbitz; 2012). Il est désormais admis qu'en moyenne 20% du carbone assimilé par les végétaux supérieurs, sont exsudés et libérés dans le sol par les racines (Hinsinger et al; 2005). Ces exsudats représentent une source d'énergie et d'aliments nutritifs pour les microorganismes qui sont impliqués dans la dynamique et l'augmentation de la matière organique (Morel; 1989 ; Hinsinger; 2001).

La baisse de pH en fonctions de la profondeur peut s'expliquer par la nature de la roche mère, les hydroxydes et les oxydes en milieu acide le fer et l'Al peuvent être libéré dans la solution du sol. Leur hydrolyse produit des ions H⁺ contribuant ainsi à acidifier le sol (Duchaufour; 1995). Cependant, l'activité racinaire et celle de la microflore associée sont à l'origine de modifications des propriétés biochimiques et microbiologiques (Stengel et Gelin; 1998 ; Neumann, et al; 2006) et minéralogiques (Turpault et al; 2009) des sols à proximité immédiate des racines actives.

Les diamètres ainsi que les longueurs sont plus importantes dans le N1, l'étude effectué par (Badri et al; 2012) confirme nos observations, les différents microbiomes de l'horizon A induisent une augmentation de la biomasse racinaire et affecte aussi le pH du sol.

Conclusion :

Les résultats obtenus du dosage du Carbone et du pH montrent la forte activité biologique présente dans les 10 premiers centimètres du sol à savoir le N1.

L'analyse des données phénoliques démontre une forte présence d'exsudats racinaires atteignant les 0.844mg EAG/g dans le N2 ce qui nous informe de la présence d'un stress au niveau des racines et donc de la station, ce qui peut être du aux changements globaux.

Notre étude nous a permis de mettre en évidence l'importance des taux d'exsudats racinaires présents dans les racines du chêne zéen et des différents facteurs physico-chimiques à savoir le pH et le Carbone du sol rhizosphérique dans la détermination de la qualité des sol dans une station forestière.

Bibliographie :

1. **Aissi A.; Beghami Y.; Heuertz M. 2019.** Le chêne faginé (*Quercus faginea* , Fagaceae) en Algérie: potentiel germinatif et variabilité morphologique des glands et des semis. *Plant Ecology and Evolution* 152: 437–449.
2. **Bais HP, Park SW, Weir TL, Callaway RM, Vivanco JM. 2004.** How plants communicate using the underground information superhighway. *Trends Plant Science* 9: 26–32.
3. **Bonkowski M. 2004.** Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. *New Phytologist* 162: 617–631.
4. **Boudy P. 1952.** Guide du Forestier en Afrique du Nord. La maison rustique. Ed. Paris. 505 p.
5. **Boudy P. 1950.** Économie forestière Nord-Africaine. Monographie et Traitement des essences. Paris, 229-249.
6. **BOUDY P., 1950-** Economie forestière Nord-africaine, Tome 2, Fasc. I, Ed. Larose, Paris. 575p.
7. **BOUDY P., 1952-** Guide du forestier en Afrique du Nord. Edition la Maison. Rustique, Paris. 505p.
8. **Calvet, R. 2003.** *Le sol: proprietes et fonctions.* Ed. France agricole; Dunod, Paris.
9. **Camuzard J. P., 2005.** Le Sol, Un Milieu Complexe Au Pouvoir Epurateur Limité. Engref Paris.
10. **Chaignon, V. 2001** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse : Ecole Doctorale, Sciences de l'Environnement : Système Terre, Université d'Aix-Marseille.
11. **Chen, Y.-H., F. Aires, J.A. Francis, and J.R. Miller, 2006:** Observed relationships between Arctic longwave cloud forcing and cloud parameters using a neural network. *J. Climate*, **19**, 4087-4104, doi:10.1175/JCLI3839.1.
12. **Clelia De-la-Pena, Dayakar V. Badri et Victor M. Loyola-Vargas 2012.** Sécrétions des racines des plantes et leurs interactions avec les voisins ; J.M. Vivanco et F. Balusčka (eds.), Sécrétions et exsudats dans les systèmes biologiques, signalisation et communication chez les plantes 12, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.

13. **D. Harris, (1997).** Mesure de la biomasse microbienne dans la rhizosphère ; Revue canadienne des sciences du sol 1997.
14. **E. Rojas-Briales, H. Ravenel 2013.** Etat des forêts méditerranéennes, E-ISBN 978-92-5-207538-7 (PDF) ; FAO, 2013
15. **FAO ; 2006 : Evaluation** des ressources forestières mondiales 2005, Rome, 310p
16. **Geeta Singh, Krishna G. Mukerji 2006 ;** Soil Biology, Volume 7 Microbial Activity in the Rhizosphere Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.
17. **Grégoire T. Freschet, Cyrille Violle, Catherine Roumet, Eric Garnier ; 2019 ;** Interactions entre le sol et la végétation : structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol. P. Lemanceau & M. Blouin. Les sols au cœur de la zone critique 6: écologie, 6, ISTE editions, pp.83-99, 2018, 9781784053840. fahal-02359528f.
18. **Guide pédagogique, 2012.** (Les sols terreux fertiles) Volet 1-Apport de connaissances.
19. **HAROUNI F. et OUDNI H., 1991 -** Application de l'analyse multifactorielle à la variabilité morphologique des populations de Chêne zéen (*Quercus faginea* Lamk.S.I) et du Chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lamk) Approche taxonomique .Mém.Ing.Agr.Univ. de Tizi –ouzou Inst.d'agronomie. 116 et 592 p.
20. **Hinsinger, P., 1998.** How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. Adv. Agron. 64, 225 – 265.
21. **Hinsinger, P., 2001.** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant Soil 237, 173 – 195.
22. **Hinsinger, P., Gobran, G.R., Gregory, P.J., Wenzel, W.W., 2005.** Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. New Phytol. 168, 293 – 303. Jones, D.L., 1998. Organic acids in the rhizosphere—a critical review. Plant Soil 205, 25 – 44.
23. **Hongliang Zhu 1,2 , Deren Yang 2 , Guixia Yu 1 , Hui Zhang 2 et Kuihong Yao 1 2006 •** Une voie hydrothermale simple pour synthétiser des boîtes quantiques de SnO₂ ; IOP Publishing Ltd Nanotechnology, 17 , 9.
24. **J. Balesdent, D. Derrien, S. Fontaine, S. Kirman, K. Klumpp, et al.. 2011** Contribution de la rhizodéposition aux matières organiques du sol,

- quelques implications pour la modélisation de la dynamique du carbone. Etude et Gestion des Sols, Association Française pour l'Etude des Sols, 2011, 18 (3), pp.201-216. hal-02650492.
- 25.**J. Ranger ; 2001.** Les sols forestiers (Forest soils). In: Bulletin de l'Association de géographes français, 78e année, 2001-2 (juin). Les forêts entre nature et société. pp. 119-134.
- 26.**K. MECHERGUI , W. JAOUADI, Y. AMMARI 2021 ;** Le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) en Tunisie: Écologie, production, état de dégradation et les pratiques d'aménagement, revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires • p-ISSN: 2028-991X .P148.
- 27.**LARRIBI M., 2000-** contribution à l'étude phytosociologique des formations caducifoliés à *Quercus canariensis* Willd et *Quercus afares* Pomel du massif forestier d'Ath Ghobri et l'Akfadou (Grande kabylie). Thèse Maj. Univ. Mouloud Mameri (Tizi Ouzou),140p.
- 28.**Macheix j j, Fleuriet A , jay-Allemand C. 2005.**les composés phénoliques des végétaux (un exemple de métabolites secondaires d'importance économiques).Edition techniques et documentation Lavoisier.
- 29.**Manneville, O., Vergne, V. Et Villepoux, O. 1999.** Le monde des tourbières et des marais.Delachaux et Niestlé. 320p.
- 30.**MESSAOUDENE M. et TESIÉ L., 1991-** Croissance radiale de *Quercus canariensis* Willd. Et *Quercus afares* Pomel. En Kabylie (Algérie). Ecologia Mediterranea XVII pp. 119 133.
- 31.**Morel R., 1989a -** Analyse des facteurs de la croissance de la plante pour la définition du concept de fertilité des sols. In: Fertilita del suolo e nutrizione delle piante. SISS et SICA, Eds., pp 57-73.
- 32.**Mugnossa G., Scarascia, Oswald H., Piussi P. & Radaglou K., 2000.** Forests of the Mediterranean region: Gaps in knowledge and research needs.For.Ecol.Manag.132: 97-109.
- 33.**Neumann G, Kohls S, Landsberg E, Stock-Oliveira Souza K, Yamada T, Römheld V 2006** Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. J Plant Dis Protect 20:963–969.
- 34.**P.DUCHAUFOR.1995-** Pédologie. Sol, végétation, environnement. 4 édition. Masson, 1995, Paris, 324 p.
- 35.**PIERRICK H.2014.**Sol (pédologie)- Définition issu de Sante-Médecine (santemedecine.commentcamarche.net).

36. **QUEZEL 2003-** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen .Ed ELSIVIER .SAS.
37. **QUEZEL et MEDAIL, 2003-** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen .Ed ELSIVIER .SAS. 571 p.
38. **Quézel P. & Médail F., 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Paris, 592 p.
39. **QUEZEL P. et BONIN G., 1980 :-** Les forets de feuillus du pourtour méditerranéen , conservation écologique ,situation actuelle ,perspectives, Rev.For.Fra.1982(3) PP. 253-268.
40. **QUEZEL P., et SANTA S., 1962 -** Nouvelles flores de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. C.N. R. S., 2 tomes, Paris. 1170p.
41. **Quezel P., Medail F. 2003.** Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Ed. Elsevier SAS, 571p.
42. **Rabhi K. 2011.** Ajustement de modèles hauteur- circonférence- âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station. Magister en Foresterie Option: Gestion et Conservation des Eco-systèmes. Algérie. 82p.
43. **Reyes Jaramillo, I. 2011.** Dépt. de biologie, division CBS. UAM- Iztapalapa. La mycorhize arbusculaire (MA) centre de la rhizosphère : communauté microbiologique dynamique du sol : http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/81/pdfs/mico_riza.pdf
44. **Sigg, L., Behra, P. & Stumm, W. 2001.** Chimie des milieux aquatiques chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. 3e edn. Dunod, Paris.
45. **Sousa E. & Atay-Kadiri Z., 2005.** Le déclenchement des perturbations physiologiques des peuplements de chêne-liège : une synthèse des relations agent/hôte. *Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bull.* 28(8), 2005 pp. 9-16.
46. **Stengel, P., & Gelin, S. 1998.** Sol : interface fragile. Paris: Editions INRA.
47. **Thordal-Christensen H. 2003.** Fresh insights into processes of nonhost resistance. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 351–357.
48. **Uroz, S., Calvaruso, C., Turpault, MP et Frey-Klett, P. 2009** Altération des minéraux par les bactéries : écologie, acteurs et mécanismes. *Tendances en microbiologie*, 17, 378-387. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tim.2009.05.004>.

Résumé :

Le présent travail a pour objectif l'étude de l'impact des facteurs de dégradation écologiques et anthropiques sur le développement racinaire du chêne zéen et cela à l'aide de la caractérisation phytochimique et biométrique de la rhizosphère, en étudiant le pH, le carbone et les polyphénols mais aussi en mesurant le diamètre et les longueurs des racines.

Globalement nos résultats montrent que le N1 compte les concentrations les plus élevées en carbone, le Ph le plus élevé et les diamètres et longueurs les plus grands par rapport au N2. En général, le cycle du carbone et la séquestration du carbone sont plus actifs dans les horizons supérieurs du sol, l'accumulation du carbone dans les horizons superficiels du sol peut s'expliquer par les échanges avec l'atmosphère et la fabrication du carbone par les microorganismes dans le profil superficiel du sol. Il est désormais admis qu'en moyenne 20% du carbone assimilé par les végétaux supérieurs, sont exsudés et libérés dans le sol par les racines. Les résultats obtenus du dosage du carbone et du Ph montrent la forte activité biologique présente dans les 10 premiers centimètres du sol à savoir le N1. L'analyse des données phénoliques démontre une forte présence d'exsudats racinaires dans le N2 ce qui nous informe de la présence d'un stress au niveau des racines et donc de la station, ce qui peut être dû aux changements globaux.

Abstract:

The objective of this work is to study the impact of ecological and anthropogenic degradation factors on the root development of the Zeean oak, using the phytochemical and biometric characterization of the rhizosphere, by studying the pH, carbon and polyphenols but also by measuring the diameter and the lengths of the roots.

Overall our results show that N1 has the highest carbon concentrations, the highest Ph and the largest diameters and lengths compared to N2. In general, the carbon cycle and carbon sequestration are more active in the upper soil horizons, the accumulation of carbon in the superficial soil horizons can be explained by exchanges with the atmosphere and the production of carbon by microorganisms in the surface profile of the soil. It is now accepted that on average 20% of the carbon assimilated by higher plants is exuded and released into the soil by the roots. The results obtained from the carbon and Ph assay show the strong biological activity present in the first 10 centimeters of the soil, namely N1. The analysis of the phenolic data shows a strong presence of root exudates in the N2 which informs us of the presence of stress at the level of the roots and therefore of the station, which may be due to global changes.