République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi -Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Etres vivants

MEMOIRE présenté en vue de l'obtention du diplôme DE MASTER

Domaine: Science de la nature et de la vie

Filière: Sciences biologique

Option: Biotechnologie végétale

Thème:

Effet du pin d'Alep *(Pinus halepensis)* Sur la Fertilité du sol dans la région de Tébessa- Fôret de Gouraye

Présenté par:

Boulahraf Chaima

Devant le jury :

Boudjabi Sonia	Pr.Universitè deTébssa	**Présidente**
Benharoun Souad	M.CB.Université deTébssa	**Examinatrice**
Ghedabnia Karima	M.A.A.Universitè deTébssa	**Promotrice**

Date de soutenance 04/06/2024

Année universitaire 2024 /2025

Remerciement

À l'issue de ce modeste travail, je tiens tout d'abord à remercier notre bon Dieu Tout-Puissant, de m'avoir accordé la patience, la volonté, ainsi que Son aide miséricordieuse tout au long de ma vie et durant mes années d'études.

Je suis également particulièrement reconnaissante de pouvoir exprimer ma profonde gratitude à :

Mlle Ghedabnia Karima, ma promotrice, pour avoir accepté de m'encadrer, pour sa disponibilité, et pour la qualité de son accompagnement tout au long de ce travail.

Mme Boujabi Sonia, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Mme Ben Haroun Souad, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'examiner ce travail.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont soutenue dans les moments difficiles.



Dédicace

وآخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين}

À celle qui fut la compagne de mes larmes, de ma joie et de ma tristesse, ma tendre et bienveillante compagne de route et d'âme : ma mère. Qu' Allah la garde et la protège.

À celui sur qui j'ai toujours pu compter, qui ne m'a jamais laissé seul, qui m'accompagne depuis mon enfance et me protège : mon père. Qu' Allah le garde et le protège.

A mon frér e Ayoub ,merci pour ta présence et ton soutien précieux .je te souhaite une santé florissante et une réussite éclatante dons tous les domaines de ta vie

À mon cher frère Khalifa, à qui je souhaite santé, bien-être et abondance.

À mon petit frère Ibrahim, à qui je souhaite réussite dans la vie ainsi que santé et bien-être.

À Yazane, mon neveu, dont le sourire et l'amour ont été pour moi un Soutien constant ; je lui souhaite santé, bien-être et longue vie.

À ma chère amie Ibtisame, qui a été comme une sœur pour moi et m'a soutenu(e) À chaque instant ; je lui souhaite succès et éclat dans sa vie.

À mes chères amies Farida et Rayen, je vous souhaite succès et réussite.

À mon âme, ma tante Houria, qui a quitté ce monde mais demeure à jamais dans nos cœurs.

À l'âme de ma grand-mère Hadda, qui a quitté ce monde et continue de vivre dans mon cœur.

À tous ceux que j'aime dans ma famille,

À tous ceux qui m'aiment,

À tous ceux qui me sont chers,

Et à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.



Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'influence de l'essence de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) sur la fertilité des sols dans une région semi-aride de Tébessa (Forêt de Gouraye).

Pour ce faire, deux stations ont été comparées : l'une forestière (pinède de Gouraye) et l'autre laissée à l'état naturel en tant que témoin. Trois échantillons de sol ont été prélevés dans chaque station afin de procéder à des analyses physico-chimiques portant sur les paramètres suivants : la texture, le pH, la conductivité électrique, le taux de matière organique, les teneurs en calcaire total et actif, ainsi que l'humidité hygroscopique et l'humidité au champ.

Les résultats obtenus ont révélé une amélioration des propriétés édaphiques sous *Pinus halepensis*, notamment une évolution de la texture du sol, passant de limoneuse-sableuse à limono-argilo-sableuse, une augmentation de l'humidité, ainsi qu'une amélioration du taux de matière organique. En revanche, aucun effet significatif n'a été observé sur la conductivité électrique, ni sur les teneurs en calcaire actif et total.

Mots-clés : Tébessa, Gouraye, Sol, *Pinus halepensis*, Fertilité.

Abstract

This study aims to evaluate the influence of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) on soil fertility in a semi-arid region of Tébessa (Gouraye Forest).

To achieve this, two sites were compared: one reforested area (the Gouraye pine forest) and another left in its natural state as a control. Three soil samples were collected from each site for physico-chemical analyses, focusing on the following parameters: texture, pH, electrical conductivity, organic matter content, total and active lime content, as well as hygroscopic moisture and field capacity.

The results revealed an improvement in soil properties under *Pinus halepensis*, including a shift in soil texture from loamy-sandy to loamy-clay-sandy, an increase in soil moisture, and a higher organic matter content. In contrast, no significant effect was observed on electrical conductivity or on total and active lime levels.

Keywords: Tébessa, Gouraye, Soil, *Pinus halepensis*, Fertility.

ملخص

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير الصنوبر الحلبي *pinus Halepensis* على خصوبة التربة لمنطقة شبه جافة من ولاية تبسة (غابة قوراي) ولهذا تمت مقارنة محطتين احداهما غابية (غابة قوراي) و الأخرى غير مزروعة كشاهد تم اخذ ثلاث عينات من التربة من كل محطة من أجل التحليل الفيزيوكميائي للتربة منها القوام الاس الهيدروجينيpHوالناقلية الكهربائية, نسبة المادة العضوية ,نسبة الكلس الكلي والكلس الفعال ,بالإضافة الي نسبة الرطوبة الحقلية والهيدرو سكوبية اظهرت النتائج تحسنا في الخصائص الفيزيوكميائية للتربة تحت تأثير الصنوبر الحلبي خاصة من خلال تطور قوام التربة من طمية رملية الى طمية رملية طينية وزيادة في نسبة الرطوبة وكذلك ارتفاع في نسبة المادة العضوية، في المقابل لم نلاحظ اي تأثير معنوي على الناقلية الكهربائية ونسبة الكلس الكلي و الفعال

الكلمات المفتاحية: تبسة، غوراي، تربة، *Pinus halepensis*، خصوبة.

Table Des Matières

Dédicace

Remercîment

Résume

Abstract

ملخص

.Introduction Général : 1

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Le pin d'Alep 5

1 .2 . Description botanique du pin d'Alep 5

1.2.1. Feuilles ou aiguilles..... 5

1.2.2. L'écorce 5

1.2.3. Fleur 6

1.2.4. Fruits 7

1.2.5. Les rameaux..... 7

1.2.6. Les grain du pin d'Alep..... 7

1.2.7. Le bois du pin d'Alep..... 8

1.2.8. Le système racinaire du pin d'Alep 8

1.3. Classification..... 9

1.4 .Répartition du pin d'Alep..... 9

1.4.1 Dans le monde..... 9

1.4.2. En Algérie 10

1.5. Exigences édaphiques..... 11

1.6. Exigences climatiques..... 11

1.7. Importance écologique du pin d'Alep..... 12

2. Le sol 12

2.1. Définition du sol 12

2.2. Composition du sol 13

2.3. La fertilité du sol 13

2.4. Facteurs physiques 13

2.4.1. La structure 13

2.4.2 La texture 14

2.4.3 La porosité 14

2.5. Facteurs chimiques 14

2.5.1. Le pH du sol 15

2.5.2. La conductivité électrique (CE) 15

2.5.3. Matière e organique 15

2.5.4. Présence d'éléments nutritifs 16

2.6. Facteurs biologiques 16

2.7. Les types de sols dans les zones à pin d'Alep 17

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

1. Description de la zone d'étude 19

1.1. Situation géographique 19

1.2. Le site d'étude 19

1.3. Le climat 21

2. L'étude du sol 22

2.1. Echantillonnage 22

2.2. Analyses physico-chimiques du sol 22

2.2.1. pH 22

2.2.2. Conductivité électrique 23

2.2.3. Texture du sol 23

2.2.4 La matière organique..... 24

2.2.5. Calcaire total..... 25

2.2.6 Le calcaire actif 25

2.2.7 L'humidité..... 26

3. Traitement statistique 26

CHAPITRE III : RESULTATS

1. **PH du sol**..... 28
2. **La conductivité électrique** 28
3. **La texture du sol** 29
4. **La matière organique** 29
5. **Le calcaire total**..... 30
6. **Le calcaire actif** 31
7. **L'humidité hygroscopique**..... 31
8. **L'humidité aux champs** 32

CHAPITRE IV : DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

DISCUSSION GENERALE..... 34-38

CONCLUSION 40

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
01	Arbre de *Pinus halepensis* (Photo personnelle, 2025)	4
02	Les feuilles du pin d'Alep (Photo personnelle, 2025)	5
03	L'écorce d'arbre du pin d'Alep (Photo personnelle, 2025)	5
04	Les cônes mâles (Photo personnelle, 2025)	6
05	Les grains du pin d'Alep (Photo personnelle, 2025)	6
06	Le système racinaire (Photo personnelle, 2025)	7
07	Aire de répartition du Pin d'Alep en région méditerranéenne (Ghougali, 2011)	8
08	Aire de répartition du Pin d'Alep en région méditerranéenne (Ghougali, 2011)	10
09	Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Seigue, 1985)	11
10	Localisation de la région d'étude	19
11	Les Stations d'études	20
12	Diagramme ombrothérmique de la région de Tébessa de période 1980-2016	22
13	Variations des valeurs moyennes de pH selon les stations.	28
14	Variations des valeurs moyennes de la conductivité électrique selon les stations.	28
15	Variations des valeurs moyennes de la matière organique selon les stations. (Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)	29
16	Variations des valeurs moyennes du calcaire total selon les stations.	30
17	Variations des valeurs moyennes du calcaire actif selon les stations. (Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)	31
18	Variations des valeurs moyennes de l'humidité hygroscopique selon les stations. (Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)	31
19	Variation des valeurs moyennes de l'humidité aux champs selon les stations (Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titre	Page
01	La variation de la texture selon les stations d'étude	29

INTRODUCTION

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est l'un des arbres les plus couramment utilisés en reboisement en raison de sa croissance rapide et de sa remarquable tolérance aux conditions climatiques extrêmes (Zavala *et al*.,2004). Il constitue une essence de choix pour la protection des sols, notamment dans les zones semi-arides et subhumides, grâce à sa résistance à la sécheresse et sa capacité à s'adapter aux sols pauvres (Bonnier, 1990 ;Antoni *et al*., 2004).

Ce conifère joue un rôle écologique majeur en contribuant à la fertilité et à la stabilité des sols. Par la décomposition de sa litière (composée de feuilles, rameaux, fruits et exsudats racinaires) il enrichit le sol en matière organique et en éléments minéraux essentiels (Mangenot, 1980). Cette litière favorise la formation de l'humus, qui intervient dans les processus pédogénétiques et améliore la structure du sol. Par ailleurs, le couvert végétal du pin d'Alep régule le débit des cours d'eau, limite les risques d'inondation et réduit significativement l'érosion des sols.

Le sol constitue la base physique et biologique de tout écosystème forestier. Sa fertilité, définie par sa capacité à fournir les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes, dépend de plusieurs facteurs physiques tels que la texture et la structure, chimiques comme le pH, la matière organique et les nutriments, ainsi que biologiques, incluant les microorganismes et la faune du sol (Brady et Weil, 2008 ; Havlin *et al*., 2013). Le couvert végétal, en particulier les espèces ligneuses comme le pin d'Alep, exerce une influence importante sur l'ensemble de ces propriétés.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact de *Pinus halepensis* sur la fertilité du sol. Dans ce but, une étude comparative a été menée entre un site reboisé par le pin d'Alep (pinède de Gouraye) et une parcelle témoin non plantée. Cette comparaison repose sur l'analyse de plusieurs paramètres pédologiques, en partant de l'hypothèse que le pin d'Alep pourrait contribuer à une amélioration qualitative des caractéristiques du sol. Les paramètres analysés incluent le pH, la conductivité électrique (CE), l'humidité du sol, la texture, le taux de matière organique, ainsi que les teneurs en calcaire actif et total.

Ce mémoire est structuré en une introduction générale, suivie de quatre chapitres principaux. Le premier chapitre, qui constitue une synthèse bibliographique, est consacré au pin d'Alep. Il présente ses caractéristiques morphologiques et leurs repartions, ainsi que son rôle écologique. Ce chapitre aborde également les sols, en décrivant leurs propriétés

Physiques, chimiques et biologiques qui contribuent à la fertilité du sol. Le deuxième chapitre est dédié à la présentation du matériel et de la méthode utilisés. Il décrit les zones d'étude, les échantillonnages réalisés et les protocoles analytiques appliqués. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus au cours de l'étude. Enfin, le quatrième et dernier chapitre propose une discussion générale des résultats ainsi que les conclusions tirées de ce travail.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Le pin d'Alep

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est désigné par plusieurs noms, tels que le pin de Jérusalem, le pin blanc ou encore al Sanouber al halabi (Figure1). Cette essence méditerranéenne, de caractère continental, se distingue par sa robustesse et sa grande plasticité, ce qui lui permet de s'adapter à des conditions écologiques difficiles. Elle présente également des traits xérophiles, thermophiles et hélophiles (Letruch, 1991).

On le rencontre à des altitudes allant de la basse altitude jusqu'à 2200 m, s'étendant

Ansi du littoral jusqu'à l'Atlas saharien (Soltani, 2016). Cet arbre produit ses premiers f ruits dès l'âge de 10 à 12 ans, tandis que ses graines n'atteignent leur pleine fertilité qu'à partir de 18 à 20 ans. La fructification intervient en été et en automne de l'année suivant la fécondation (Seigue, 1985).



Figure01. Arbre de *Pinus halepensis* (Photo personnelle, 2025)

1 .2 . Description botanique du pin d'Alep

1.2.1 Feuilles ou aiguilles

Les aiguilles mesurent entre 6 et 10 cm de longueur pour environ 1 mm de largeur (Figure 2). Elles sont fines, souples, lisses, à sommet aigu, et disposées par paires en faisceaux à l'extrémité des rameaux (Nahal, 1962).



Figure02 .les feuilles du pin d'Alep (Photo personnelle, 2025)

1.2 .2 L'écorce

Chez le pin d'Alep, l'écorce présente initialement une teinte gris argenté et demeure lisse durant la jeunesse. En vieillissant, elle se crevasse progressivement pour former le rhytidome(Figure3) (Bernard, 2013).



Figure03. L'écorce d'arbre du pin d'Alep (Photo personnelle, 2025)

1.2.3. Fleur

a. Les cônes mâles

Chez cette espèce monoïque, les cônes mâles apparaissent dès le mois de mai. Il s'agit de chatons ovoïdes, cylindriques, de teinte jaunâtre, groupés à la base des jeunes pousses annuelles (Figure 4) (Bogrow *et al*., 2008).



Figure 04 . Les cônes mâles (Photo personnelle, 2025)

b. Les cônes femelles

Les cônes femelles, de forme ovoïde allongée et mesurant entre 5 et 8 cm, présentent une coloration brun clair à maturité (Figure5) .Ils deviennent matures au bout de deux ans. Initialement vert clair, ils sont disposés de manière légèrement oblique et perpendiculaire aux rameaux. L'écusson des écailles est proéminent et ridé (Nahal, 1962).



Figure 05. Les cônes femelles (Photo personnelle, 2025)

1.2.4. Fruits

Les fruits du Pin d'Alep sont des cônes ovoïdes, brillants et brunâtres, mesurant de 5 à 12 cm de longueur et portés par des pédoncules recourbés (Blamey, 2000). Ils atteignent leur maturité au cours de la deuxième année et libèrent généralement leurs graines au cours de la troisième année (Nahal, 1962).

1.2.5. Les rameaux

Les rameaux du pin d'Alep sont d'abord vert clair, puis deviennent gris clair et sont relativement fins . Cet arbre est polycyclique, car il produit souvent une seconde pousse au cours de la même année. Les bourgeons, non résineux, sont ovoïdes, aigus, de couleur brune, avec des écailles libres bordées de blanc (Kadik, 1987).

1.2.6. Les grain du pin d'Alep

Le Pin d'Alep produit une graine comestible appelée Zgougou, largement utilisée en Tunisie pour la préparation d'une crème traditionnelle (Dahman, 1986).



Figure06.Les grain du pin d'Alep (Photo personnelle, 2025)

1.2.7. Le bois du pin d'Alep

Le bois du Pin d'Alep est utilisé dans la caisserie, la fabrication de pâte à papier, ainsi que pour la confection de poteaux, lorsque la forme de l'arbre le permet. Il est également apprécié pour la construction de pilotis et d'embarcations (Venet, 1986).

1.2.8. Le système racinaire du pin d'Alep

Le système racinaire du pin d'Alep est de type pivotant, selon la nature du sol, ce pivot peut être complété ou remplacé par un réseau de racines latérales superficielles, favorisant l'absorption rapide de l'eau et la stabilité de l'arbre, même en sols pauvres(Figure 07). Cette organisation racinaire lui confère une bonne tolérance à la sécheresse et une grande capacité d'adaptation aux conditions des régions méditerranéennes (Quézel et Médail, 2003).



Figure7. Le système racinaire (Photo personnelle, 2025)

1.3. Classification

Selon Quézel et Médail (2003), la classification classique de *Pinus halepensis* s'établit comme suit :

Règne	Plantae (Plantes)
Division	Pinophyta (conifères)
Classe	Pinopsida
Ordre	Pinales
Famille	Pinaceae (Pinacées)
Sous-famille	Pinoideae
Genre	Pinus
Espèce	Pinus halepensis Mill., 1768

1.4 .Répartition du pin d'Alep

1.4.1 Dans le monde

À l'échelle mondiale : Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) pousse naturellement dans les régions entourant le bassin méditerranéen (Figure 08), à l'exception notable de l'Égypte. Son principal centre de distribution se situe dans le bassin méditerranéen occidental, en particulier en Afrique du Nord, notamment en Algérie et en Tunisie. Cette espèce s'étend depuis l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Libye) et le Moyen-Orient (Syrie, Liban, Jordanie, Palestine, Turquie), jusqu'au sud de l'Europe méditerranéenne, incluant l'est de la Grèce, la Croatie, le nord de l'Italie, l'est de la France et l'est de l'Espagne(Abloul et Ladjal, 2020).

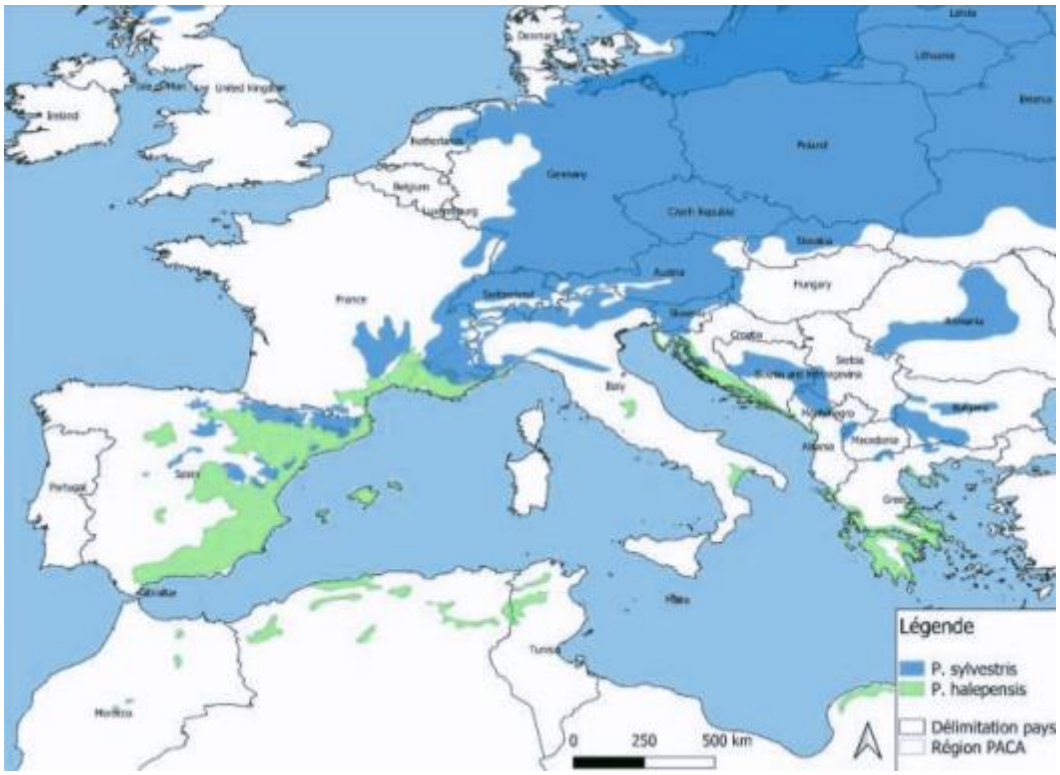


Figure 08. Aire de répartition du Pin d'Alep en région méditerranéenne (Ghougali, 2011)

1.4.2. En Algérie

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) constitue une composante majeure du couvert forestier en Algérie, couvrant environ 35 % de la surface forestière nationale, soit une superficie estimée à près de 800 000 hectares selon Mezali (2003) (Figure 09). Il est largement réparti à travers différentes zones bioclimatiques, avec une forte présence dans les régions semi-arides. On le retrouve notamment dans plusieurs grandes régions du pays : la wilaya de Tébessa, les plateaux constantinois et les montagnes des Aurès ; la région d'Alger, incluant les forêts de Médéa et les monts des Bibans, situés dans le nord du pays ; ainsi que dans les forêts des monts de Saïda, de Mascara, de Sidi Bel Abbès et de Telagh. Enfin, cette espèce est également bien représentée dans l'Atlas saharien, notamment dans la région de Djelfa, au niveau des monts des Ouled Naïl (Guit, 2015).

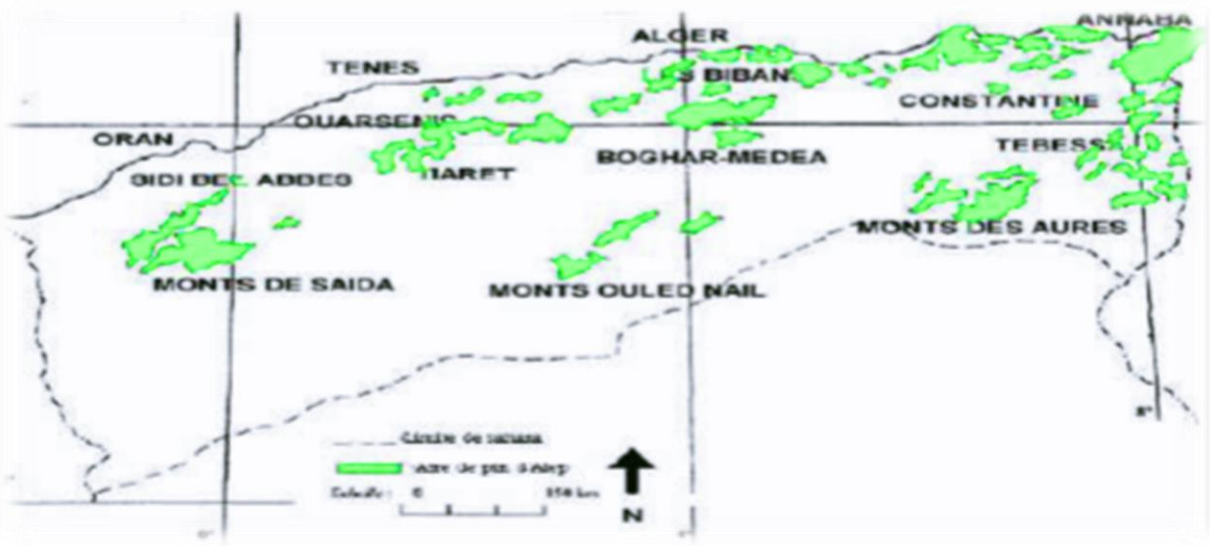


Figure09. Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Seigue, 1985)

1 . 5. Exigences édaphiques

Le Pin d'Alep se développe sur divers types de substrats, notamment les marnes, les calcaires, les schistes et les micaschistes. En revanche, il est absent des terrains granitiques ou gneissiques. Cette espèce semble relativement indifférente à la nature de la roche-mère, mais elle privilégie les substrats meubles ou friables pour son installation (Loise, 1976 ; Quézel, 1986).

1.6. Exigences climatiques

Le pin d'Alep se développe principalement dans les étages bioclimatiques méditerranéens, notamment aride supérieur, semi-aride, subhumide et humide, mais il demeure caractéristique de l'étage semi-aride (Nahal, 1986). Espèce héliophile et xérophile, elle tolère des conditions de forte luminosité et de longues périodes de sécheresse.L'extension naturelle de cette essence est principalement déterminée par trois facteurs climatiques : la répartition des précipitations, l'intensité de la sécheresse estivale et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid. Son aire optimale se situe entre 400 et 600 mm de précipitations annuelles, avec une température moyenne comprise entre 13,5 °C et 15 °C. Les meilleures formations naturelles se rencontrent dans des zones où la moyenne des minima

hivernaux varie entre -1,8 °C et 5 °C. Ainsi, les bioclimats semi-aride et subhumide inférieur à variance fraîche ou froide semblent les plus favorables à son développement (Kadik, 1987).

1.7. Importance écologique du pin d'Alep

Le pin d'Alep joue un rôle écologique fondamental. Grâce à son système racinaire étendu, il stabilise efficacement les sols, même en terrains accidentés, et limite l'érosion hydrique par son couvert végétal et la litière qu'il produit (Benabid, 1994). Cette litière contribue également à l'enrichissement du sol en matière organique, améliorant ainsi sa structure, son aération, sa capacité de rétention d'eau et stimulant l'activité biologique. Le pin d'Alep participe activement au cycle des nutriments en favorisant la décomposition de ses aiguilles et en stimulant l'activité microbienne et fongique, ce qui facilite la minéralisation de la matière organique (Quézel et Médail, 2003). Bien qu'il puisse induire une légère acidification des sols en raison de la richesse de ses aiguilles en composés phénoliques, cet effet reste modéré et dépend des conditions locales. Dans les milieux pauvres et dégradés, sa tolérance à la sécheresse en fait une espèce pionnière précieuse pour la restauration des écosystèmes (Maestre *et al*., 2003).

2. Le sol

2.1. Définition du sol

Le sol se définit comme une formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques. Selon Khellout (2004), le sol se compose de cinq éléments majeurs – particules minérales, matière organique, eau, air et organismes vivants – et résulte de l'altération de la roche mère sous l'influence du climat, de la topographie, de la végétation et du temps.(Alzouma, 2005).

2.2. Composition du sol

Les sols sont des milieux très hétérogènes qui sont composés d'une matrice solide, constituée de matière minérale et de matière organique et d'une phase fluide (gaz et liquide) qui occupe l'espace poral laissé entre les particules solides, communément appelées microporosité et macroporosité, Les rapport volumiques de ces derniers diffère essentiellement en fonction du type de sol et de son état d'humidité (Calvet, 2003). lles sont donc déterminées respectivement par la structure et la texture du sol et d'une grande diversité d'organismes vivants (Buysse et Aubinet, 2010).

2.3. La fertilité du sol

La fertilité du sol désigne sa capacité à répondre aux besoins des plantes en leur fournissant les éléments nutritifs indispensables dans un environnement physique, chimique et biologique favorable à leur croissance, reproduction et productivité. Elle résulte d'un équilibre complexe entre divers facteurs, dont l'influence varie selon le type de plante, la nature du sol, son usage et les conditions climatiques locales (Abbott et Murphy, 2003 ; Brady et Weil, 2016). On peut regrouper ces facteurs en trois grandes catégories interdépendantes .

2.4. Facteurs physiques

Ce sont les propriétés physiques du sol qui influencent la disponibilité de l'eau, de l'air et la croissance des racines, tels que la texture, la structure, la porosité et la capacité de rétention en eau, qui influencent la circulation de l'eau, de l'air et des racines

2.4.1. La structure

La structure du sol est l'organisation des particules minérales du sol en agrégats sous l'influence de liaisons par des colloïdes (minéraux argileux, substances humiques) ou des hydroxydes de fer ou d'aluminium. Cette structure est particulaire (ou absence de structure), comme pour le sable meuble fragmentaire ou grumeleuse (cas le plus courant), les constituants étant liés solidaires par le complexe argilo-humique qui forme

des agrégats (sol à structure sphérique, angulaire, lamellaire) et des mottes (éléments structuraux formés par les actions de fragmentation et de compactage des outils): massive (ou continue) comme le limon battant, les argiles. La description précise de cette

structure est difficile d'autant qu'elle est fréquemment différente d'un emplacement à l'autre. Si l'analyse structurale à l'échelle des mottes est susceptible d'être menée (état interne et type d'assemblage), cette difficulté a poussé les pédologues à décrire la structure en fonction de données mesurables (stabilité structurale, porositéet perméabilité, rétention en cau, indice de battance.). (Hénin *et al*, 1969)

2.4.2 La texture

La texture du sol correspond à la répartition des constituants solides (minéraux et matière organique) en fonction de la taille des particules, mesurée selon leur diamètre, sans considération de leur nature chimique (Gobat *et al*., 2010). Elle influence directement la structure du sol, affectant par conséquent sa porosité ainsi que sa capacité à retenir et à drainer l'eau. En particulier, la proportion d'argile joue un rôle déterminant dans la formation du complexe argilo-humique, influençant la capacité d'échange cationique, la fertilité du sol et la profondeur possible d'enracinement. La texture étant une propriété stable, elle constitue un indicateur fiable de l'évolution pédologique à long terme (Gobat *et al*., 2010).

2.4.3 La porosité

La porosité est l'espace d'un sol qui n'est pas occupé par ses constituants solides. Elle correspond donc aux vides du sol pouvant être remplis par de l'eau et/ou de l'air, en proportion variable selon les conditions climatiques. la porosite temere la masse volumique apparente (Pa) d'un sol sec ou à sa densité apparente (da), qui correspond à la même grandeur, mais sans unité). En effet, plus la masse volumique apparente élevée. (Michel *et al*, 2011). Selon Kaouritchev (1980) on appelle porosité du sol le volume total des pores dans l'unité de volume du sol. La porosité totale se subdivise en porosité capillaire et porosité non capillaire (pores d'aération). Ordinairement, les pores non capillaires sont remplis par l'air du sol. L'eau qu'ils renferment s'y trouve sous l'influence de la gravité et n'y reste pas. Les pores capillaires contiennent de l'eau retenue par les forces pelliculaires.

2.5. Facteurs chimiques

Ce sontles éléments qui déterminent la disponibilité des nutriments essentiels.parmi ces facteurs

2.5.1. Le pH du sol

Le concept de pH implique l'acidité du sol sur un scalaire 1 à 14, un milieu est neutre lorsque son pH est 7. Il est acide en dessous, il est basique ou alcalin au-dessus. Les sols calcaires sont habituellement basiques, les sols sableux ou forts fertiles en matières organiques sont d'un caractère plutôt acide. La plupart des plantes s'adaptent à un pH de la neutralité (de 6 à 7,5) certaines nécessairement en revanche du sol acide (plantes acidophiles) ou au contraire calcaire. (Duchaufour, 1977)

2.5.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) d'une solution de sol constitue un indicateur de la concentration en sels solubles présents dans le sol. Elle reflète approximativement la concentration des solutés ionisables dans l'échantillon, soit son niveau de salinité. Cette propriété électrochimique repose sur le principe que la d'une solution augmente proportionnellement à l'accroissement des concentrations en cations et en anions, qui sont les porteurs de charges électriques. En pédologie, la conductivité électrique (CE) est exprimée en millimhos par centimètre (mmho/cm) ou en décisimens par mètre (dS/m), à une température de référence de 25°C (Mathieu et pieltin ., 2003).

2.5.3. Matière e organique

La matière organique du sol (MOS) regroupe l'ensemble des composés carbonés d'origine végétale et animale, principalement concentrés dans les horizons superficiels du sol (entre 0 et 130 cm). Elle se décline en quatre catégories : la matière organique vivante (organismes tels que vers de terre, insectes, champignons, bactéries), la matière organique fraîche principalement végétale, la matière organique labile composée de substances facilement dégradables comme les glucides simples et les acides aminés, et enfin la matière organique stable ou humus, issue de la décomposition avancée de résidus végétaux

(Anonyme, 2009). Selon Dubreuil (2000), la matière organique représente environ 5 à 10 % du sol. elle provient de l'activité biologique, animale et végétale du milieu, et conditionne son évolution (Magny et Baur, 1962 ; Mathur et Wong, 1991 in Pallo *et al*., 2008). elle joue un rôle essentiel dans la fertilité des sols, notamment en constituant une réserve nutritive, en améliorant la capacité de rétention en eau, en assurant un effet tampon face aux variations de pH, et en influençant les propriétés physiques du sol comme la structure et la porosité (Duchaufour, 1984). En agissant sur la structure et la circulation de l'air et de l'eau dans les

horizons de surface, elle participe activement à la qualité du sol (Duchaufour, 1977). Par ailleurs, la matière organique agit comme un ciment liant les constituants minéraux (argile, limon, sable), favorisant la formation d'agrégats grâce à ses propriétés électroniques à l'origine des complexes argilo-humiques (Baise et Djabiol, 1995). Enfin, elle constitue une réserve importante d'éléments minéraux, notamment d'azote, qui sont progressivement libérés sous une forme assimilable par les plantes par le biais du processus de minéralisation.

2.5.4. Présence d'éléments nutritifs

La présence d'éléments nutritifs majeurs tels que l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S) est essentielle pour maintenir et améliorer la fertilité du sol. Ces nutriments soutiennent la croissance végétale, stimulent l'activité microbienne et favorisent une bonne structure du sol. Un équilibre adéquat entre ces éléments permet d'optimiser la rétention d'eau, la disponibilité des nutriments et la productivité des écosystèmes. Leur carence ou leur excès peut altérer la santé des sols et limiter le développement des plantes (Brady, 1984).

2.6. Facteurs biologiques

Les facteurs biologiques de la fertilité du sol concernent l'ensemble des organismes vivants présents dans le sol, dont le rôle est essentiel pour maintenir son bon fonctionnement, notamment à travers la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments. L'activité microbienne, assurée par une diversité d'organismes tels que les bactéries, les champignons, les actinomycètes qui participent à la transformation de la matière organique en formes minérales assimilables par les plantes, contribuant ainsi directement à la nutrition végétale (Van Elsas *et al*., 2007). En parallèle, la faune du sol, composée entre autres de vers de terre, d'insectes et de nématodes, intervient dans l'amélioration de la structure du sol, en favorisant l'aération, la perméabilité et la formation d'agrégats stables, tout en participant activement aux processus de minéralisation (Lavelle et Spain, 2001). Enfin, certaines interactions symbiotiques, comme celles établies entre les racines des plantes et les champignons mycorhiziens, renforcent l'efficacité de l'absorption des nutriments, en particulier celle du phosphore, souvent peu mobile dans le sol (Smith et Read, 2008).

2.7. Les types de sols dans les zones à pin d'Alep

Selon (Calvet, 2003), les types de sols rencontrés dans les zones de présence du pin d'Alep se catégorisent comme suit :

- **Les sols du littoral et du sublittoral algérois**

Les pinèdes de pin d'Alep établies sur le littoral et le sublittoral algérois se développent sur des sols appartenant aux groupes suivants :

- **Les sols peu évolués**

Ces sols se caractérisent par une épaisseur significative et un horizon de surface décarbonaté. Ils présentent une faible teneur en matière organique peu humifiée. Leur texture est sablonneuse et leur structure particulaire résulte de leur faible taux d'humus et d'argile. La somme des bases échangeables se situe entre 20 et 30 méq pour 100 g de sol. Dans ces conditions pédologiques, le pin d'Alep atteint des dimensions notables, avec une hauteur dépassant 16 mètres.

- **Les sols du Tell**

Dans la zone du Tell, le substratum géologique est de nature calcaire, gréseuse, marno-calcaire ou calcaire-marneuse.

La plus forte concentration des peuplements de pin d'Alep est observée sur les sols calcimagnésiques.

Les sols sous les pinèdes de pin d'Alep de l'Atlas Saharien : La présence de deux grandes catégories de roches carbonatées, à savoir les roches calcaires dures et les roches calcaires tendres, permet de distinguer deux ensembles majeurs de sols. Sur les calcaires durs, plus ou moins dolomitiques, les sols présentent une granulométrie fine à moyenne et une faible profondeur. Sur les grès siliceux faiblement calcaires, l'abondance de quartz résiduel favorise la formation de sols à texture plus grossière et perméable.

- **Les sols des Aurès Némemcha**

Les types de sols rencontrés dans ce vaste ensemble ne montrent pas de différences substantielles avec ceux décrits pour l'Atlas saharien.

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES

1. Description de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

La wilaya de Tébessa, d'une superficie de 13 878 km², est située à l'extrême est de l'Algérie, à environ 40 km de la frontière algéro-tunisienne. Elle est délimitée au nord par la wilaya de Souk-Ahras, au sud par la wilaya d'El Oued, à l'est par la République tunisienne, et à l'ouest par les wilayas de Khenchela et d'Oum El Bouaghi (Figure 10).

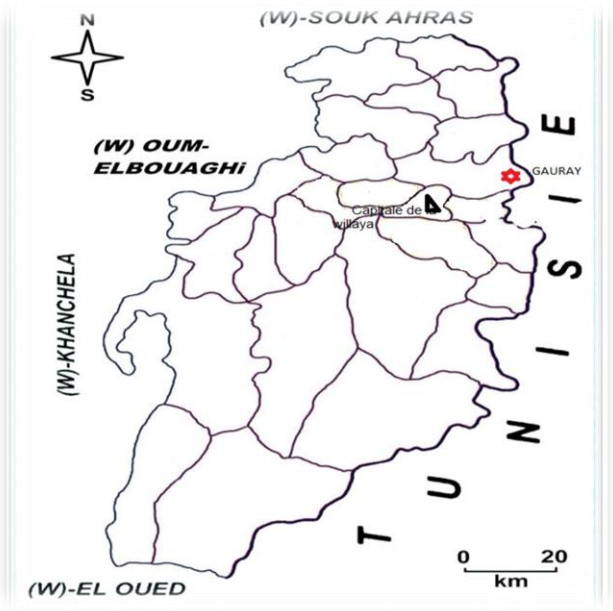


Figure 10 . Localisation de la région d'étude

1.2. Le site d'étude

La forêt de Gorraye, également connue sous le nom de Fadj Gorraye, est située dans la commune d'El Kouif, dans la wilaya de Tébessa, et est accessible par la route nationale n°82. Elle est délimitée par la commune d'Aïn Zerga au nord, la commune de Bekkaria au sud, la frontière algéro-tunisienne à l'est, et la commune de Boulhaf Dyr à l'ouest. Ce massif forestier s'étend sur une superficie d'environ 2 335 hectares et se caractérise par une altitude

Variant entre 1 071 et 1 150 mètres. Les sols dominants sont de nature calcaire et marneuse. La forêt, d'un âge estimé à environ 89 ans, présente une hauteur moyenne des arbres comprise entre 4 et 8 mètres.

La couverture végétale est essentiellement composée de pin d'Alep, de chênes du genre Quercus, de cyprès, de genévriers, ainsi que d'autres espèces végétales méditerranéennes locales (conservations des forêts Tébessa). Le site d'étude se situe aux coordonnées géographiques 35°28'51.58" N et 8°12'8.25" E, à une altitude de 1 071 mètres. Un site témoin, utilisé à des fins comparatives, se trouve à proximité de la pinède de Gorraye ; il s'agit d'une station abandonnée dépourvue de couverture végétale, localisée à 35°29′54″ N et 8°19′19″ E, à une altitude de 1 138 mètres (Figure11).



A. Station Témoin (Photo personnelle, 2025)



B. Station Témoin (Google earth)



C. Station de Gouraye (Photo personnelle,2025)



D. Pinède de Gouraye (Google earth)

Figure 11. Les Stations d'études

1.3. Le climat

Le climat de la région de Tébessa

La wilaya de Tébessa se caractérise par un climat de transition, marqué par la diversité de ses étages bioclimatiques, qui varient en fonction de l'altitude et de la localisation géographique. On distingue quatre principaux étages bioclimatiques (Station météorologique de Tébessa)

- **Le subhumide (400 à 500 mm/an) :** très restreint en superficie, cet étage est limité aux sommets de certains reliefs tels que le Djebel Serdies et le Djebel Bouroumane.
- **Le semi-aride (300 à 400 mm/an) :** prédominant dans la partie nord de la wilaya, il concerne des localités comme El Aouinet, Morsott, Boulhef Dyr et la ville de Tébessa.
- **Le subaride (200 à 300 mm/an) :** ce climat domine les plateaux steppiques situés dans les régions de Oum Ali et El Ma Labiod.
- **L'aride ou saharien doux (moins de 200 mm/an) :** il s'étend au sud de l'Atlas Saharien, couvrant les plateaux de Negrine et Ferkane.

Cette variation climatique confère à la région une mosaïque de paysages et de conditions écologiques influençant fortement l'agriculture, la végétation et les modes de vie locaux.

Le diagramme ombrothermique (figure 12) met en évidence deux périodes climatiques distinctes : une saison humide s'étendant de novembre à avril, durant laquelle la courbe des précipitations dépasse celle des températures, soit environ six mois, et une saison sèche allant de mai à octobre, caractérisée par des précipitations inférieures aux températures, traduisant ainsi un régime climatique saisonnier marqué.

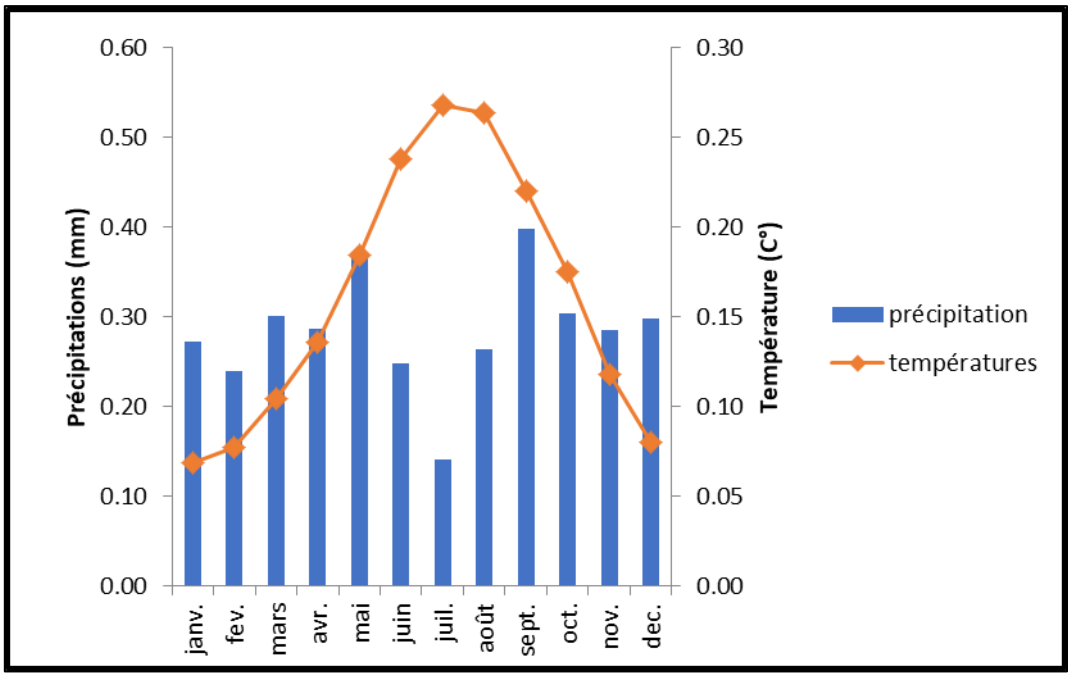


Figure 12. Diagramme ombrothérmique de la région de Tébessa de période 1980-2016

2. L'étude du sol

2.1. Echantillonnage

Des sorties de terrain ont été réalisées le 23 février2025 pour le prélèvement des échantillons de sol. Sur chaque site, à l'aide d'un piochon, les échantillons ont été prélevés à une profondeur de 15 à 20 cm, au pied des arbustes de *pinus halepensis* , avec trois répétitions. Après un séchage à l'ombre pendant 20 jours, les échantillons ont été tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm.

2.2. Analyses physico-chimiques du sol

2.2.1. pH

a. Principe

Le pH est mesuré dans une suspension de sol et d'eau (pH-eau), ce qui permet de déterminer la concentration en ions hydrogène (H^+) dans le liquide surnageant.

b. Mode opératoire

Dans un bécher, on pèse 10 g de terre fine auxquels on ajoute 50 ml d'eau distillée (Rapport 1:5). Après agitation, la solution est laissée au repos pendant 30 minutes. La lecture du pH est ensuite réalisée à l'aide d'un pH-mètre (Mathieu et Pieltain, 2003) .

2.2.2. Conductivité électrique

a. Principe

La conductivité électrique permet d'évaluer la salinité du sol. Plus la concentration en sels dissous est élevée dans la solution, plus la conductivité est importante.

b. Mode opératoire

Une solution est obtenue en agitant 10 g d'échantillon de sol avec 50 ml d'eau distillée. La conductivité électrique de la solution est ensuite mesurée à l'aide d'un conductimètre (Mathieu et Pieltain, 2003).

2.2.3. Texture du sol

a. Principe

La texture du sol repose sur la répartition des différentes tailles de particules (granulométrie), ce qui influence les propriétés physiques du sol. Plus les particules sont fines, plus la capacité de rétention d'eau est élevée.

b. Mode opératoire

La texture est déterminée par la méthode de sédimentation. On mélange 100 g de sol avec 200 ml d'eau, puis on laisse reposer pendant 10 jours. L'épaisseur des différentes couches formées permet d'estimer les pourcentages de sable, de limon et d'argile (ITA, 1975)

C. Calcul

Après avoir mesuré l'épaisseur de chaque couche à l'aide d'une règle, le calcul du pourcentage de chaque élément est réalisé en appliquant les formules suivantes :

- Pourcentage de sable : (épaisseur de la couche de sable en cm × 100) ÷ épaisseur totale du sol en cm
- Pourcentage de limon : (épaisseur de la couche de limon en cm × 100) ÷ épaisseur totale du sol en cm
- Pourcentage d'argile : (épaisseur de la couche d'argile en cm × 100) ÷ épaisseur totale du sol en cm

2.2.4 La matière organique

a. Principe

Le carbone organique est dosé selon la méthode de Anne (Bonneau et Souchier, 1994), qui repose sur l'oxydation du carbone par le bichromate de potassium en excès, en milieu acide, et sur le dosage de la quantité de bichromate non consommée en retour par le Sel de Mohr. Le taux de la matière organique est estimé en multipliant le taux de carbone par 1,72 (Mathieu et Pieltain, 2003)

$K2Cr2O7 + 6FeSO4 \rightarrow K2SO4 + Cr_2(SO4)3 + 3Fe(SO4)3 + 7H2O$

b. Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 500 ml, on place 1 g de sol tamisé, 10 ml d'une solution de bichromate de potassium et 15 ml d'acide sulfurique. On laisse chauffer doucement, puis, après refroidissement, on verse dans une fiole jaugée de 100 ml. On ajoute 200 ml d'eau distillée, puis on prélève 50 ml dans un bécher. À ce dernier, on ajoute 1 g de NAF et 3 à 4 gouttes d'une solution de diphénylamine sulfurique. Enfin, on réalise une titration par le Sel de Mohr (X ml), et les mêmes étapes sont suivies pour le témoin (sans sol) afin de déterminer le volume correspondant (Y ml) (Calvet, 2003).

C. Calcul

Le calcul est effectué selon la méthode d'Anne, en appliquant la formule suivante :

C% = \[(Y - X) × 0.615 × (100/20) × (100/P) × (1/1000)]

où P représente le poids du sol.

Pour déterminer le taux de matière organique, on utilise la relation suivante :

% Matière organique = C% × 1,72.

2.2.5. Calcaire total

a .Principe

La méthode repose sur la mesure du dioxyde de carbone (CO_2) libéré lors de la réaction entre un excès d'acide chlorhydrique (HCl) et un échantillon de sol de masse connue. Le carbonate de calcium ($CaCO_3$), présent dans le sol, réagit avec HCl pour libérer du CO_2, dont le volume permet de quantifier la teneur en calcaire total.

$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CO_2 + CaCl_2 + H_2O$

b. Mode opératoire

Dans un bécher contenant 10 ml d'acide chlorhydrique dilué de masse connue (P_1), on introduit progressivement 10 g de sol fin. Après agitation et décantation, le bécher est pesé de nouveau afin d'obtenir la masse après dégagement du CO_2 (P_2).

c. Calcul

La teneur en calcaire total est déterminée selon la formule suivante :

$\%\ CaCO_3 = (P_1 - P_2) \times 2{,}274 \times 100 / \text{masse du sol}$

où ($P_1 - P_2$) représente la masse du CO_2 dégagé (Baize et Jabiol, 1995).

2.2.6 Le calcaire actif

a. Principe

Le calcaire actif représente la fraction fine du carbonate de calcium ($CaCO_3$) facilement soluble. Lorsqu'il entre en contact avec une solution d'oxalate d'ammonium, ce calcaire se transforme en oxalate de calcium insoluble. La quantité d'oxalate d'ammonium non réagie est ensuite déterminée par titrage avec une solution de permanganate de potassium (Soltner, 2003).

b. Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on introduit 2 g de sol et 100 ml de solution d'oxalate d'ammonium. Après agitation pendant deux heures, le mélange est filtré. On prélève ensuite 20 ml du filtrat, auxquels on ajoute 100 ml d'eau distillée et 5 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4), puis on effectue un titrage avec une solution de permanganate de

potassium ($KMnO_4$) à 0,2 N (6,32 g/l), jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante (v ml). Un témoin est préparé dans les mêmes conditions sans extrait de sol (v' ml).

c. Calcul

Le pourcentage de calcaire actif est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$CaCO_3\% = (v' - v) \times 0,2 \times (100 / 10) \times (50 / 1000) \times (100 / 2)$

Ce qui revient à :

$CaCO_3\% = (v' - v) \times 5$

2.2.7 L'humidité

a. Mode opératoire

L'humidité correspond à la teneur en eau de l'échantillon de sol. Elle est déterminée par la perte de poids après séchage. Une quantité de sol (P_1) est prélevée, puis placée dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures. Après séchage, l'échantillon est pesé de nouveau (P_2), la différence de poids correspondant à l'eau évaporée.

b. Calcul

Le pourcentage d'humidité est calculé selon la formule suivante :

$\%\ \text{Humidité} = (P_1 - P_2) / P_2 \times 100$

3. Traitement statistique

Les résultats de l'analyse du sol ont été testée par une analyse de la variance (ANOVA) au niveau de $\alpha = 0.05$ pour voir l'influence des facteurs étudies ; les résultats significatifs ont été suivies par une comparaison multiple des moyennes à l'aide du test de Tukey. Le logiciel utilisé est Statistica 10.

CHAPITRE III

RESULTATS

1. PH du sol

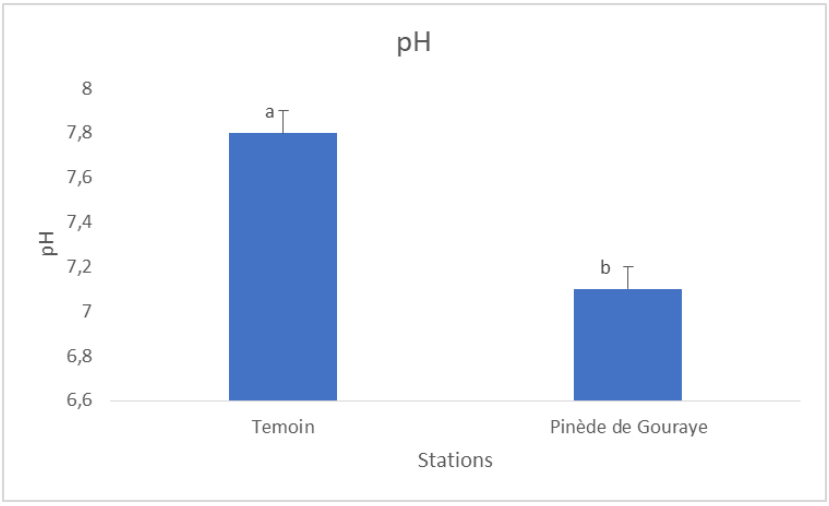


Figure 13. Variations des valeurs moyennes de pH selon les stations.

(Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)

Les variations des valeurs de pH selon les stations d'étude sont illustrées dans la figure 13 D'après cette figure, la station témoin présente la valeur moyenne la plus élevée (7,8), tandis que la valeur minimale a été enregistrée dans la station « Pinède » avec un pH de 7,1. L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé des différences très hautement significatives entre les stations. Le test de Tukey a permis d'identifier deux groupes homogènes (Annexe 2).

2. La conductivité électrique

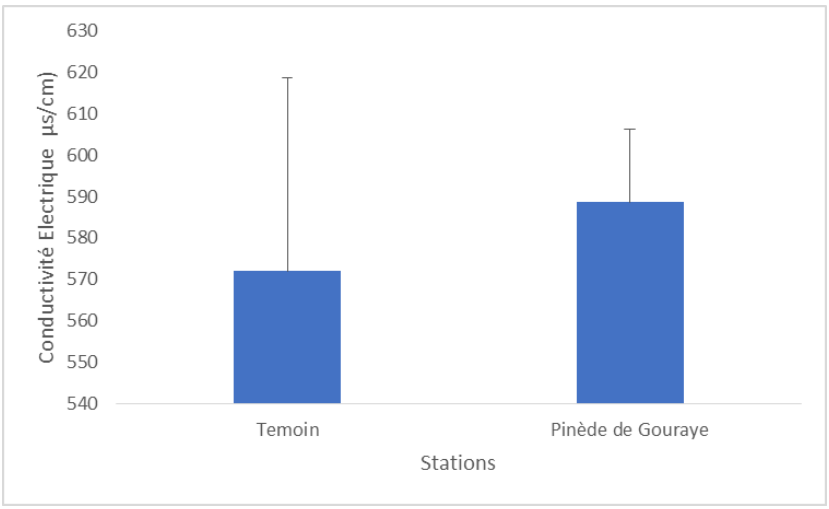


Figure 14. Variations des valeurs moyennes de la conductivité électrique selon les stations.

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique en fonction des stations sont présentées dans la figure 14. La station Pinède a révélé une valeur de 588,56 µS/cm, tandis que la station témoin a montré une valeur de 571,98 µS/cm. L'analyse de la variance (ANOVA) n'a révélé aucune différence significative entre les stations (Annexe 2).

3. La texture du sol

Tableau 1. La variation de la texture selon les stations d'étude

	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Type de texture
Témoin	66.66	22.22	11.11	Limono sableux
Foret de Gouraye	54.54	23.27	22.18	Limono-argilo-sableux

La variation de la texture du sol entre les différentes stations est indiquée dans le tableau 1. D'après le triangle textural (annexe 1), la texture limono-sableuse prédomine dans la station témoin. En ce qui concerne la forêt de Gouraye, on observe une texture limono-argilo-sableuse

4. La matière organique

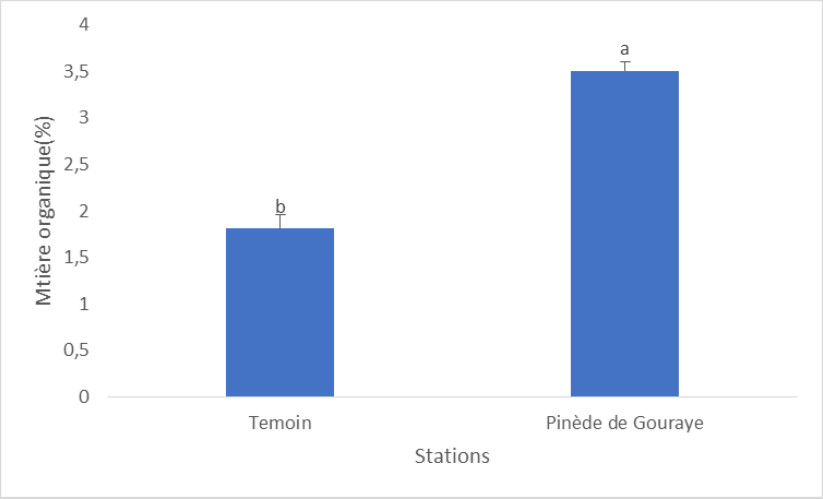


Figure 15. Variations des valeurs moyennes de la matière organique selon les stations.

(Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)

Les résultats concernant la matière organique sont présentés dans la figure 1. Selon cette figure, la station Pinède a montré les valeurs les plus élevées (3,51 %) par rapport à la station témoin (1,81 %). L'ANOVA a mis en évidence des différences très hautement significatives entre les stations. Le test de Tukey a révélé deux groupes homogènes.

5. Le calcaire total

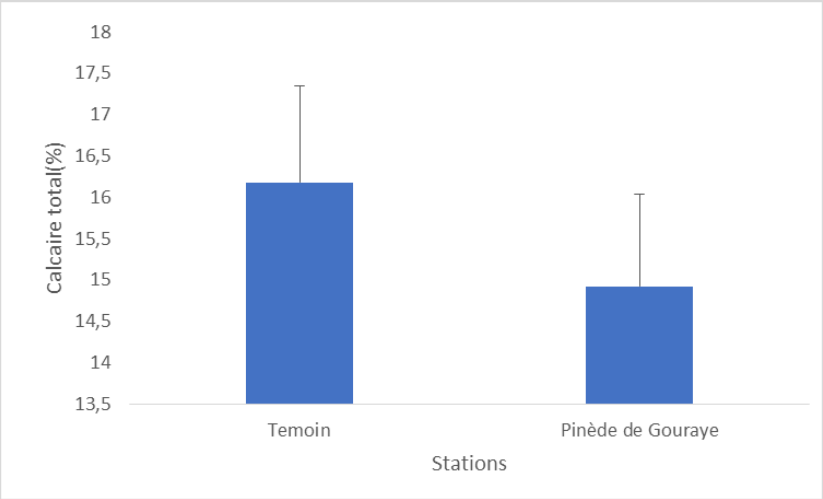


Figure 16. Variations des valeurs moyennes du calcaire total selon les stations.

La figure 16 illustre les variations des valeurs du calcaire total en fonction des stations. La station témoin a enregistré une valeur maximale de 16,18 %, tandis que la station Pinède a révélé une valeur minimale de 14,9 %. L'analyse de la variance (ANOVA) n'a révélé aucune différence significative entre les stations.

6. Le calcaire actif

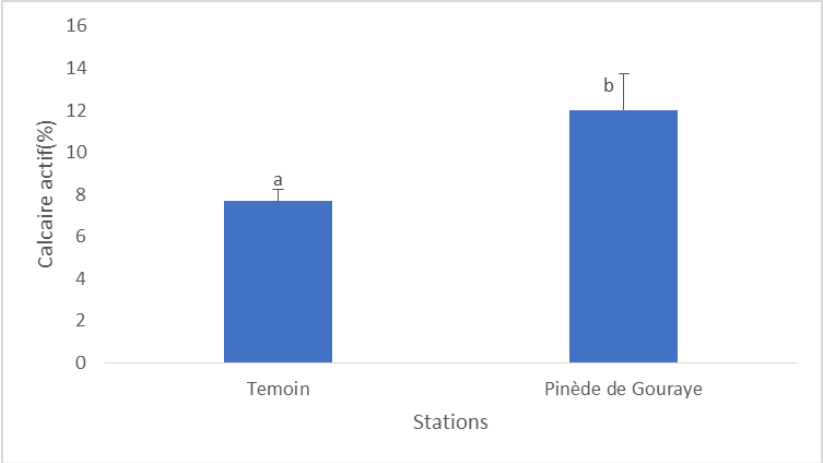


Figure 17. Variations des valeurs moyennes du calcaire actif selon les stations.

(Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)

La figure 17 montre les variations des valeurs du calcaire actif selon les stations. Une valeur moyenne de 7,67 % a été enregistrée dans la station témoin, tandis que la valeur maximale, de 12 %, a été observée dans la station Pinède. Une différence hautement significative a été mise en évidence par l'ANOVA. Deux groupes homogènes ont été révélés par le test de Tukey (Annexe 2).

7. L'humidité hygroscopique (humidité pondérale)

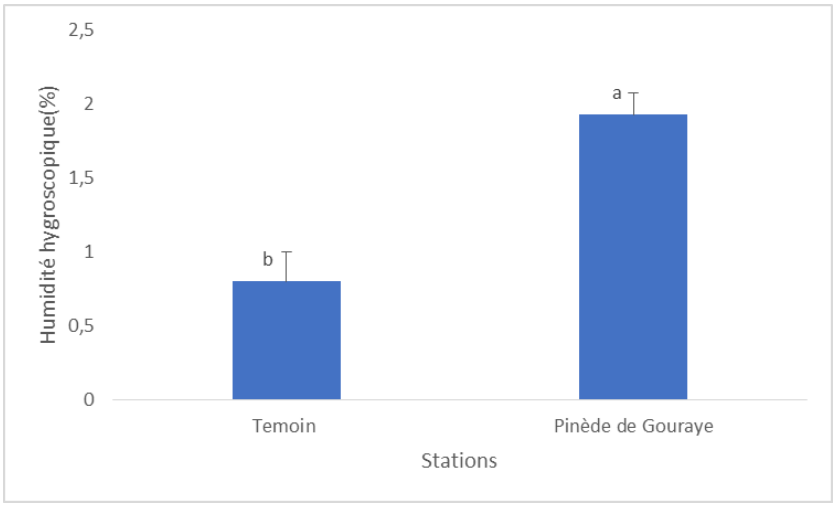


Figure 18. Variations des valeurs moyennes de l'humidité hygroscopique selon les stations.

(Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)

La figure 18 présente les variations de l'humidité hygroscopique en fonction des stations étudiées. La station témoin a affiché la valeur moyenne la plus faible (0,8 %), tandis que la valeur la plus élevée (1,03 %) a été enregistrée au niveau de la station « Pinède ». L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé une différence hautement significative entre les stations. Le test de comparaison de Tukey a permis de regrouper les stations en deux groupes homogènes (Annex2). 4.

8. L'humidité aux champs

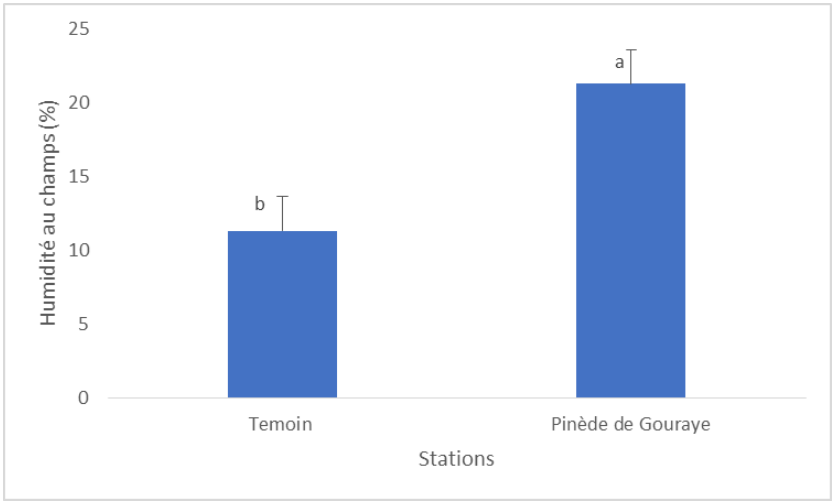


Figure19.Variations des valeurs moyennes de l'humidité aux champs selon les stations.

(Les lettres alphabétiques a et b : groupes homogènes)

La figure 19 présente les résultats relatifs à l'humidité au champ. La station Pinède a montré une humidité de 21,33 %, soit le double de celle de la station témoin (10,33 %). L'analyse de la variance (ANOVA) a mis en évidence des différences hautement significatives entre les stations.Le test de Tukey a révélé deux groupes homogènes (Annexe 2).

CHAPITRE IV

DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est l'un des conifères les plus importants des forêts naturelles algériennes. Il joue un rôle majeur dans la réhabilitation des sols dégradés, tout en fournissant une précieuse matière première renouvelable aux populations locales. Les résultats obtenus mettent en évidence des effets positifs sur la majorité des paramètres étudiés.

- **Le pH**

Selon le référentiel pédologique de Baize et Jabiol (1995), le sol de la station Témoin (pH = 7,8) est classé comme basique, tandis que celui de la station Gouraye (pH = 7,1) est considéré comme neutre, ces valeurs s'inscrivant respectivement dans les intervalles de 7,5 à 8,7 pour les sols basiques, et de 6,5 à 7,5 pour les sols neutres (annexe 1).

Des analyses antérieures réalisées sur la même station par Azri *et al*. (2018) confirment la nature alcaline du sol dans la station de Gouraye.

D'autres études, telles que celle de Samira *et al*. (2019), indiquent que les sols sous *Pinus halepensis* dans la région de Naâma (Algérie) présentent un pH compris entre 7,1 et 8,08, ce qui correspond à des conditions allant de neutres à légèrement alcalines. Ces résultats sont corroborés par les travaux de Guit *et al*. (2016), qui rapportent que dans le massif forestier de Senalba (région de Djelfa), les sols sous peuplements naturels de *Pinus halepensis* affichent un pH variant entre 7,4 et 9, les classant ainsi parmi les sols neutres à fortement basiques.

Par ailleurs, Kharazian *et al*. (2022), dans une étude menée sur des sites miniers contaminés situés dans le sud-ouest de la Sardaigne (Italie), ont observé un pH des sols autour des racines de *Pinus halepensis* compris entre 7,4 et 7,7, avec une teneur élevée en carbonates, confirmant la tendance de cette espèce à s'implanter sur des sols alcalins à fortement calcaires.

- **La conductivité électrique**

La station de Gouraye a enregistré une conductivité électrique (CE) de 588,56 µS/cm, tandis que la station témoin a présenté une valeur légèrement inférieure, soit 571,98 µS/cm. Selon les critères de classification proposés par Matheus et Piéletin (2003), ces valeurs indiquent que les sols des deux stations ne présentent pas de salinité notable.

Par comparaison, une étude récente menée dans une pinède steppique dépérissant de la wilaya de Tiaret, dans l'ouest de l'Algérie, a révélé une conductivité électrique moyenne de

91,65 ± 26,23 µS/cm (soit environ 0,091 mS/cm), traduisant une très faible salinité des sols (Tir, 2023).

En revanche, dans une zone steppique de la région de Saïda, les sols sous *Pinus halepensis* ont présenté des valeurs de CE comprises entre 6,02 et 13,62 mS/cm, correspondant à une salinité modérée (Meddahi, 2022).

- **La texture du sol**

L'analyse granulométrique des sols révèle des différences texturales notables entre les deux stations étudiées. D'après le triangle des textures (annexe 3), la station témoin présente une texture limono-sableuse, caractérisée par une proportion importante de sable, associée à une quantité modérée de limons et une faible teneur en argile. Ce type de sol est généralement bien drainé, mais sa capacité de rétention en eau reste limitée, ce qui restreint également sa fertilité et sa capacité à retenir les éléments nutritifs nécessaires au développement des plantes.

En revanche, le sol de la forêt de Gouraye, sous l'influence de *Pinus halepensis*, présente une texture limono-argilo-sableuse, indiquant une proportion plus équilibrée entre les trois fractions granulométriques, avec une présence significative d'argile. Cette texture confère au sol une meilleure capacité de rétention en eau, une fixation accrue des nutriments, ainsi qu'une stabilité structurale renforcée. Cette évolution pourrait être liée à l'effet cumulatif de la couverture végétale, notamment à travers l'accumulation de matière organique et l'action stabilisatrice du réseau racinaire du pin d'Alep.

Dans le même sens, une étude menée en Libye par Alsanusi *et al*. (2025) a révélé que les plantations de *Pinus halepensis* étaient majoritairement établies sur des sols limoneux, avec une faible teneur en argile, ce qui témoigne d'une certaine variabilité selon le substrat géologique et les conditions locales. De plus, en Espagne, Sarris et Christodoulakis (2024) ont montré que les sols sous *Pinus halepensis* sont majoritairement argilo-limoneux, développés sur des substrats calcaires tels que les calcaires et les marnes, soulignant l'adaptabilité de cette espèce à une large gamme de textures, avec une préférence marquée pour les sols riches en éléments fins.

- **La matière organique**

Les teneurs en matière organique varient de 3,51 % dans la station de Gouraye à 1,81 % dans la station témoin, correspondant respectivement à des niveaux moyennement élevés à faibles selon la classification de Soltner (1981). Ces résultats révèlent une différence significative entre les deux stations, principalement attribuée à la présence de *Pinus halepensis*, dont la litière, en se décomposant, contribue efficacement à l'enrichissement du sol en matière organique.

Plusieurs études viennent appuyer cette observation. En Sicile occidentale (Italie), Pinzari *et al*. (2001) ont rapporté une amélioration notable du taux de matière organique (3,61 %) dans les sols situés sous couvert de *Pinus halepensis* et de cedrus atlantica, soulignant leur rôle bénéfique sur la chimie et la fertilité des sols méditerranéens.

De même, Zouidi *et al*. (2019) ont confirmé que les sols sous peuplements de *Pinus halepensis* présentent généralement des teneurs élevées en matière organique. Par ailleurs, Al Omary (2011), dans une étude menée dans la forêt de Jubilee, au sud de la Jordanie, a montré que les plantations de pin d'Alep enrichissent significativement le sol en matière organique,

avec une teneur moyenne de 2,1 % sous couvert forestier, contre 1,3 % dans les zones non boisées.

Cette variabilité est également mise en évidence par les travaux de Mandouri (2000) au Maroc, qui a montré que *Pinus halepensis* améliore sensiblement la fertilité organique du sol, avec des taux de matière organique atteignant 4,8 % sous couvert forestier, contre seulement 0,1 % dans les parcelles témoins.

En revanche, une étude menée dans la région de Naâma sur les caractéristiques pédologiques des sols à pin d'Alep a révélé des teneurs relativement faibles en matière organique, variant de 0,3 % à 1,7 %, suggérant que l'effet du *Pinus halepensis* sur la richesse organique du sol peut être fortement influencé par les conditions édaphiques et climatiques locales

- **Le calcaire total et actif**

La station témoin a enregistré une teneur maximale en carbonate de calcium total de 16,18 % et une teneur minimale en calcaire actif de 7,67 %, tandis que la station de Gouraye a présenté une teneur légèrement inférieure en carbonate total (14,9 %), mais une teneur plus élevée en calcaire actif (12 %). Selon le référentiel de Baize (2000), ces deux sols peuvent être classés comme modérément calcaires, les teneurs en carbonate de calcium se situant dans l'intervalle caractéristique de 5 % à 25 % (Annexe 1).

Les sols sous *Pinus halepensis* sont majoritairement calcaires, avec des teneurs en carbonates variant entre 14 % et 58 %, ce qui contribue à leur caractère alcalin (Rodríguez-Ochoa *et al*., 2008). Cette richesse en carbonate est généralement attribuée à la nature calcaire du substrat rocheux (Samira *et al*., 2019). De même, Zouidi *et al*. (2019) ont confirmé que les sols situés sous des peuplements de *Pinus halepensis* en Algérie présentent fréquemment des concentrations élevées en calcaire total, notamment dans la région occidentale du pays.

Ladier (1994) a indiqué que le pin d'Alep, espèce typiquement méditerranéenne, est particulièrement bien adapté aux sols calcaires peu profonds, généralement dérivés de roches mères calcaires. Ces types de sols, tels que les rendosols et les calcisols, présentent des caractéristiques spécifiques qui favorisent la croissance de cette essence.

Le pin d'Alep se distingue par sa tolérance aux conditions alcalines, généralement associées à un pH du sol supérieur à 7. Cette capacité d'adaptation en fait une espèce stratégique pour la reforestation et la stabilisation des terrains dans les zones méditerranéennes. La relation étroite entre le pH du sol et la teneur en calcaire souligne l'importance de ces paramètres dans la distribution écologique de cette espèce. Selon Khouja *et al*. (2020), le pin d'Alep est classé parmi les espèces calcicoles, c'est-à-dire qu'il montre une préférence marquée pour les sols calcaires.

Kharazian (2022) souligne également que le pin d'Alep, grâce à sa tolérance aux sols alcalins, peut prospérer là où d'autres espèces éprouvent des difficultés. Bien que la présence de calcaire actif puisse entraîner des carences en fer (chlorose) chez certaines plantes, le pin d'Alep semble relativement peu affecté par ces effets, renforçant ainsi son aptitude à coloniser efficacement les sols calcaires

- **L'humidité du sol**

Les résultats de l'étude montrent une amélioration notable de l'humidité du sol en présence de *Pinus halepensis*. La station témoin présente les valeurs les plus faibles, avec une humidité hygroscopique moyenne de 0,8 % et une humidité au champ de 10,33 %. En revanche, la station de Gouraye affiche des niveaux plus élevés : 1,03 % pour l'humidité hygroscopique et 21,33 % pour l'humidité au champ, soit environ le double de ceux enregistrés au niveau de la station témoin. Ces données indiquent que la présence du pin d'Alep contribue positivement à la rétention en eau du sol, aussi bien en ce qui concerne l'humidité disponible pour la végétation que l'humidité résiduelle liée aux particules du sol.

Des résultats similaires ont été rapportés dans d'autres contextes méditerranéens. En Tunisie, Jedd et Chaieb (2010) ont mis en évidence que les plantations de *Pinus halepensis* améliorent significativement l'humidité du sol par rapport aux milieux ouverts non boisés. Cet effet s'accentue avec l'ancienneté des peuplements, ce qui favorise également l'installation du sous-bois. Baraket *et al*. (2019) ont également montré que l'humidité du sol sous *Pinus halepensis* varie selon la provenance génétique des arbres et les conditions climatiques locales, soulignant l'importance des facteurs édapho-climatiques dans la dynamique hydrique des écosystèmes forestiers.

D'un point de vue fonctionnel, plusieurs mécanismes expliquent cette amélioration de l'humidité. Bellot *et al*. (2004) ont montré que le pin d'Alep influence le régime hydrique du sol par le biais de son système racinaire profond, capable de puiser l'eau dans les horizons inférieurs, et par la structure de son couvert végétal, qui limite l'évaporation. Maestre *et al*. (2003) ont confirmé que les sols situés sous couvert forestier retiennent davantage d'humidité

que ceux exposés directement, en raison de la diminution de l'évaporation et de l'interception partielle des précipitations par la canopée.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude réalisée sur les sols sous *Pinus halepensis* dans la région de Tébessa, plus précisément au niveau de la pinède de Gouraye, a permis de mettre en évidence son influence sur plusieurs paramètres liés à la fertilité édaphiques.

Les résultats montrent que cette espèce exerce un effet globalement positif, notamment par l'amélioration du taux de matière organique, de la texture, de l'humidité et du pH. Ces modifications contribuent à une meilleure capacité de rétention en eau et favorisent une activité biologique plus dynamique.

Malgré une légère diminution du calcaire total et une élévation du calcaire actif, les sols restent classés comme modérément calcaires, ce qui témoigne d'une certaine stabilité de ces paramètres.

En outre, aucune variation significative n'a été observée au niveau de la conductivité électrique, suggérant que *Pinus halepensis* n'influence pas la salinité du sol dans les conditions environnementales de la zone étudiée.

Afin de compléter ces résultats, il serait pertinent de :

- Étendre l'étude à d'autres régions écologiques pour évaluer la variabilité de l'impact de *Pinus halepensis* en fonction des conditions climatiques.
- Suivre l'évolution des paramètres du sol sur le long terme pour mieux comprendre les dynamiques de transformation induites par cette espèce.
- Intégrer des analyses biologiques (microbiote du sol, activité enzymatique) afin d'évaluer les interactions entre *Pinus halepensis* et la biodiversité édaphique.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- Anonyme (2009) , Maintenir l'état organique des sols, Ed, Cerafel, 2 p
- Anonyme (2009) , Maintenir l'état organique des sols, Ed, Cerafel, 2 p.
- Antoni T, Margarida T, & Jari M, (2004). growth and yield model for *Pinus halepens* is Mill , in Catalonia , north-east spain, Forest Ecology and Management 203,p,49
- Baise D, Djabiol B, 1995 Guide pour la description des sols, Edit, INRA, Paris. france.
- Baize D, & Jabiol B, (1995). Guide pour la description des sols , techniques et pratiques, INRA, Paris, 375 p.
- Baraket, M, Kraima, B, Nefzi, K, Fkiri, S, jaouadi, W, & Nasr, Z, (2019), Seasonal variability of gas exchange responses and hydraulic traits of three provenances of *Pinus halepensis* Mill.
- Berg B. & M Claugherty C,A, (2008), plant litter, decomposition, humus Formation, carbon sequestration, Berlin and Heidelberg, Springer, 2nd ed, 338p
- Bernard, P, (2013), Le pin d'Alep en France, sylvie Blanchard, 159 p.
- Blamey M, Grey W,(2000), Toutes les fleurs de méditerranée.
- Bouazza, M, (2014), Littoral d'Aïn témouchent , Dans un sol brun calcaire sous un matorral incluant *Pinus halepensis*, la matière organique est de 4,33 % dans l'horizon 0-25 cm, diminuant à 1,52 % entre 25-80 cm.
- Bouazza, M, (2014), Phyto-écologie et éléments de cartographie de la couverture végétale cas: littoral d'Ain Temouchent (doctoral dissertation, Université de Saida).
- Bouazza, M, Derridj, A, & Kadi-Hanifi, H, (2017). Effet du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) sur les sols dans une région semi-aride d'Algérie, Revue des Sciences de l'Environnement, 33(1), 15–24.
- Brady, N, C, (1984), The nature and properties of soils.
- Brady, N, C, (1984), The nature and properties of soils.
- Brady, N, C, & Weil, R, R, (2008), The Nature and Properties of Soils, 14th Edition. Pearson.
- Calvet, R, 2003, Le sol, Propriétés et fonctions, T1 , Constitution et Structure, phénomènes aux interfaces, Ed, France agricole, 455 p
- Dahman M, (1986), les produits du pin d'Alep en Tunisie , option 86/1 CIHEAM.
- DGF (Direction Générale des Forêts), (2008), Statistiques forestières en Algérie.

- Ditzler, C, A, & Tugel, A. J, (2002), Soil quality field tools, experiences of USDA-NRCS soil quality institute, *Agronomy Journal*, *94*(1), 33-38.Ditzler et Tugel (2002)
- Dubreuil M, (2000) , La santé de nos sols , vers une agriculture durable au Canada, agriculture et Agroalimentaire Canada, Publ, 1906/F, 4 p.
- Duchaufour 1984 , pédologie ,1 pédogénése et classification, Edition Masson et Ci
- Duchaufour ph, 1977, Pédologie1, tom, pédogénèse et classification, ed, masson, paris, new york, barcelona, milan, mexico, saopaulo.
- Fady, B, Semerci, H, Vendramin, G, (2003), Euforgen Technical Guidelines for genetic conservation and use for Aleppo pine (*Pinus halepensis*) and Brutia pine (Pinus brutia), International Plant Genetic Resources Institute, Rome (Italy)
- Foth, H. D, (1990), *Fundamentals of Soil science*, 8th Edition, John Wiley & Sons.
- Gobat j m, Aragno m et Matthey w, 2010, Le sol vivant bases de pédologie–biologie des sols (3eme Ed.), Presses polytechniques et universitaires romandes, p 51 53 62.
- Guit B, 2015- Croissance et état sanitaire des peuplements de Pin d'Alep. (*Pinus halepensis* Mill) dans le massif forestier de senalba (région de Djelfa), Thèse de doctorat en sciences agronomiques, page 156-167.
- Guit, B, Nedjimi, B, Chakali, G, & Guibal, F, (2016), État sanitaire des peuplements de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans le massif forestier de Senalba (Djelfa, Algérie). Revue d'écologie, 71(2), 156-167.
- Havlin, J, L, Tisdale, S, L, Nelson, W, L, & beaton, J, D, (2013), Soil Fertility and fertilizers. 8th Edition. Pearson.
- Hénin, S, Gras, R, & Monnier, G, (1969), Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques (2e éd), Paris , masson
- https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029387.15947.b7
- Itä, M, (1975), Sur l'unicité du cône convexe divisible constitué par de noyaux de convolution de Dirichlet, Nagoya mathematical Journal, 57, 127-152
- ITA. (1975), Méthodes d'analyses chimiques et physiques du sol, Laboratoire du sol, ITA, mostaganem
- Jeddi, K, & Chaieb, M, (2010), Soil properties and plant community in different aged Pinus halepensis Mill, plantations in arid mediterranean areas, The case of southern Tunisia, Land degradation & development, 21(1), 32-39.

- Kadik B,(1987), Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halpensis*) en Algérie : ecologie, dendromètre, Morphologie, Edit, office des publications universitaires algérie, 74-127 p .
- Kaouritchev I, (1980) , Manuel Pratique De pédologie, Edition MIR, moscou, 94,104p.
- Kharazian, P, Fernández-Ondoño, E, Jiménez, m, N, Sierra Aragón, M, Aguirre-Arcos, A, bacchetta, G, ... & De Giudici, G, (2022). *Pinus halepensis* in Contaminated Mining Sites: study of the Transfer of Metals in the plant–Soil System Using the BCR Procedure, toxics, 10(12), 728.
- Khouja, M, Taghouti, I, Ayari, A, Elaieb, M, T, Fezzani, T, Souayeh, N, & Khouja, M L, (2020). Intérêt forestier et principales caractéristiques biologiques et écologiques du pin d'Alep en Tunisie. Le Pin d'Alep en tunisie, Ecologie, Gestion et Usages, 8.
- Ladier, J, & Boisseau, B. (1994). Typologie des stations forestières du massif Sainte-Victoire.
- Lavelle, P, & Spain, A. V, (2001), Soil Ecology, springer.
- Letreuch-Belarouci N, (1991) Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir, 2 Tomes, Ed, OPU, alger, 641 p
- Loisel R, (1976), Place et rôle des espèces du genre Pinus dans la végétation du sud-est méditerranéen Français, ecologia mediterranea 2, 131-152
- Maestre F, Cortina J, Bautista S, Bellot J, (2003), does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs in Mediterranean semi-arid afforestations? forest ecology and management. 176. 147-160
- Maestre, F, T, Cortina, J, & Vallejo, R. (2003), Pine plantations and soil properties in semiarid Spain: A comparative study with natural Mediterranean shrubland, Forest Ecology and Management, 195(1-2), 381–393.
- Magny J, & Baur J, (1962) , Pour comprendre les analyses de terre. Purpan, reproduction des numéros 41-42 de purpan,78
- Mangenot F, (1980), Les litières forestières, signification écologique et pédologique, rev, Forest Franç, Vol,32 n°4, PP 339-355
- Mathieu, C, Pieltain, F, & Jeanroy, E, (2003), analyse chimique des sols :méthodes choisies, Tec & doc
- Meddahi, S, (2022), Caractéristiques édaphiques du Sud-Ouest de la wilaya de saïda (Mémoire de Master), Université Moulay tahar, Saïda.

- Michel C, Schvarts G, C, Jabiol B, (2011)-Etude des sols, description, cartographie, utilisation, Dunod, Ed savoirs, paris, 399
- Nahal I, (1962) , Etude de pin d'Alep harmonique phyto-écologie et sylvicole, tom 1, fasci 4,208p
- Nahal I, (1986) , Taxonomie et aire géographique des *pins du groupe halepensis*, Série etude CIHEAM86/1, pp. 1-9.
- Pallo F,J,P, Sawadogo N, Sedogo M ,P, & zombré N.P, (2008) - Statut de la matière organique des sols de la zone nordsoudanienne au Burkina Faso. biotechnol. Agron, Soc, Environ. 2009 13(1), 139-142.
- QUEZEL P. & MEDAIL F. (2003). Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. 571p.
- QUEZEL P. (1986) : *Les pins du groupe halepensis* Ecologie, Végétation, ecophysiologie.
- Quézel, P, & Médail, F, (2003), Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen, Elsevier.
- Samira, M, Okkacha, H, Nadjat, M, Naima, B, noury, B, & kader, A. (2019), climo-edaphic impact on the growth of aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill) in the reforestation of the Naâma region, (South-West Algeria), South Asian Journal of Experimental Biology, 9(3).
- SEIGUE A, (1985) , La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes, Ed. maison neuve et Larousse, Paris, 502 p
- Soltania, (2016), Typologie et Fertilité des stations de pin d'Alep de la forêt de Benjloud, saida,1p
- Soltner D, 2003, Les bases de production végétales, Tome 1, Le sol et son amélioration, collection sciences et techniques agricoles, 23éme édition, Imprimerie Prouteau, Paris, 472p.
- Sylvia, D. M, Fuhrmann, J. J, Hartel, P. G, & zuberer, D. A. (2005), Principles and applications of Soil Microbiology, 2nd Edition, Pearson Prentice Hall.
- Tir, E, (2023), Caractérisation édaphique d'une pinède steppique dépérit dans la forêt domaniale de Rechaiga, Wilaya de Tiaret (ouest de l'Algérie), Agropastoralis Scientia, 1, 49-49.
- Venet J, (1986), Identification des outils et méthodes utilisées à Dynafor concernant la Dendrochronologie.

- Zavala M, & Zea E, (2004), Mechanisms maintaining biodiversity in Mediterranean pine-oak forests: insights from a spatial simulation model, Plant Ecol, 171: 197-207.
- Zouidi, M, Borsali, A, H, Allam, A, & Gros, R. (2019), Quality Estimation of the Western algeria Forest Soils, Malaysian Journal of Soil science, 23.
- Zouidi, M, Borsali, A, H, Allam, A, Gros, R, rebufa, C, & Da Silva, A, M, F, (2020), comparative local case study of coniferous forest litter of the" *Pinus halepensis* Mill" in arid and Semi-arid areas of western Algeria. acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 16(1), 39-50.

ANNEXES

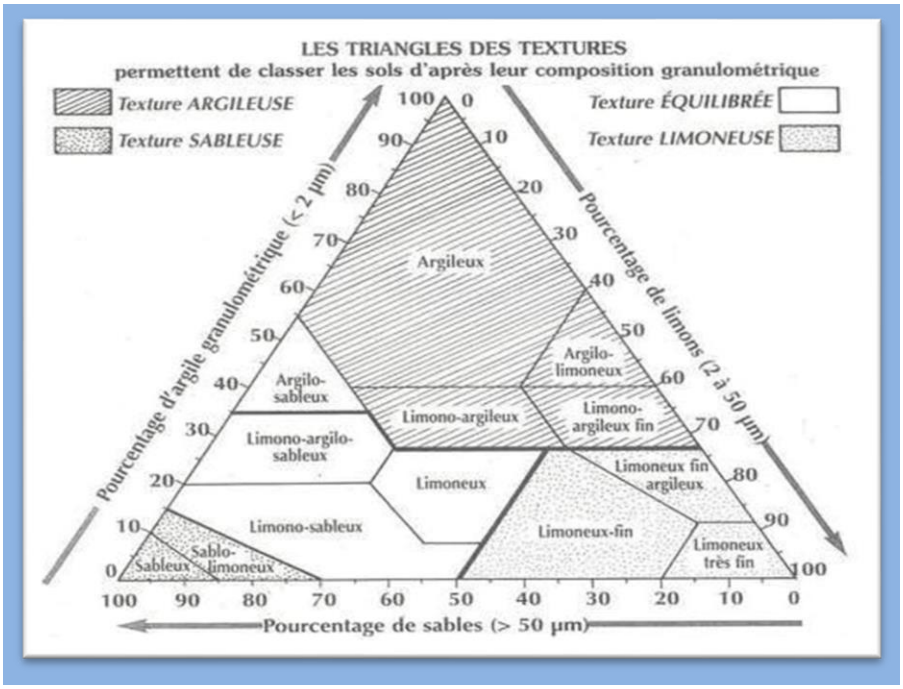
1. pH

pH	Classe
<3.3	Hyperacide
3.5-4.2	Très acide
4.2-5	Acide
5 -6.5	Faiblement acide
6.5-7.5	Neutre
7.5-8.7	Basique
>8.7	Très basique

2 Condective électrique

Conductivité (mmhos/cm)	0.6	1	2	3	4
CE(1/5)	Non salé	Légerement salé	Salé	Très salé	Extremement salé

3.Le triangle de la texture du sol



4. Mataire organique

Taux a matière organique(%)	Terre
<1	Très pauvre
1-2	Pauvre
2-4	Moyenne
>4	Riche

5. Calcaire total

Calcaire total (%)	>0.5	0.5	5	10	25	50
Terre	Non calcaire	Très faible en calcaire	Faible en calcaire	calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire

Annexe 2

Les analyses statistiques

Effect	Univariate Tests of Significance for pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	333,0150	1	333,0150	33301,50	0,000000
Station	0,7350	1	0,7350	73,50	0,001017
Errr	0,0400	4	0,0100		

Cell No.	Tukey HSD test; variable pH (Spreadsheet1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,01000, df = 4,0000			
	Station	pH Mean	1	2
2	2	7,100000	b	
1	1	7,800000		a

Effect	Univariate Tests of Significance for CT (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1451,748	1	1451,748	2068,951	0,000001
Station	2,369	1	2,369	3,376	0,140026
Error	2,807	4	0,702		

Effect	Univariate Tests of Significance for CE (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2020372	1	2020372	1794,808	0,000002
Station	414	1	414	0,367	0,577096
Error	4503	4	1126		

Effect	Univariate Tests of Significance for CT (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1451,748	1	1451,748	2068,951	0,000001
Station	2,369	1	2,369	3,376	0,140026
Error	2,807	4	0,702		

Effect	Univariate Tests of Significance for CA (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	580,1667	1	580,1667	1392,400	0,000003
Station	28,1667	1	28,1667	67,600	0,001193
Error	1,6667	4	0,4167		

Cell No.	Tukey HSD test; variable CA (Spreadsheet1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,41667, df = 4,0000			
	Station	CA Mean	1	2
1	1	7,66667	b	
2	2	12,00000		a

Effect	Univariate Tests of Significance for MO (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	34,08167	1	34,08167	1876,055	0,000002
Station	4,68167	1	4,68167	257,706	0,000088
Error	0,07267	4	0,01817		

Cell No.	Tukey HSD test; variable MO (Spreadsheet1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,01817, df = 4,0000			
	Station	MO Mean	1	2
1	1	1,500000	b	
2	2	3,266667		a

Effect	Univariate Tests of Significance for HC (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1600,667	1	1600,667	300,1250	0,000065
Station	150,000	1	150,000	28,1250	0,006074
Error	21,333	4	5,333		

Cell No.	Tukey HSD test; variable HC (Spreadsheet1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 5,3333, df = 4,0000			
	Station	HC Mean	1	2
1	1	11,33333	a	
2	2	21,33333		b

Effect	Univariate Tests of Significance for HH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	11,20667	1	11,20667	420,2500	0,000033
Station	1,92667	1	1,92667	72,2500	0,001051
Error	0,10667	4	0,02667		

Cell No.	Tukey HSD test; variable HH (Spreadsheet1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,02667, df = 4,0000			
	Station	HH Mean	1	2
1	1	0,800000	b	
2	2	1,933333		a