

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE DE SAAD DHLEB-BLIDA 1**



**Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie**  
**Département de Biotechnologie et Agro-Ecologie**

## **Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme master II dans le domaine SNV**

**Filière Sciences Agronomiques.**

**Spécialité : Sciences Foresteries**

## **Thème**

**Evolution du stock de carbone organique dans le sol sous  
une forêt méditerranéenne (cas de la forêt de Bainem)**

**Réalisé par :**

- **BOUAZI Samia**
- **CHEREF Chahinez**

**Devant le jury :**

**Présidente : Mme DEGUI .N**

**M.A.A Université de Blida 1.**

**Examineur : Mr OUELMOUHOU .S**

**M.C.B Université de Blida 1.**

**Encadreur : Mme DILMI .A**

**Maitre de recherche I.N.R.F Bainem.**

**Co-encadreur : Mme ZEMOURI .S**

**M.A.A Université de Blida 1.**

**Année Universitaire : 2024/2025**

---

## Remerciements

---

Avant tout, Nous tenons à remercier ALLAH qui m'a insufflé la détermination et la bravoure nécessaires pour accomplir ce modeste projet.

Nous souhaitont exprimer notre profonde gratitude envers les membres du jury :

Mme Degui N., M.A.A. qui a présidé, et M. Ouelmouhoub S., M.C.B. qui a agi en tant qu'examinatrice. Leur présence, leur lecture minutieuse de notre mémoire,

ainsi

que les commentaires qu'ils formuleront lors de cette soutenance pour perfectionner mon travail, sont grandement appréciés.

Ensuite, Nous tenons à exprimer notre gratitude envers ma superviseure, **Mme Dilmi.A**, attachée de recherche I.N.R.F Bainem, pour ses orientations précieuses et sa rigueur scientifique, ainsi que pour la confiance qu'elle m'a témoignée tout au long de cette recherche. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Mme Zemouri S. M.A.A., ma co-promotrice, pour sa disponibilité constante, son soutien indéfectible et ses conseils assidus, le tout accompagné d'un dévouement et de

patience considérables dans l'accomplissement de ce mémoire. Cette tâche me  
donne l'opportunité de lui exprimer ma sincère reconnaissance.

Nous tenons aussi à remercier M. Said, l'ingénieur de laboratoire, et M. Cherbal  
pour leur présence, leur attitude positive et pour avoir instauré une ambiance  
saine sur le terrain ainsi qu'au laboratoire de pédologie.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près  
ou de loin à la réalisation de ce travail.

**Merci à tous**

---

## Dédicaces

---

Louange à Allah, par Sa grâce les bonnes œuvres s'accomplissent.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Allah, Le Tout-Puissant, qui m'a guidé, soutenu et facilité ce chemin.

À mes chers parents, source de ma force et de mon soutien, merci pour votre amour, votre patience et vos sacrifices.

À mon amie fidèle, Samia Bouazi, qui a été mon véritable appui dans les moments les plus difficiles, sans toi, après Dieu, je ne serais pas arrivé(e) là où j'en suis aujourd'hui.

Je te suis infiniment reconnaissant(e). Et à toutes les personnes que je souhaite voir faire toujours partie de ma vie, que Dieu vous garde à mes côtés.

*Chahinez*

---

## Dédicaces

---

Je rends d'abord grâce à Dieu, Le Tout-Puissant, pour Sa guidance, Sa patience et Son soutien tout au long de ce parcours.

À mon père Ahmed et ma mère Zohra, merci pour votre amour, vos prières et votre soutien inconditionnel.

À mon mari et mes deux trésors Safaa et Elyes, vous êtes ma force, ma lumière et ma plus grande source de motivation.

À ma chère amie Charef Chahinez, merci pour ta présence sincère, ton aide et ta solidarité dans chaque étape de ce travail.

À mes frères Sofiane , mohamed et ma sour Imane à tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin durant mon parcours universitaire, je vous dédie ce modeste travail avec gratitude et affection.

Et enfin, à moi-même, pour avoir persévéré malgré les difficultés... tu as réussi

*Samia*

## Résumé

Le présent travail a été réalisé dans la région forêt de Bainem, Il entre dans le cadre d'un projet de recherche initié par l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF), Cette étude a pour objectif d'évaluer et de comparer le stock de carbone organique dans les sols forestiers, à travers différents horizons, au sein de deux parcelles : l'une dominée par l'Eucalyptus (*Eucalyptus sp.*), l'autre par le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Les analyses ont porté sur plusieurs paramètres physico-chimiques du sol, ainsi que sur le calcul du stock de carbone organique. Les résultats obtenus ont montré que les deux parcelles présentent une richesse en matière organique, mais avec une différence notable en faveur du sol sous Pin d'Alep, qui affiche un stock de carbone organique plus élevé. Cette différence peut être expliquée par la nature argileuse du sol et la capacité de rétention de la matière organique dans ce type d'écosystème.

**Mot clés :** Carbone organique, Stock de carbone, forêt méditerranéenne, Sol forestier, effet de serre, changement climatique.

## Abstract

This work was carried out in the Bainem forest region, as part of a research project initiated by the National Institute of Forestry Research (INRF). The objective of this study is to evaluate and compare the organic carbon stock in forest soils across different horizons within two plots: one dominated by Eucalyptus (*Eucalyptus sp.*), and the other by Aleppo Pine (*Pinus halepensis*). The analyses focused on several physico-chemical parameters of the soil, as well as the calculation of organic carbon stock. The results show that both plots are rich in organic matter, with a notable advantage for the Aleppo Pine soil, which displays a higher organic carbon stock. This difference can be explained by the clayey nature of the soil and its capacity to retain organic matter in this type of ecosystem.

**Key words:** Organic carbon, Carbon stock, Mediterranean forest, Forest soil, Greenhouse effect, Climate change).

## ملخص

تم إنجاز هذا العمل في منطقة غابة باينام، في إطار مشروع بحث أطلقه المعهد الوطني للبحث الغابي (RINF). تهدف هذه الدراسة إلى تقييم ومقارنة مخزون الكربون العضوي في التربة الغابية، عبر مختلف الطبقات، ضمن قطعتي دراسة: إحداهما تغلب عليها أشجار الأوكالبتوس (*Eucalyptus sp.*)، والأخرى أشجار الصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis*). وقد شملت التحاليل عدة خصائص فيزيائية وكيميائية للتربة، بالإضافة إلى حساب مخزون الكربون العضوي. أظهرت النتائج أن القطعتين غنيتان بالمادة العضوية، مع تسجيل تفوق واضح لتربة الصنوبر الحلبي من حيث مخزون الكربون العضوي. ويمكن تفسير هذا الفرق بطبيعة التربة الطينية وقدرتها على الاحتفاظ بالمادة العضوية في هذا النوع من النظم البيئية.

**الكلمات المفتاحية:** الكربون العضوي، مخزون الكربون، الغابة المتوسطية، التربة الغابية، تأثير الاحتباس الحراري، التغير المناخي.

# Liste des figures

Figure 1: Cycle global de carbone pour les années 1990, présentation des principaux flux en GTC /an (IPCC.2007) .....	7
Figure 2: Schéma de l'évolution de la matière organique fraîche (Duchaufour, 1995).....	8
Figure 3: Répartition mondiale du stock de carbone organique dans le premier mètre de sol (April 2015•SOIL 1(1):351-365 Martin Köchy ronald hiederer annette freibauer).....	11
Figure 4: Répartition de la surface terrestre par biome (en %) .....	12
Figure 5 : Stock globaux de carbone par biome (végétation et sol jusqu'à une profondeur de 1 m). .....	12
Figure 6: Stocks de carbone à l'hectare dans les bassins de carbone représentés par la végétation et le sol jusqu'à une profondeur de 1m (IPCC 2000). .....	13
Figure 7 : Situation géographique de la forêt de Bainem (image satellitaire).....	23
Figure 8: Température moyenne, minimale et maximale de la forêt de Bainem pour la période (2006-2015).....	24
Figure 9: Pluviométrie de la Forêt de Bainem (2006-2015) selon les données .....	25
Figure 10: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la station de bainem	27
Figure 11: Climagramme d'Emberger de la région de bainem. ....	27
Figure 12: Placette de pin d'Alep au niveau de la forêt de Bainem (2025, Original).....	31
Figure 13: Placette d'eucalyptus au niveau de la forêt de Bainem (2025, Original). ....	31
Figure 14: Echantillons de sol prélevés (2025, Original).....	32
Figure 15: Points de prélèvement des échantillons de sol (2025, Original).....	32
Figure 16: GPS (2025,Original) .....	33
Figure 17: .Un cylindre métallique pour détermination de la densité apparente (2025, Original). ....	33
Figure 18: Tarière (2025, Original).....	33
Figure 19: Broyage et tamisage des échantillons (Original, 2025). ....	34
Figure 20: Etapes d'analyse granulométrique (Original 2025) .....	34
Figure 21: Sols dans l'étuve (Original 2025). ....	35
Figure 22: Analyse de pH par le pH mètre (Original, 2025).....	35
Figure 23: Analyse de conductivité électrique par le conductimètre (Original 2025) .....	36
Figure 24: Dosage du calcaire total (Original 2025). ....	36
Figure 25: Eapes d'analyse matière organique (Original 2025). ....	37

Figure 26: Variations de l'Humidité des parcelles étudiées.....	40
Figure 27: Variations de pH eau des parcelles étudiées.....	40
Figure 28: Variations d'EC (ds/m) des parcelles étudiées. ....	41
Figure 29 : Variations de Calcaire total (%) des parcelles étudiées.....	41
Figure 30: Variations de l'Azote total des parcelles étudiées. ....	42
Figure 31: Variations de la Densité apparente des parcelles étudiées	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 32: Variation des teneurs en matière organique et en carbone organique du sol sous pin d'Alep.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 33: Variation des teneurs en matière organique et en carbone organique du sol sous eucalyptus.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 34: Evolution de stock de carbone organique du sol sous pin d'Alep	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 35: Evolution de stock de carbone organique du sol sous eucalyptus .....	48



## Liste du tableau

---

Tableau 1: Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la zone d'étude pour la période (2006-2015).....	23
Tableau 2: Précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude pour la période (2006-2015) .....	24
Tableau 3: Localisation de placettes d'étude .....	32
Tableau 4: Variation des Paramètres statistiques de la Granulométrie de station Pin d'Alep et Eucalyptus. ....	39
Tableau 5: Données physico-chimique du sol de station Pin d'Alep et Eucalyptus. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 6: Variation des Paramètres statistiques de la densité apparente (g/cm <sup>3</sup> ) de station Pin d'Alep et Eucalyptus.....	43
Tableau 7: Variation des teneurs en matière organique et en carbone organique du sol sous pin d'Alep.....	44
Tableau 8: Variation des teneurs en matière organique et en carbone organique du sol sous eucalyptus.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 9: Variation de stock de carbone organique de placette de pin d'Alep .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 10: Variation de stock de carbone organique de placette d'Eucalyptus.....	48

## Liste des Abréviation

### Acronymes

A	Argile
C/N	Rapport Carbone/Azote
CaCo3	Calcaire Total
CE	Conductivité Électrique
CO	Carbone organique
CO2	Dioxyde de Carbone
COS	Carbone organique du sol
da	Densité Apparente
EC	Eucalyptus
Gt	Giga tonnes de carbone
H	Horizon
K2Cr2O7	bichromate de potassium
L	Limon
MO	Matière organique
MOF	Matière organique fraîche
MOS	Matière organique du sol
MOV	Matière organique vivant
NT	Azote Total
PA	Pin d'Alep
pH	potentielle Hydrogène
S	Sable

### Symboles

°C	Degré Celsius
Cm	Centimètre

P	Précipitation en mm
T	Température en °C

## Sommaire

Remerciements .....	II
Dédicaces .....	4
Résumé .....	6
<b>Liste des figures</b> .....	7
<b>Liste des tableaux</b> .....	9
<b>Liste des Abréviation</b> .....	10
Acronymes .....	10
Symboles .....	10
PARTIE I : Synthèse Bibliographique .....	2
Chapitre I : Généralités sur les sols .....	5
1. Définition d'un sol .....	5
2. Constituants du sol .....	5
2.1. Constituants solides .....	5
2.2. Constituants liquides .....	5
2.3. Constituants gazeux .....	5
3. Propriété du sol .....	5
3.1. Propriété physiques .....	5
3.1.1. Texture .....	5
3.1.2. Structure .....	6
3.1.3. Porosité .....	6
3.2. Propriétés chimiques .....	6
3.2.1. pH .....	6
3.2.2. Conductivité électriques .....	6
4 . Définition de la matière organique .....	6
5. Carbone et matière organique .....	7
5.1. Cycle de carbone .....	7
5.2. Types de carbone dans le sol .....	7
5.3 Origine de la matière organique .....	7
5.4 Evolution de la matière organique .....	8

5.4.1. Minéralisation.....	8
5.4.2. Humification.....	8
5.5. Rôle de la matière organique.....	8
6. Sols forestiers .....	9
7. Caractéristiques des sols sous forêt.....	9
8. Type des sols forestiers .....	9
Chapitre II : Stock du carbone organique dans le sol sous forêt .....	11
1. Stock du carbone organique de sol.....	11
1.1. Stock mondial du carbone organique .....	11
1.2. Stock du carbone organique en Algérie .....	11
1.3. Évaluation du stock de carbone organique en forêt .....	12
2. Stock du carbone organique dans le sol et le changement climatique .....	12
3. Facteurs influençant le stock de carbone organique dans le sol.....	13
3.1. Mécanismes biotiques .....	14
3.1.1. Végétation .....	14
3.1.2. Faune .....	14
3.1.3. Microorganismes .....	14
3.2. Mécanismes abiotique .....	14
3.2.1. Rôle de la structure physique du sol.....	14
3.2.2. Interactions organo-minérales .....	15
4.1. Température .....	15
4.2. Pluviométrie .....	15
4.3. pH.....	15
Chapitre III : les forêts méditerranéennes. ....	17
1. Situation géographique.....	17
2. Caractéristiques des forêts méditerranéennes .....	17
2.1. Climat méditerranéen .....	17
2.2. Végétation .....	17
2.3. Faune de la forêt méditerranéenne .....	18
2.4. Géographie et relief.....	18
3. Forêts méditerranéennes et changements climatiques.....	18
4. Sols des forêts méditerranéennes .....	19
5. Conservation des forêts méditerranéennes .....	20
Partie II : Présentation de la zone d'étude .....	2

1. Historique de la forêt de Bainem .....	22
2. Discription de la zone d'étude.....	22
3. Situation administrative.....	22
4. Situation géographique.....	23
5. Donnés climatiques .....	23
5.1. Température .....	23
5.2. Précipitation .....	24
5.3. Neige .....	25
5.4. Grêle .....	25
5.5. Gelées .....	25
5.6. Vent .....	25
6. Synthèse bioclimatique .....	25
6.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen .....	26
6.2. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger .....	26
7. Réseau hydrique .....	28
8. Topographie .....	28
9. Végétation .....	28
9.1. Strate arborescente .....	28
9.2. Strate arbustive.....	28
9.3. Strate herbacée .....	29
10. Faune .....	29
PARTIE III : Matériels et méthode .....	2
Introduction .....	31
2. localisation du site d'étude.....	31
2.1. Echantillonnage de sol .....	32
2.2. Matériels utilisés .....	32
3. Analyse au laboratoire.....	33
3.1. Séchage des échantillons .....	33
3.2. Broyage et tamisage des échantillons.....	33
3.3. Les analyses physiques et chimiques .....	34
3.3.1. Les analyses physiques.....	34
a) Les analyses granulométriques.....	34
c) L'humidité : (Méthode gravimétrique) .....	35
D. La densité apparente.....	35

3.3.2. Les analyses chimiques .....	35
a. pH.....	35
b. La conductivité électrique .....	36
c. Calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ ) .....	36
d. Dosage de l'azote total (Méthode KJELDAHL).....	36
e. Carbone organique de sol.....	37
3.4 Stock du carbone organique .....	37
Partie 04 : Résultats et Discussions.....	2
1. Analyses physico-chimiques du sol .....	39
2. Stock de carbone organique de sol .....	46
2.1. Stock de carbone organique du sol sous pin d'Alep .....	46
2.2. Stock de carbone organique du sol sous eucalyptus .....	48
3. Evolution de stock du carbone dans le sol .....	49
3. Evolution de stock du carbone dans le sol .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1. Evolution de stock du carbone dans le sol sous pin d'Alep .....	49
Références bibliographiques	

# **Introduction générale**

Le sol est un élément fondamental de la vie sur terre. Il est composé de minéraux spécifiques, de matières organiques, de solutions, d'air et d'organismes vivants (micro-organismes, animaux, plantes), et présente une grande diversité structurelle et fonctionnelle. Cette complexité permet le développement d'une biosphère riche et très diversifiée (Gérard et al. 2005).

Le sol constitue un réservoir majeur de carbone organique dans les écosystèmes terrestres, puisqu'il contient deux à trois fois plus de carbone que les plantes et l'atmosphère réunies. Le carbone organique est le principal composant de la matière organique du sol. Il est désormais évident que l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et le changement climatique qui en résulte auront des conséquences majeures au XXI<sup>e</sup> siècle (FAO, 2002). Cela se manifeste par l'élévation des températures moyennes de l'atmosphère et des océans, la fonte massive des neiges et des glaces, et l'élévation du niveau moyen des mers. Les activités humaines telles que l'utilisation des combustibles fossiles, la déforestation et l'agriculture sont les principales sources d'émission de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de méthane (CH<sub>4</sub>), de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et des hydrocarbures fluorés. Les émissions de gaz à effet de serre peuvent être réduites soit en diminuant leur taux d'émission dans l'atmosphère, soit en augmentant leur taux de séquestration par des puits de carbone (FAO, 2002). Une des options consiste à capter le carbone dans le sol ou la biomasse terrestre, notamment dans les sols agricoles ou forestiers, sachant que les forêts stockent plus de la moitié du carbone organique des masses terrestres (1 120 GtC), et que le carbone stocké dans les sols forestiers représente 35 % du carbone total présent dans les réservoirs de sol (Robert, 2002).

Dans ce contexte, de nouvelles stratégies et politiques appropriées ont été mises en place au niveau mondial pour faire face au changement climatique, conformément aux recommandations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le Protocole de Kyoto stipule que les émissions de gaz à effet de serre peuvent être réduites soit en limitant leur émission dans l'atmosphère. Une des approches consiste à stocker le carbone dans les sols ou dans la biomasse terrestre, notamment dans les sols agricoles ou forestiers.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail de recherche, présenté en fin de cycle, visant à évaluer le carbone organique dans les sols forestiers de la Forêt de Baïnem à Alger. Ce mémoire est structuré en quatre parties : Synthèse bibliographique, Matériel et méthode et résultats et la discussion. Ce travail se terminera par une conclusion générale.



# **PARTIE I : Synthèse Bibliographique**

# **Chapitre I : Généralités sur les sols**

## **Chapitre I : Généralités sur les sols**

### **1. Définition d'un sol**

Le sol est la peau vivante des continents, l'épiderme de la Terre. Il s'agit d'une fine couche, généralement meuble, située à l'interface de la lithosphère et de l'atmosphère. Le sol est le support de la vie végétale et animale, ainsi que des activités humaines.(Coudurier,2012)

### **2. Constituants du sol**

Selon (Buttler 1992),un volume de sol est constitué d'éléments solides, liquides et gazeux.

#### **2.1. Constituants solides**

Elle se compose de deux sortes d'éléments distincts : Les composants minéraux, issus de l'altération mécanique et chimique de la roche mère. Ils comprennent les pierres, graviers, sables, limons, argiles, calcaire et oxydes de fer. Cette fraction, majoritaire (80 à 99 % du poids), présente une composition relativement stable. Les composants organiques, ou matière organique du sol (MOS), dont la proportion varie fortement selon les conditions. Elle peut être quasi absente dans les sols minéraux désertiques et atteindre plus de 95 % dans les tourbières (Mustin, 1987).

#### **2.2. Constituants liquides**

Il s'agit de l'eau présente dans le sol, qui contient des substances solubles issues à la fois de la dégradation des roches, de la décomposition de la matière organique du sol et des apports externes tels que les engrais et les pesticides. Ce segment est le site des réactions chimiques continues essentielles à l'évolution de la matière organique et à la croissance des plantes (Mustin, 1987).

#### **2.3. Constituants gazeux**

Est composée de mêmes gaz que l'air auxquels s'ajoutent certains gaz provenant de la décomposition des MOS(Mustin, 1987).

## **3. Propriété du sol**

### **3.1. Propriété physiques**

#### **3.1.1. Texture**

La texture ou la granulométrie fait référence à la répartition des sédiments en fonction de leur taille. C'est une propriété fixe du sol qui est de loin la propriété la plus importante (Gobat et

al, 2010). Le triangle des textures indique à quel type appartient le sol considéré, on désigne deux types de texture (Texture minérale, Texture organique)

### **3.1.2. Structure**

La structure du sol correspond à l'agencement des particules, observable à l'échelle macroscopique et microscopique (Duchaufour, 2004). Elle représente l'état du sol et dépend de la texture, de l'humidité, de l'activité des colloïdes et de la matière organique (Gobat et al., 1998). Cette structure peut évoluer rapidement sous l'effet des pratiques culturales.

### **3.1.3. Porosité**

La porosité correspond à la proportion de vides dans le sol et constitue un indicateur essentiel de son état structural (Duchaufour, 2004). Elle se subdivise selon la taille des pores en trois catégories : la macroporosité ( $> 50 \mu\text{m}$ ), assurant un drainage rapide et une bonne aération ; la mésoporosité ( $0,2\text{--}50 \mu\text{m}$ ), qui retient l'eau disponible pour les plantes ; et la microporosité ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ), où l'eau est retenue de manière non utilisable (Aragnou et al., 2003).

## **3.2. Propriétés chimiques**

### **3.2.1. pH**

L'acidité du sol correspond à la concentration en ions  $\text{H}^+$ . Elle comprend une acidité actuelle, liée aux ions  $\text{H}^+$  libres dans la solution du sol, et une acidité potentielle, représentée par les ions  $\text{H}^+$  échangeables constituant une réserve mesurable par titrage ou par échange avec une solution saline (Duchaufour, 2004).

### **3.2.2. Conductivité électriques**

La phase liquide du sol contient divers ions responsables de sa conductivité électrique. Celle-ci dépend principalement de la composition minérale, des matières organiques et de la structure générale du sol (Calvet, 2003).

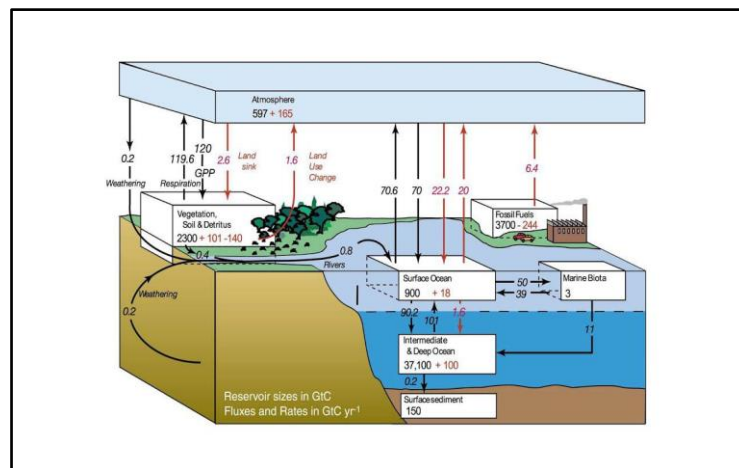
## **4. Définition de la matière organique**

La matière organique est tout ce qui vit ou a été vivant. Il comprend les résidus animaux et végétaux ou différents stades de décomposition (cellules et tissus des organismes du sol et substances produites par les microorganismes du sol). La partie de ces substances formées dans le sol est appelée humus (Bonneau et Souchier, 1994).

## 5. Carbone et matière organique

## 5.1. Cycle de carbone

Le cycle du carbone regroupe les principaux réservoirs — hydrosphère, lithosphère, atmosphère et biosphère — et les échanges qui s’y produisent. À court terme, ces échanges concernent surtout la biosphère, l’atmosphère et l’hydrosphère. Les activités humaines, notamment l’utilisation des énergies fossiles, ajoutent environ 8,9 Gt C/an à l’atmosphère, renforçant l’effet de serre (Le Quéré et al., 2014). Même une petite variation du stock de carbone organique peut influencer fortement les émissions mondiales, qui équivalent à environ 4 % de ce stock. Aujourd’hui, les écosystèmes terrestres (sols + végétation) absorbent plus de 30 % des émissions anthropiques (Cardinal, 2015).



### 5.4. Evolution de la matière organique

L'évolution de la matière organique fraîche vers l'humus varie selon le type de sol : sols à végétation permanente (forêts, prairies) ou sols cultivés. Elle dépend de facteurs biologiques (richesse en micro-organismes, nature biochimique de la matière) et de facteurs édaphiques ou climatiques, qui conditionnent son évolution dans le sol (Duchaufour, 2001)

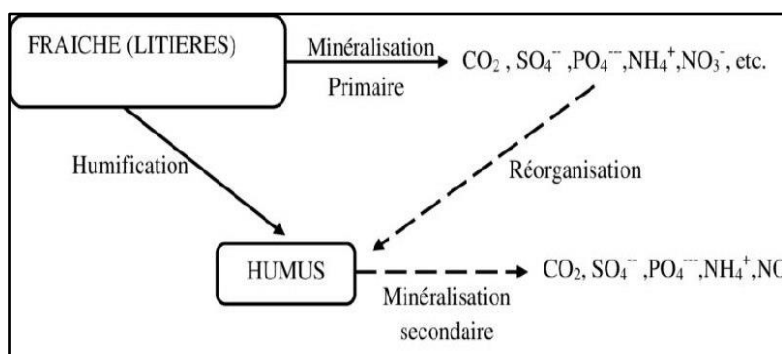


Figure 2: Schéma de l'évolution de la matière organique fraîche (Duchaufour, 1995).

L'examen des différentes étapes de l'évolution de la matière organique permet de déterminer les processus de base suivants :

- La minéralisation.
- L'humification.

#### 5.4.1. Minéralisation

Ce sont tous les processus qui décomposent et simplifient les composants de la matière organique fraîche pour produire de simples composés solubles ou gazeux (BenslamaZanache, 1998).

#### 5.4.2. Humification

Ce sont tous des processus synthétiques qui conduisent à la formation de composés humiques colloïdaux nouvellement formés. L'humidification est le résultat de processus physiques, chimiques et biochimiques (Benslama-Zanache, 1998). Duchaufour, 1995 cite que l'humification est due à des facteurs écologiques et biologiques.

### 5.5. Rôle de la matière organique

Les matières organiques du sol jouent un rôle clé : elles fournissent les éléments nutritifs via la minéralisation (Citeau et al., 2008), présentent une CEC très élevée due aux substances humiques (Chenu, 2003) et stimulent l'activité biologique (Robert, 2002 ; Citeau et al., 2008). Elles améliorent la structure, la perméabilité et la rétention en eau du sol tout en retenant de nombreux polluants (Citeau et al., 2008). Leur apport peut aussi accélérer la dégradation des pesticides (Savadogo et al., 2008). Cependant, elles peuvent devenir sources de nitrates, phosphates et contribuer aux émissions de gaz à effet de serre (Citeau et al., 2008).

## **6. Sols forestiers**

Le sol forestier, ressource fragile, doit être géré avec soin comme les autres fonctions de la forêt. Au-delà de la production de bois et de produits non ligneux, la forêt joue un rôle écologique important, notamment dans le maintien de la biodiversité, la qualité des paysages, et la protection des sols, de l'eau et de l'air (Ranger, 2001)

## **7. Caractéristiques des sols sous forêt**

Même si les sols forestiers et agricoles se ressemblent, certaines différences importantes subsistent. Les terrains redevenus forestiers sont généralement de qualité inférieure et souvent délaissés par l'agriculture. Contrairement aux sols cultivés, ils sont rarement amendés et peu labourés. En général, ils sont plus acides, moins fertiles, mais contiennent davantage de matière organique. (Ranger, 2001)

## **8. Type des sols forestiers**

Selon la nature des roches-mères, les sols forestiers peuvent être classés en trois grands types dominants : siliceux, calcaires et argileux, souvent présents en mélange dans un même sol (Boudy, 1952).

## **Chapitre II : Stock du carbone organique dans le sol sous forêt**



## Chapitre II : Stock du carbone organique dans le sol sous forêt

### 1. Stock du carbone organique de sol

#### 1.1. Stock mondial du carbone organique

À l'échelle mondiale, 5 milliards de tonnes de carbone s'ajoutent chaque année aux 800 milliards de tonnes de carbone présentes dans l'atmosphère. Le rapport du GIEC souligne la nécessité de réduire immédiatement les émissions de gaz à effet de serre. Outre les énergies renouvelables et les technologies moins énergivores, il existe d'autres solutions pour réduire la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, notamment la reforestation, le stockage du carbone dans des matériaux à longue durée de vie, le stockage du dioxyde de carbone dans des réservoirs géologiques ou le stockage du carbone dans le sol. (IFPEN, 2025)

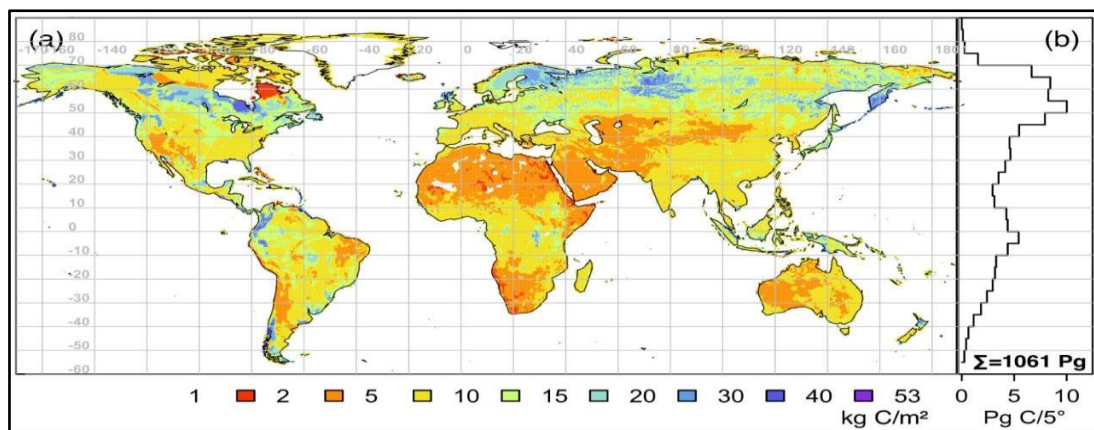


Figure 3: Répartition mondiale du stock de carbone organique dans le premier mètre de sol (April, 2015)

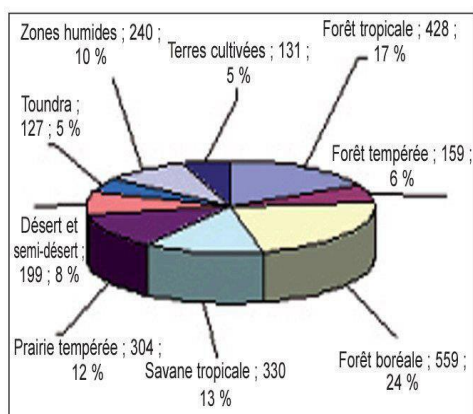
#### 1.2. Stock du carbone organique en Algérie

L'étude menée par Morsli et al. (2004) a montré que les différents systèmes de gestion des sols influencent de manière significative les stocks de carbone organique. L'étude a porté sur cinq systèmes couramment utilisés dans les zones montagneuses méditerranéennes : le sol nu, le sol cultivé, la jachère, la gestion sylvopastorale et la gestion pastorale. Les résultats ont révélé que la teneur en carbone organique dans le sol reste généralement faible, variant entre 0,63 % et 3,33 % dans les dix premiers centimètres du sol, et entre 0,6 % et 1 % dans les trente premiers centimètres. Une diminution des stocks de carbone organique a été observée, allant de 10 à 25 % dans les sols nus, 8 % dans les systèmes conventionnels, et entre 16 et 22 % dans les jachères et les jachères pâturées. En revanche, des augmentations notables,

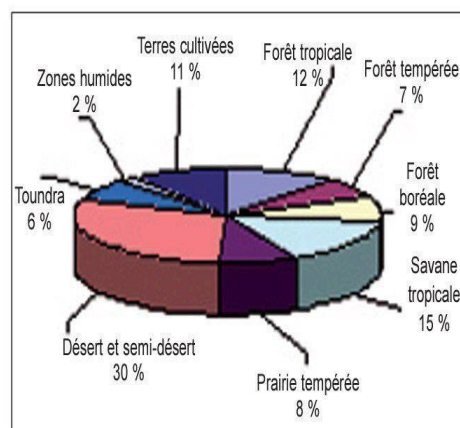
comprises entre 5 % et 28 %, ont été enregistrées dans les systèmes améliorés, tels que les zones humides et l'agriculture intensive en zone montagneuse. L'étude a également mis en évidence que l'érosion contribue à redistribuer le carbone, les sols sujets à l'érosion présentant une teneur en carbone organique 1,3 à 4 fois plus élevée (Morsli et al, 2004).

### 1.3. Évaluation du stock de carbone organique en forêt

Les forêts couvrent environ 30 % de la surface de la Terre, soit 4 milliards d'hectares. Le processus de photosynthèse permet aux arbres de capturer le dioxyde de carbone atmosphérique et de le convertir en molécules organiques. Les écosystèmes forestiers recyclent 5 % de ce dioxyde de carbone chaque année. Le carbone est stocké dans les racines, les troncs et les branches des arbres, dont une partie retourne au sol après la chute des feuilles et par le bois en décomposition. Le processus implique également la décomposition du dioxyde de carbone dans l'atmosphère par l'action des bactéries et des micro-organismes. Le carbone contenu dans la biomasse est principalement concentré dans la partie aérienne, les arbres représentant 70 % du stock total de carbone. Le stock de carbone dans les forêts dépend du type de forêt (tropicale, tempérée ou boréale) et varie fortement au sein d'un même Les forêts renferment d'énormes volumes de carbone, variant de 150 à 400 tonnes par hectare, et elles peuvent accumuler jusqu'à 100 millions de tonnes dans le cas des forêts boréales. La majorité du carbone, soit entre 50 % et 85 %, se trouve dans le sol, avec une moyenne de 70 % dans le sol et de 30 % dans la biomasse (Rubio, 2009).



**Figure 4 : Répartition de la surface terrestre par biome (en %)**



**Figure 5 : stock globaux de carbone par biome (végétation et sol jusqu'à une profondeur de 1 m).**

## 2. Stock du carbone organique dans le sol et le changement climatique

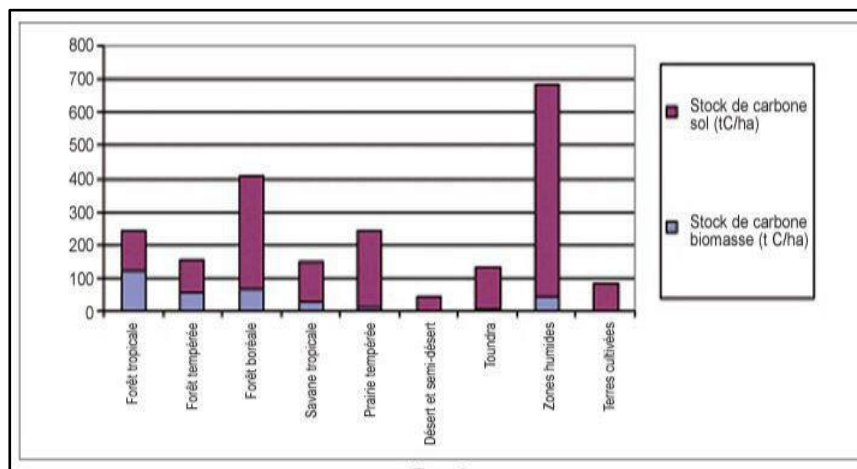
La température et les précipitations sont des facteurs les plus importants qui contrôlent la dynamique du carbone organique (Deb et al, 2015).

Bien que les températures plus élevées augmentent la production végétale et donc les apports de carbone dans le sol, elles ont également tendance à augmenter la décomposition microbienne du carbone organique du sol (Keestre et al., 2016).

Selon Crowther et al. (2016), la hausse des températures stimulerait la perte nette de carbone des sols vers l'atmosphère, conduisant à des rétroactions positives entre le carbone terrestre et le climat qui accéléreraient le changement climatique.

De plus, avec le changement climatique, on s'attend à des précipitations et des sécheresses plus fréquentes et plus intenses, qui pourraient avoir des impacts plus importants sur la dynamique des écosystèmes que les effets individuels ou combinés de la température et du CO<sub>2</sub> (GIEC, 2014). Cette augmentation de la fréquence des événements extrêmes est susceptible d'exacerber la quantité et le rythme de l'érosion, de la salinisation et d'autres mécanismes de dégradation, entraînant des pertes de carbone plus importantes.

Le changement climatique, par l'intermédiaire des précipitations, de la température, des micro-organismes et des plantes, peut influencer de nombreux facteurs de formation des sols et ainsi affecter le taux d'accumulation de carbone organique (IPBES, 2015).



**Figure 4: Stocks de carbone à l'hectare dans les bassins de carbone représentés par la végétation et le sol jusqu'à une profondeur de 1m (IPCC 2000).**

### 3. Facteurs influençant le stock de carbone organique dans le sol

Le stockage, la stabilisation et la déstabilisation du carbone organique dans les sols peuvent être influencés par divers mécanismes biotiques et abiotiques, ainsi que par les conditions pédoclimatiques (Derrien et al. 2016).

### **3.1. Mécanismes biotiques**

#### **3.1.1. Végétation**

Selon Derrien et al. (2016), les plantes influencent la matière organique (MO) des sols de deux manières principales : Elles favorisent la stabilisation de la MO en produisant des composés résistants à la dégradation et en participant à la formation d'agrégats stables. Elles limitent l'érosion par l'intermédiaire des systèmes racinaires et représentent une source majeure de carbone organique, notamment via : les exsudats racinaires, les litières (aériennes et racinaires), les associations symbiotiques (mycorhiziennes, fixatrices d'azote).

#### **3.1.2. Faune**

Le sol abrite une grande diversité d'organismes, allant de la mégafaune aux microorganismes, qui jouent un rôle essentiel dans la dynamique de la MO (Chevallier et al. 2001).

a. Stabilisation du carbone : La macrofaune contribue à la stabilisation du carbone en créant des structures biogéniques (ex. : galeries), dont la nature dépend des espèces, saisons et usages du sol (Mora et al. 2005). Ces structures permettent des interactions organo-minérales, favorisant la stabilisation du C selon la composition chimique des MO ingérées (Vidal et al. 2016 ; Jiménez et al., 2008).

b. Minéralisation du carbone : La macrofaune facilite le contact entre les microbes et la MO en modifiant leur structure chimique lors de la digestion (Shan et al., 2010). De manière générale, toute la faune du sol contribue à la décomposition de la litière (Bonkowski, 2004).

#### **3.1.3. Microorganismes**

Les microorganismes jouent un rôle crucial dans les services écosystémiques du sol. Ils : assurent le stockage de la MO, participent au recyclage des nutriments (azote, phosphore, etc.), sont, à long terme, la principale source de composés organiques stabilisés (Miltner et al. 2012).

### **3.2. Mécanismes abiotiques**

#### **3.2.1. Rôle de la structure physique du sol**

La dynamique de la MO est influencée par : Le climat (notamment l'hydratation), Les usages du sol (pratiques culturales et forestières), Les processus biotiques (ex. : activité de la macrofaune), qui modifient la structure physique du sol. Ainsi, les mécanismes abiotiques sont étroitement liés aux mécanismes biotiques (Plante et McGill, 2002).

### **3.2.2. Interactions organo-minérales**

Les minéraux, notamment les argiles, jouent un rôle de protection de la MO contre la minéralisation en : l'adsorbant, ou en la piégeant dans des agrégats inframicroométriques, la rendant inaccessible aux micro-organismes (Chenu et Plante, 2006 ; Jones et al. 2009).

## **4. Conditions pédoclimatiques**

### **4.1. Température**

Selon Burke et al. (1989), une température élevée stimule l'activité biologique et accélère la dégradation de la MO, surtout pour la fraction labile (Quideau et al., 2001 ; Song et al., 2012). Cependant, les températures extrêmes peuvent réduire la biomasse microbienne et le carbone dissous du sol, en lien avec des apports végétaux moindres (Davet, 1996 ; Hevia et al., 2003).

### **4.2. Pluviométrie**

La teneur en carbone organique du sol (COS) augmente avec les précipitations jusqu'à environ 800 mm/an, au-delà desquels elle se stabilise (Burke et al., 1989). Toutefois, une humidité excessive peut réduire l'oxygène disponible et inhiber l'activité microbienne (Song et al. 2012 ; Balesdent et al, 2000).

### **4.3. pH**

Le pH du sol influence fortement la composition et l'activité microbienne (Dari, 2013 ; Bouchenafa et al, 2014) : Les champignons dominant dans les sols acides (pH 3,5–8,5), Les bactéries prédominent dans des sols neutres à légèrement alcalins.

## **Chapitre III : les forêts méditerranéennes.**

## **Chapitre III : les forêts méditerranéennes.**

### **1. Situation géographique**

La région méditerranéenne, couvrant des Alpes au Sahara et de l'Atlantique à la mer Caspienne. L'élément unificateur est le climat, avec une longue saison d'été sèche et chaude, produisant une flore et des écosystèmes diversifiés (environ 25 000 espèces, dont près de la moitié endémiques), pont entre climat tropical et tempéré. Les pays sont divisés en deux groupes : septentrional et méridien/oriental. Le premier, en Europe, a une faible densité de population et des forêts progressant sur terres abandonnées, avec des forêts privées sous-exploitées pour manque de rentabilité. Ces pays subissent les feux comme principale cause de dégradation. Le deuxième groupe connaît une densité rurale élevée et forêt publique dominante, favorisant les activités sylvopastorales des communautés riveraines, exerçant une forte pression sur la nature. Les causes majeures de dégradation et déforestation sont l'usage excessif du bois de chauffage, déboisement pour agriculture et surpâturage, entraînant érosion et désertification.(M'HIRIT,et al 1998)

### **2. Caractéristiques des forêts méditerranéennes**

#### **2.1. Le climat méditerranéen**

Le climat méditerranéen est caractérisé par des étés chauds et secs, avec des températures élevées pouvant atteindre 40°C, et des hivers doux et humides, avec des précipitations annuelles variant entre 600 et 1 000 mm. (FAO, 2011 ; Quézel & Médail, 2003). Ce climat est marqué par une forte saisonnalité, avec une période de sécheresse estivale prolongée, suivie d'une période de pluies hivernales abondantes.. Cette particularité climatique a une influence directe sur la végétation, qui doit s'adapter pour survivre pendant la période de sécheresse. (M'Hirit et al., 1998 ; Quézel & Médail, 2003) Ce climat méditerranéen spécifique est également responsable de la formation de sols pauvres et érodés, qui nécessitent une gestion prudente pour préserver la fertilité du sol et éviter l'érosion (FAO, 2011 ; M'Hirit et al. 1998).

#### **2.2. La végétation**

Les plantes méditerranéennes se caractérisent par leur résistance à la sécheresse et à la chaleur. Les arbres ou arbustes possèdent des feuilles coriaces, généralement persistantes, équipées de mécanismes pour limiter la transpiration excessive en été (cuticules épaisses, stomates protégés du soleil, concentration particulière des sucs cellulaires), tels que le pin parasol, le chêne vert, le chêne-liège, l'olivier et le chêne zen, en plus du pistachier de l'Atlas (pistachier lentisque). On y trouve également des espèces locales d'Euphorbes, ainsi que des

plantes « charnues » d'origine américaine comme les cactus et agaves. Les formations basses constituent un trait distinctif majeur de la végétation méditerranéenne. Elles sont dominées par des buissons, des arbustes et des sous-arbrisseaux, formant ce que les Espagnols appellent "matorral". Ces formations sont subdivisées en plusieurs types de paysages.

### **2.3. Faune de la forêt méditerranéenne**

Dans la forêt méditerranéenne, on trouve des animaux comme : Mouches, sauterelles, papillons, guêpes... : la forêt méditerranéenne abrite un nombre spectaculaire d'espèces d'insectes de différents taxons, dont l'abondance varie en fonction de la période de l'année. Mulots (présents dans un grand nombre d'écosystèmes), Lapins et lièvres (très abondants dans les zones forestières méditerranéennes), Sanglier, Cerf et chevreuil (espèces de buissons durs), Hiboux et chouettes hulottes (adaptés à la chasse aux souris et autres petits animaux), Aigles et milans, Renards (se distinguent par leur pelage rougeâtre et leur longue queue), Loups (ont été au bord de l'extinction dans de nombreuses régions)(François,2023)

### **2.4. Géographie et relief**

Les forêts méditerranéennes occupent une zone géographique bien définie, caractérisée par une grande diversité de reliefs, allant des plaines côtières jusqu'aux montagnes de l'intérieur. Des chaînes de montagnes telles que les Apennins, les Pyrénées et les Balkans forment des barrières naturelles qui influencent les régimes de vent et les précipitations, créant ainsi des microclimats locaux. D'un autre côté, les vallées et plaines offrent des conditions plus favorables à la croissance végétale, avec des sols plus fertiles et un meilleur accès à l'eau. Le relief accidenté de la région méditerranéenne contribue également à la fragmentation des habitats, entraînant la formation de poches de biodiversité uniques et menacées. Ces caractéristiques géographiques et topographiques ont donné naissance à une mosaïque de paysages et d'écosystèmes dans la région méditerranéenne, où les forêts jouent un rôle essentiel dans la régulation du cycle de l'eau et la stabilisation des sols. (Medail&Quézel,1997)

### **3. Forêts méditerranéennes et changements climatiques**

Les modèles climatiques prévoient une augmentation des températures et des conditions de sécheresse dans la région méditerranéenne (Schleussner et al., 2016). Ces changements devraient intensifier la fréquence, la gravité et la durée des sécheresses, en particulier pendant l'été (GIEC, 2014 ; Poulard et al., 2014). La réponse des forêts méditerranéennes à ces phénomènes climatiques extrêmes reste mal comprise, en raison de la difficulté à mener des



expériences de terrain rigoureuses à grande échelle. Certaines études ont été menées en France, en utilisant des dispositifs d'exclusion des précipitations. Des expériences ont été réalisées sur des chênes verts à Puéchabon (Limousin et al., 2008), des pins d'Alep à Font-Blanche (Gia-Isquierdo et al., 2015), et des chênes pubescents (Santonja et al., 2015). Les résultats ont montré que la modification des régimes de précipitations affecte directement :

- La production et la décomposition de la litière (Santonja et al. 2015),
- Les émissions de composés organiques volatils (Staudt et al. 2002, 2003 ; Genard et al. 2015). Des études récentes en Afrique du Nord-Ouest signalent une récurrence des sécheresses depuis la seconde moitié du XXe siècle (Touchan et al., 2010 ; Linares et al., 2011 ; Kherchouche et al., 2012, 2013 ; Slimani, 2014). Touchan et al. (2008) ont montré que la sécheresse de 1999-2002 fut la plus sévère dans la région depuis le milieu du XVe siècle. Cela indique que les conditions climatiques limitent la croissance des arbres et influencent la répartition géographique des espèces sensibles à la sécheresse, en particulier celles situées à la limite de leur aire de répartition. La sécheresse de 1999-2002 a provoqué une mortalité importante dans les forêts de cèdres de l'Atlas, avec une disparition complète des arbres dans certaines zones (Zine El Abidine, 2003 ; Linares et al., 2011 ; Kherchouche et al., 2012, 2013 ; Slimani et al., 2014), et même chez d'autres espèces réputées tolérantes à la sécheresse, comme le pin d'Alep, le chêne vert, le chêne liège et le genévrier de Thurifère (Allen et al., 2010). Les phénomènes climatiques extrêmes pourraient fortement perturber les fonctions des forêts méditerranéennes, entraînant une augmentation de l'érosion des sols, de la fréquence et de l'intensité des incendies, ainsi qu'une prolifération des ravageurs (Moriondo et al. 2006 ; Lindner et al., 2010 ; Schröter et al., 2005). Dans ce contexte, des stratégies sont proposées pour renforcer la résistance et la résilience des forêts, notamment par l'exploitation de la diversité génétique, la plantation d'espèces mélangées, et le choix d'espèces plus adaptées au climat futur (Lefèvre et al. 2014 ; Pausas et al. 2004). Il est également recommandé de réduire la densité végétale pour limiter la concurrence entre arbres, en particulier dans les zones à risque de désertification.

#### **4. Sols des forêts méditerranéennes**

La grande diversité des roches-mères et des pentes dans la région méditerranéenne entraîne une variation considérable des types de sols. Ils sont habituellement situés sur un substrat géologique sédimentaire qui se trouve sous un sol transformé par le métamorphisme. On note çà et là la présence de terrains volcaniques généralement anciens ou de formations cristallines

fortement localisées. Essentiellement, ces terres sont vulnérables, sauf pour celles qui se trouvent dans les vastes plaines alluviales (Quézel, 1976).

## **5. Conservation des forêts méditerranéennes**

Les forêts méditerranéennes, considérées comme les "poumons" de notre région, sont confrontées à de nombreux défis : le changement climatique, l'urbanisation croissante, l'exploitation forestière non durable, etc. Ces facteurs ont des impacts directs sur la biodiversité, le stockage du carbone, la protection des sols et la qualité de l'eau. (AIFM, 2024)

1. Stratégies de conservation des forêts méditerranéennes et leurs objectifs :

- L'AIFM (Association Internationale Forêts Méditerranéennes) vise à restaurer les écosystèmes dégradés par la mise en œuvre de projets de reboisement et de régénération naturelle assistée (reforestation & assisted natural regeneration). (AIFM, 2024)
- L'association promeut également des stratégies de prévention des incendies et la mise en place de mesures pour la protection des espèces menacées, tout en conservant les espèces végétales endémiques (endémiques) et arbustives caractéristiques de la région. (AIFM, 2024)
- Le projet STRATEGYMEDFOR (janvier 2024 – septembre 2026) a pour but de créer une stratégie de gestion adaptée à chaque type de forêt, en collaboration avec plusieurs acteurs, en s'appuyant sur des données géospatiales et des modèles climatiques. (StrategyMedFor, 2024)



## **Partie II : Présentation de la zone d'étude**

### **1. Historique de la forêt Bainem**

Avant l'ère coloniale française, la forêt de Bainem appartenait à des propriétaires privés. La loi du 16 janvier 1848, qui a été appliquée en 1851, a permis la création d'une réserve forestière destinée à satisfaire les exigences en matière de bois. Selon (Boudy 1955), forêt de Bainem était essentiellement constituée de chênes-lièges et de pins d'Alep. En 1854, le massif a été déclaré propriété de l'État par le gouvernement colonial. À partir de 1868, des actions de reforestation ont été mises en œuvre, principalement avec des pins d'Alep, des eucalyptus et des chênes-lièges. De 1868 à 1956, la forêt de Bainem a subi environ quarante incendies, qui ont anéanti près de deux cents hectares.. Selon (Bakiri1980, in Hammani, 1998) un arboretum couvrant 50 hectares a été établi en 1956 destiné à l'introduction de différentes espèces exotiques et autochtones, y compris des résineux et des feuillus, en particulier des eucalyptus. À l'heure actuelle, la gestion du site de la forêt de Bainem est assurée par la Conservation des Forêts d'Alger, qui héberge également l'Institut National de la Recherche Forestière. C'est le seul établissement qui encourage la recherche expérimentale en matière forestière à l'échelle du pays. Des recherches et des expérimentations scientifiques sont fréquemment conduites afin d'apprécier l'efficacité des opérations de reboisement, qu'il s'agisse de favoriser les espèces indigènes ou d'essais d'adaptation des espèces étrangères.

### **2. Discription de la zone d'étude**

Il s'agit d'une chaîne de collines ayant une altitude variant entre 80 et 500 mètres qui constituent le prolongement ouest du massif de la cité de Bouzaréah. Au-delà de son attrait en tant qu'écosystème naturel remarquable et zone socio-culturelle et récréative, la forêt de Baïnem est essentielle pour la défense contre l'érosion hydrique des infrastructures et des localités situées sur la côte en aval. Cette fonction en soi constitue un des sites les plus sensibles de toute la région côtière algéroise. (Djelloul, 2012).

### **3. Situation administrative**

La forêt se trouve dans la wilaya d'Alger, plus précisément dans la daïra de Rais-Hamidou et la commune de Hammamet. Sur le plan administratif, la forêt de Bainem est sous la juridiction de la conservation des forêts d'Alger, elle est bordée au nord par la mer Méditerranée et au sud par la commune de Béni Messous, À l'est, ses frontières sont délimitées par la commune de Bouzaréah, et à l'ouest, elles s'étendent jusqu'à la commune d'Ain Bénian.

#### 4. Situation géographique

En termes de localisation, la forêt domaniale de Bainem s'étend sur 508 hectares au sein du massif de Bouzaréah, à 15 kilomètres d'Alger. L'altitude maximale de la forêt est de 320 m. La localisation géographique de la zone d'étude est définie par les coordonnées suivantes : 2°56'59'' à 2°59'08'' de longitude Est -36°47'52'' à 36°48'30'' de latitude nord



Figure 5 : Situation géographique de la forêt de Bainem (image satellitaire)

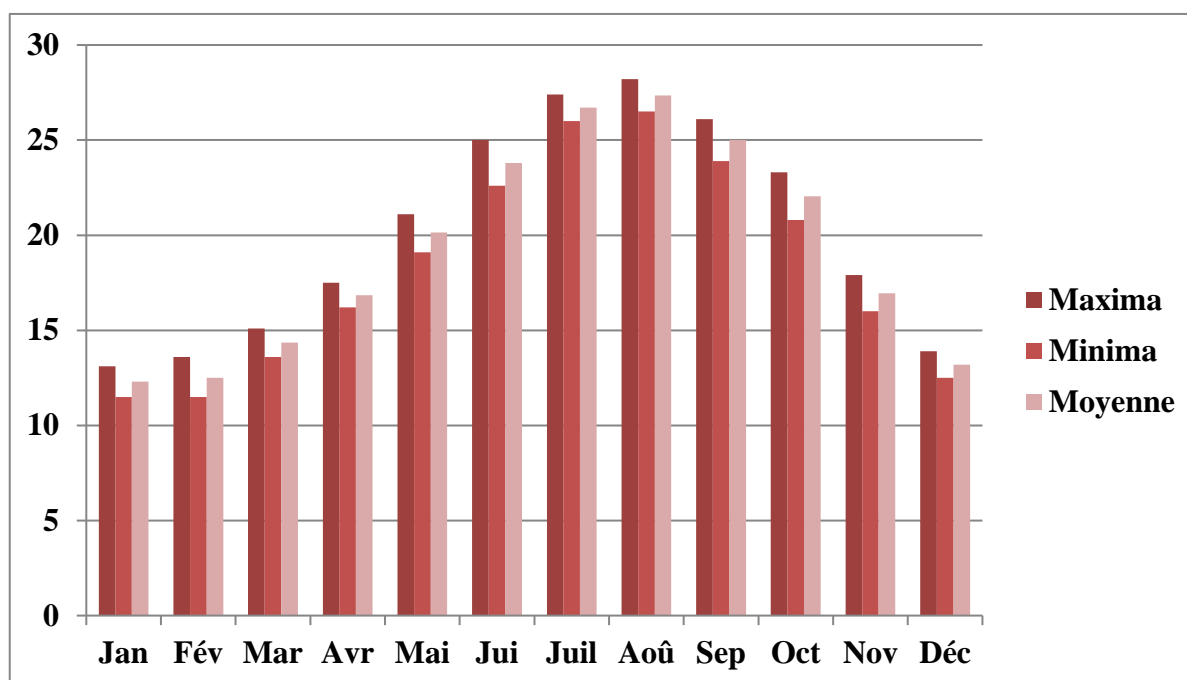
#### 5. Données climatiques

Les températures et les précipitations constituent les éléments essentiels permettant de différencier les divers types de climats, car ce sont ces facteurs qui influencent le plus la végétation (Boudy, 1952). La forêt de Bainem, située à proximité de la mer Méditerranée, subit l'influence modératrice et adoucissante du climat maritime. Par ailleurs, l'Office National de la Météorologie (ONM) exploite une station météorologique opérationnelle à Bouzaréah, qui fournit des données sur les précipitations et les températures couvrant la période de 2006 à 2015.

##### 5.1. Température

Tableau 1: Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la zone

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Maxim a (°C)</b>	13,1	13,6	15,1	17,5	21,1	25,0	27,4	28,2	26,1	23,3	17,9	13,9
<b>Minima (°C)</b>	11,5	11,5	13,6	16,2	19,1	22,6	26	26,5	23,9	20,8	16	12,5
<b>Moyen ne (°C)</b>	12,3 0	12,5 5	14,3 5	16,8 5	20,1 5	23,8 0	26,7 0	27,3 5	25,0 0	22,0 5	16,9 5	13,2 0



**Figure 6: Température moyenne, minimale et maximale de la forêt de Bainem pour la période (2006-2015)**

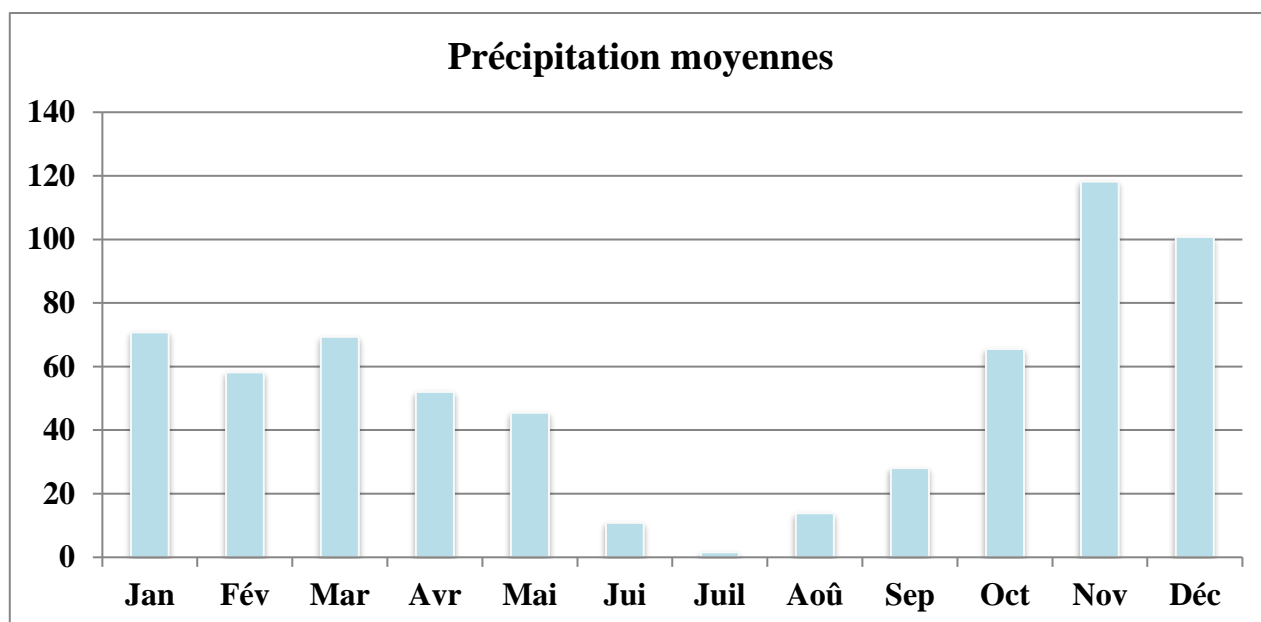
La température Maximale est enregistrée pendant le mois d'Août avec une moyenne de 28,2°C , Cependant la valeur minimale des températures est enregistrée en Février, atteignant 11,5 °C. Les températures moyennes se maintiennent autour de 12°C en Janvier et Février, puis augmentent jusqu'à environ 27°C pendant le mois d'Août

La température la plus basse dans la zone est de 12, 3°C, observée pendant le mois le plus froid, tandis que la température maximale du mois le plus chaud s'élève à 27,35°C

## 5.2. Précipitation

**Tableau 2: Précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude pour la période (2006-2015)**

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Précipitation (mm)</b>	70,8	58,14	69,3	52,0	45,5	10,8	1,6	13,9	28,1	65,5	118,2	100,8



**Figure 7: Pluviométrie de la Forêt de Bainem (2006-2015)**

Les valeurs des précipitations moyennes mensuelles de la région de Bainem pour la période 2006-2015 sont présentées dans la Figure (9).

- La pluviométrie annuelle moyenne est d'environ 661,6 mm.
- Une diminution des précipitations est observée en juin (10,8 mm) et en juillet (1,6 mm).
- En revanche, les mois de novembre figurent parmi les plus pluvieux, avec des précipitations de 118,2 mm et 100,8 mm.

### 5.3. Neige

Comme c'est le cas pour tout le littoral algérien de base altitude, la neige est rare au niveau de la forêt de Bainem (DGF, 2019)

### 5.4. Grêle

Surtout en période printanière, (mars avril), la grêle peut entraîner des dégâts considérables sur les jeunes pousses ainsi que sur les bourgeons floraux (DGF, 2019)

### 5.5. Gelées

Les gelées ont lieu durant les mois de janvier, février, mars et décembre, mais c'est au printemps qu'elles occasionnent le plus de dégât (DGF, 2019)

### 5.6. Vent

Les vents soufflent de l'ouest de janvier à octobre et du sud-ouest durant les mois de novembre et décembre (DGF, 2019)

## 6. Synthèse bioclimatique

Pour la région méditerranéenne, les synthèses climatiques les plus utilisées sont le diagramme ombrothermique de (Bagnouls.S., 1953) et le climagramme d'Emberger (1955).

### **6.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen**

Selon Bagnouls et Gaussen (1953), on qualifie de mois sec celui pour lequel la moyenne des précipitations (P), mesurée en millimètres, est inférieure à deux fois la température du mois en question ( $P < 2T$ ). Dans la région étudiée, le mois le plus froid est février avec une température de 12,3°C, tandis que le mois le plus chaud est août avec 27.35°C. En ce qui concerne les précipitations, novembre est le mois qui enregistre le plus de pluie avec 118,2 mm.

En élaborant le graphique ombrothermique de Bagnouls et Gaussen, nous sommes en mesure de définir la période sèche qui va de mai à la mi-septembre (Figure.). En revanche, la période humide s'étend du mois de janvier au mois de mai et d'octobre au mois de décembre.

### **6.2. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger**

Pour caractériser le climat méditerranéen, Emberger (1955) propose comme indice un quotient pluviométrique. L'indice d'Emberger permet la caractérisation des climats et leur classification dans un étage bioclimatique. Cet indice est calculé et obtenu par la formule qui suit :

$$Q2 = 3,43 \times [P / (Mm)]$$

Avec :

**P** : La pluviométrie annuelle (mm).

**M** : La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

**m** : La moyenne des températures minimales du mois le plus froid.



La température moyenne minimale du mois le plus froid ( $7^{\circ}\text{C}$ ), placée en abscisses et La valeur du Q2, représenté par l'axe des Y, et les valeurs des températures minima du mois le plus froid en abscisse permettent de positionner la région de Bainem sur le climagramme d'EMBERGER dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver chaud

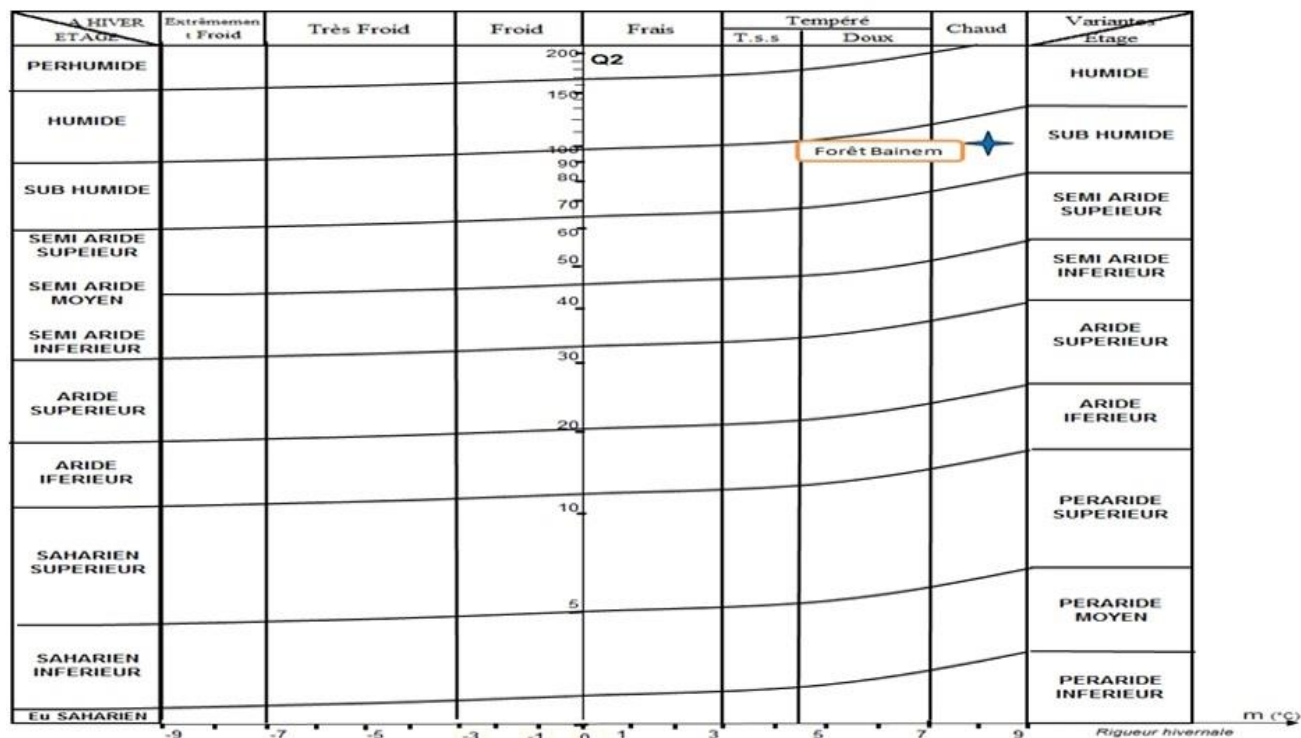


Figure 8: Climagramme d'Emberger de la forêt de Bainem.

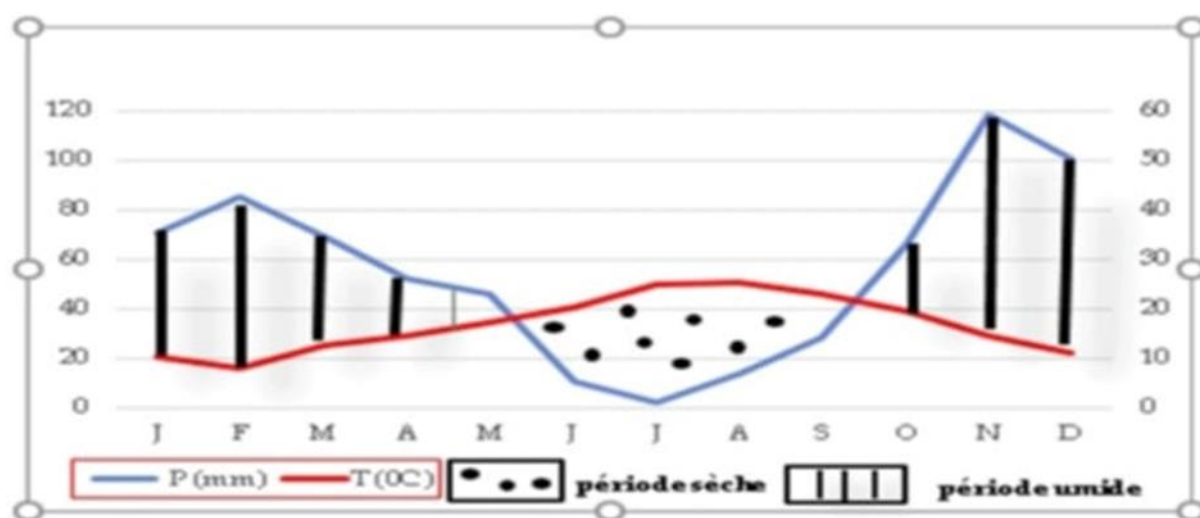


Figure: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la station de Bainem

### **7. Réseau hydrique**

Bakri (1980) et Oubouchou (1984), affirment l'absence de source d'eau sur toute la surface de la forêt. Cependant, avant l'introduction des eucalyptus, des sources auraient pu exister et auraient été asséchées par la présence de ces arbres. Certains oueds voient le jour dans le massif de Bainem, comme par exemple : les oueds Djerdah, Melah, et Dartguiss.

### **8. Topographie**

Selon Ait Benamar et Ahriz,(1993), le terrain présente une grande diversité et est plutôt marqué par ses irrégularités. Là où le sommet présente un relief plus ou moins lisse à une altitude de 280m, le point le plus bas atteint 60 m (le point le plus bas de la forêt).

Globalement, les pentes présentent un relief convexo-concave avec une inclinaison abrupte (> 35%). Le flanc ouest présente un relief moins accidenté avec des inclinaisons irrégulières (15-25%). L'altitude fluctue entre 100 et 290 mètres. Le flanc nord des pentes raides (20-35%) qui diminuent progressivement de l'amont vers l'aval. Le versant nord-ouest présente une concavité à l'amont et des pentes irrégulières (10-25%). Le versant sud et sud-est présente une pente douce et plus ou moins linéaire.

### **9. Végétation**

La végétation originelle de la région de Bainem était constituée d'une pinède à *Pinus halepensis* sur 261 ha et d'une subéraie à *Quercus suber* sur 153 ha (Queney,1938). La végétation de la forêt de Bainem est formée de trois strates : arborescente, arbustive, herbacée.

#### **9.1. Strate arborescente**

Cette strate est composée essentiellement de différentes espèces d'eucalyptus qui sont des plantations artificielles occupant la plus grande superficie dans cette strate, parmi ces eucalyptus on trouve de nombreuses essences, telles que : *Eucalyptus camaldulensis*, *E gomphocephala*, *E cladocalyx* et *E leucoxylon*.

Concernant le genre *Pinus*, il existe le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) qui constitue une forêt naturelle, avec la présence du pin maritime (*P. pinaster*) et le pin de Canaries (*P. canariensis*). La présence de quelques pieds de chêne liège (*Quercus suber*), essence relique de la zone d'étude, marque l'existence antérieure de la subéraie.

#### **9.2. Strate arbustive**

Le sous-bois est plus au moins dense en fonction de la topographie, il est constitué principalement par :

- Des jeunes plants de pin d'Alep qui est aux stades fourré et gaulis.
- *Ampelodesmos mauritanicus* (Ampélodèsme).

- *Lavandulastoechas* L ( Lavande papillon).
- *Rubus ulmifolius* ( Ronce).
- *Erica arborea* ( Bruyère arborescente).
- *Pistacia lentiscus* ( Lentisque).
- *Olea europea* (Olivier).
- *Phillyrea angustifolia* ( Filaire).
- *Calycotome spinosa* ( Calycotome).
- *Myrtus communis* ( Myrte).
- *Cistus monspeliensis* (Ciste de Montpellier).
- *Quercus coccifera* (Chêne kermès).
- *Arbutus unedo* (Arbousier).

### 9.3. Strate herbacée

Cette strate est réduite à cause de l'importance du sous-bois qui couvre le sol. Les espèces rencontrées occupent donc les clairières, appartiennent à différentes familles, parmi lesquelles nous pouvons citer :

- *Dactylis glomerata*,
- *Bromus rubens*,
- *Plantago lanceolata*,
- *Lavatera maritima*,
- *Oxalis cernua*,
- *Galactite tomentosa*
- *Daucus carota*,
- *Gladiolus segetum*,
- *Avena sterilis*,
- *Erodium cicutarium*

## 10. Faune

Selon la Direction Générale des Forêts, la forêt de Bâinem abrite une faune variée, incluant des mammifères comme le sanglier et le chacal, qui causent parfois des dommages aux cultures avoisinantes. Sur le plan ornithologique, elle compte une riche diversité répartie en douze familles d'oiseaux, avec des espèces telles que le rouge-gorge, le merle noir, le pinson des arbres, la mésange bleue, ou encore le martinet noir. Toutefois, cette richesse faunistique est en déclin, principalement à cause de la chasse illégale pratiquée par les habitants locaux.

A decorative border resembling a scroll, with a light gray background and a black outline. The left side features a vertical scroll edge, and the top right corner has a small circular detail.

## **PARTIE III : Matériel et méthodes**

**Introduction**

Ce travail porte sur l'étude de l'évolution du stock de carbone organique du sol sous deux espèces forestières : le pin d'Alep et l'eucalyptus. Les prélèvements ont été effectués cinq ans après les premiers en 2019. Cette étude fait partie d'un projet de recherche initié par l'Institut National de Recherche Forestière (INRF) et intitulé « Suivi et évaluation de l'impact de la reforestation sur la séquestration du carbone et la réduction des émissions de gaz à effet de serre ».

**2. Localisation du site d'étude**

Deux placettes d'échantillonnage d'une superficie de 0,5 hectare ont été sélectionnées (figures 12 et 13), chacune comportant cinq points de prélèvement à trois profondeurs distinctes (0-10, 10-20 et 20-30 cm). Les prélèvements ont été effectués les 24 et 26 février 2025.



**Figure 9: Placette de pin d'Alep au niveau de la forêt de Bainem (2025).**



**Figure 10: Placette d'eucalyptus au niveau de la forêt de Bainem (2025).**

Tableau 3: Localisation de placettes d'étude

	Parcelle d'Eucalyptus	Parcelle de Pin d'Alep
Dates de prélèvement	24/02/2025	26/02/2025
Altitude	259m	288 m
Localisation	N 36,79781° E 002,96688°	N 36,76798° E 002,96996°
Etat du sol	Humide	Humide

### 2.1. Echantillonnage de sol

Le prélèvement des échantillons de sol est effectué sur de trois niveaux de profondeur : de 0 à 10 cm ; de 10 à 20 cm et de 20 à 30 cm.



Figure14: échantillons de sol prélevés



Figure15: Points de prélèvement des échantillons de sol (2025, Original).

Les échantillons ont été conditionnés dans des sacs en plastique, étiquetés pour faciliter leur identification et acheminés au laboratoire pour une caractérisation physique et chimique.

### 2.2. Matériels utilisés

- GPS
- Mètre
- Cylindre métallique
- Marteau
- Raclette
- Sacs en plastique



- Étiquettes.
- Tarière.



Figure16: GPS (2025, Original).



Figure17: Un cylindre métallique pour détermination de la densité apparente (2025, Original).



Figure 11: Tarière (2025, Original).

### 3. Analyse au laboratoire

#### 3.1. Séchage des échantillons

Les échantillons sont acheminés au laboratoire du département Biotechnologie et Agro-Ecologie l'université Saad Dehleb Blida-1 où ils sont exposés à l'air libre pour être séchés, L'opération s'étend sur une période d'environ 7 jours.

#### 3.2. Broyage et tamisage des échantillons

Une fois le séchage achevé, les échantillons sont broyés et tamisés à travers des grilles de 2mm et 0,2mm (figure). Par la suite, ils seront stockés dans un lieu sec.



Figure 12: Broyage et tamisage des échantillons (Original, 2025).

### 3.3. Les analyses physiques et chimiques

#### 3.3.1. Les analyses physiques

##### a) Les analyses granulométriques

L'analyse granulométrique a été effectuée selon le protocole standardisé des fractionnements granulométriques suivant la méthode internationale de la pipette de Robinson (AFNOR X31-107, 2003).



Figure 13: Les étapes d'analyse granulométrique (Original 2025)



### c) L'humidité : (Méthode gravimétrique)

La technique gravimétrique, ou méthode de séchage en étuve à 105°C pendant 24 heures, implique la collecte d'un échantillon du sol à analyser, la pesée de sa masse initiale (humide) de 10 g, puis la mesure de sa masse (sèche) après le passage dans une étuve à 105°C. On peut alors déterminer le taux de l'humidité dans l'échantillon, en utilisant cette formule :

$$H\% = [\text{poids (humide)} - \text{poids (sec)}] / \text{poids (sec)} * 100.$$



Figure 14: Sols dans l'étuve (Original 2025).

### D. La densité apparente

La densité apparente est estimée en utilisant la méthode du cylindre.

Calcul de la densité apparente

La densité apparente a été calculée selon la formule suivante :

$$D_a = P/V$$

**P** : est le poids sec d'échantillon.

**V** : le volume de l'échantillon prélevé et séché.

### 3.3.2. Les analyses chimiques

#### a. pH

Le pH permet d'évaluer l'acidité de la solution du sol à l'aide d'un pH-mètre.

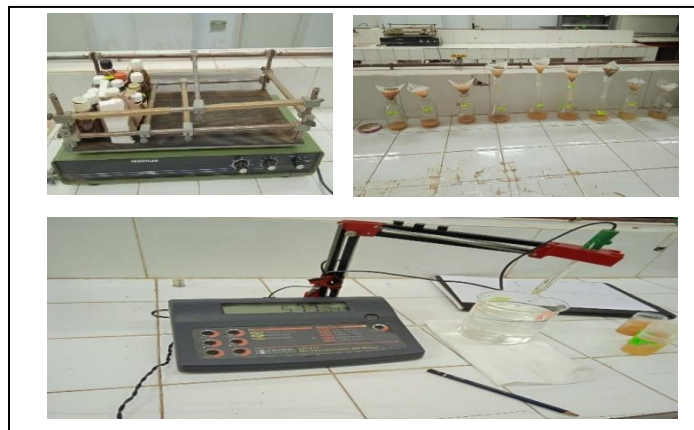
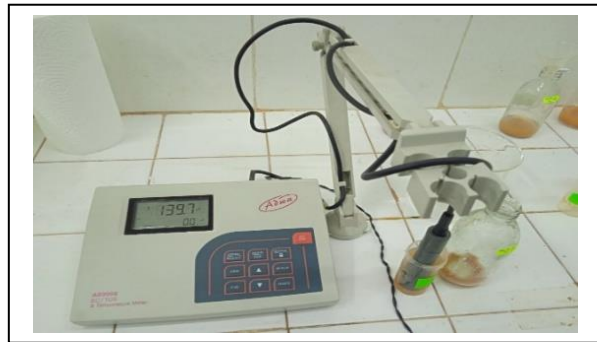


Figure 15: Analyse de pH par le pH mètre (Original, 2025)

**b. La conductivité électrique**

La conductivité électrique (CE) est mesurée avec un conductimètre



**Figure 16: Analyse de conductivité électrique par le conductimètre (Original 2025)**

**c. Calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ )**

La mesure du calcaire total s'effectue par la technique du dégazage, en utilisant un Calcimètre de Bernard.



**Figure 17: Dosage du calcaire total (Original 2025).**

**d. Dosage de l'azote total (Méthode KJELDAHL)**

Azote est dosé par la méthode KJELDAHL, méthode classique dosant l'azote après minéralisation de l'azote organique (à chaud par l'acide sulfurique) et distillation en milieu basique. L'azote total correspond sensiblement à l'azote organique du sol (Prevost, 1990). selon Soltner (1988), une teneur de 0.2% d'azote dans le sol est suffisante

### e. Carbone organique de sol

La méthode de mesure du carbone organique repose sur l'oxydation de ce dernier par le bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) en milieu acide avec l'acide sulfurique, **selon la méthode d'Anne (1945).**



Figure 18: Les étapes d'analyse de la matière organique (Original 2025).

### 3.4 Stock du carbone organique

L'évaluation du stock de carbone organique des sols selon la superficie, repose sur l'estimation de trois paramètres, afin de déterminer la quantité de l'élément q dans l'horizon i (Peng et al., 2000 ; Cerri et al., 2007a ; Evans et al., 2001 ; Belkacem et al., 1998) :

$$q(i) = 0,1 \times E_i \times da(i) \times C_i$$

Où :

**q(i)** : contenu en C organique dans l'horizon i de sol (t.ha-1) ;

**E<sub>i</sub>** : épaisseur de l'horizon i (cm) ;

**da(i)** : densité apparente de la fraction fine, < 2 mm, dans l'horizon i (g.cm-3) ;

**C<sub>i</sub>** : concentration de C organique dans la terre fine pour l'horizon i (g.kg-1).

La quantité totale de carbone organique Q dans le sol jusqu'à 30 cm est la somme des quantités dans chaque horizon :

$$Q = \sum q(i).$$



## **Partie 04**

### **Résultats et Discussions**

### 1. Analyses physico-chimiques du sol

L'utilisation des résultats issus de l'étude pédologique nous a donné la possibilité de décrire les paramètres physico-chimiques du sol dans les deux sites d'étude. Le tableau ci-après illustre les résultats obtenus.

#### Granulométrie :

**Tableau 4: Résultats de l'analyse granulométrique des stations Pin d'Alep et Eucalyptus.**

Désignation	A(%)	LT(%)	ST(%)	Texture
<b>PAp:0-10 cm</b>	24,39	28,94	46,67	Loam argileux
<b>PAp:10-20 cm</b>	37,77	20,95	41,28	Argile limoneuse
<b>PAp:20-30 cm</b>	43,54	17,56	38,9	Argile
<b>Ecp:0-10 cm</b>	16,46	35,87	47,67	Loam limoneux
<b>Ecp:10-20 cm</b>	20,61	33,39	46	Loam limoneux
<b>Ecp:20-30 cm</b>	21,06	42,96	35,98	Limono-argileux

L'analyse granulométrique réalisée sur les échantillons des deux placettes (Pin d'Alep et Eucalyptus) montre une variabilité texturale selon la profondeur et le type de végétation.

Dans le sol sous Pin d'Alep, la texture évolue de loam argileux en surface (0–10 cm) vers une argile limoneuse puis une argile plus compacte en profondeur (jusqu'à 43,54 % d'argile à 20–30 cm). Cette forte teneur en argile dans les couches profondes peut ralentir l'infiltration de l'eau, mais elle favorise la rétention de la matière organique et du carbone grâce à la stabilité structurale offerte par les micropores (Six et al, 2012).

Pour le sol sous Eucalyptus, la texture est globalement plus légère en surface, avec des textures de type loam limoneux dans les deux premiers horizons (jusqu'à 35,87 % de limon et 47,67 % de sable). En profondeur, la texture devient limono-argileuse, ce qui offre un bon équilibre entre rétention d'eau, aération et capacité à stocker le carbone.

Globalement, la présence importante de l'argile dans les deux types de sols, surtout sous le pin, suggère une capacité plus élevée à conserver le carbone organique dans le sol, ce qui rejoint les résultats observés dans la littérature sur la stabilité du carbone dans les sols argileux (FAO, 2017).

## 2. Résultats des analyses physico-chimiques de sol des stations Pin d'Alep et Eucalyptus :

### Humidité (%) :

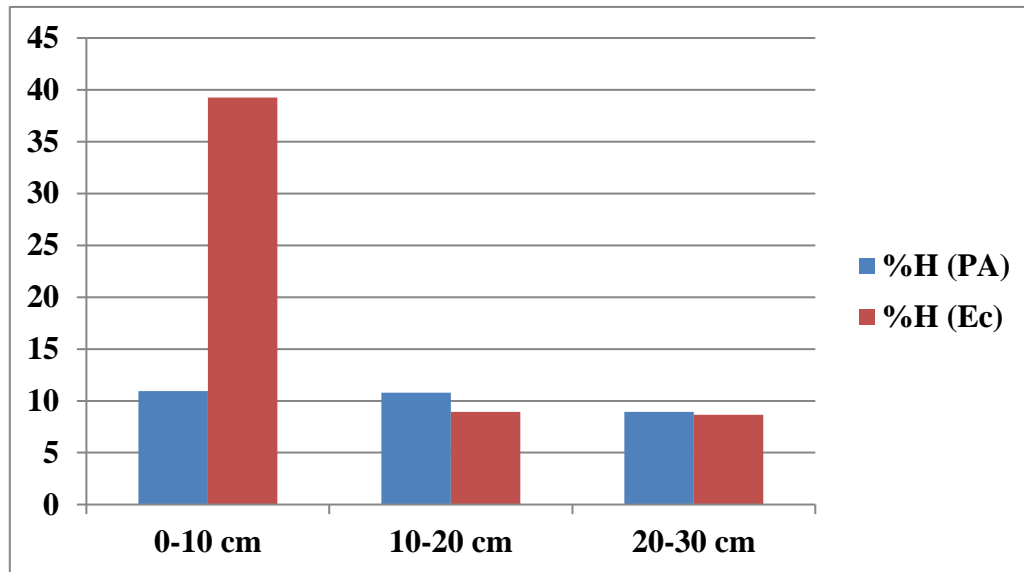


Figure 19: Variations de l'Humidité des parcelles étudiées.

### Interprétation des résultats :

On remarque que la placette Ecp (Eucalyptus) présente un taux d'humidité très élevé en surface (39,26 %) par rapport à la placette PAp (Pin d'Alep) qui atteint seulement 10,93 %. Cela peut être dû à une meilleure rétention d'eau sous Eucalyptus à cause de l'abondance de la litière et des conditions microclimatiques. Dans les deux couches de subsurface, les deux placettes affichent des valeurs presque similaires.

### pH eau :

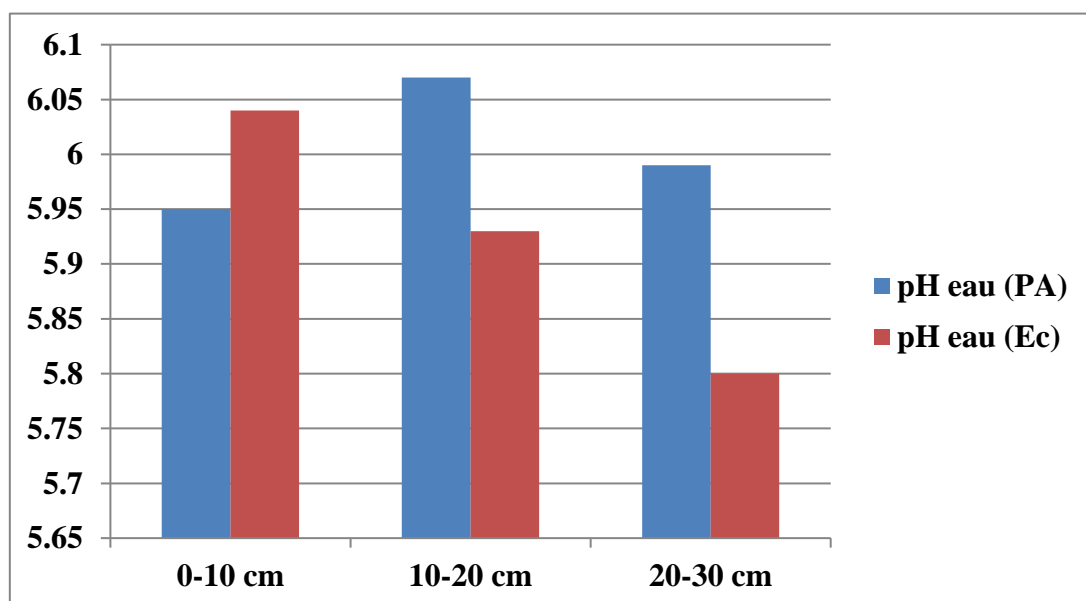


Figure 20: Variations de pH eau des parcelles étudiées.

**Interprétation des résultats :**

Les deux sols sont légèrement acides avec un pH compris entre 5,8 et 6,07. La variation entre les placettes est minime, ce qui montre que le type de végétation n'influence pas fortement l'acidité du sol dans ce cas.

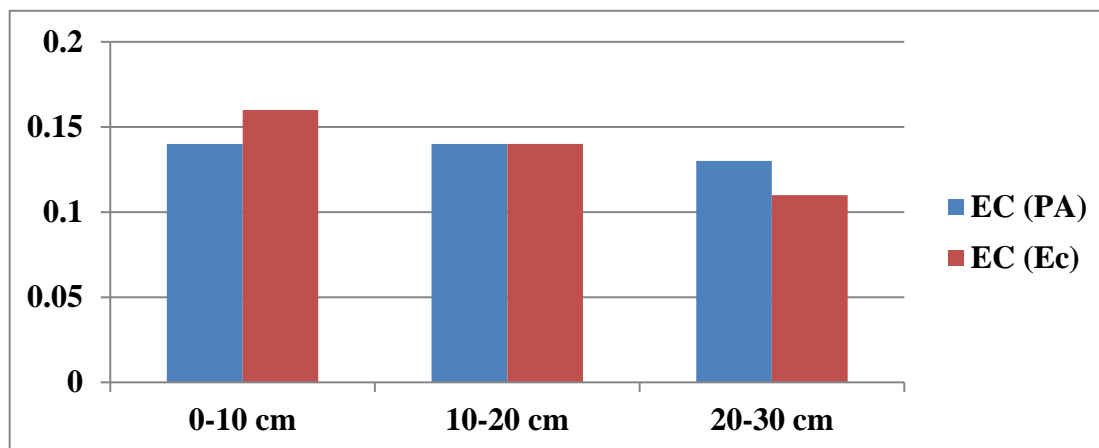
**EC (ds/m) :**

Figure 21: Variations de la EC (ds/m) des parcelles étudiées.

**Interprétation des résultats :**

Les valeurs de la conductivité électrique restent faibles pour les deux types de sol, avec des mesures inférieures à 0,2 dS/m, ce qui traduit une faible salinité du milieu. Le sol sous Eucalyptus présente une légère augmentation en surface (0,16 dS/m), pouvant être liée à une accumulation modérée de sels solubles, probablement favorisée par une évaporation plus intense ou une moindre lixiviation. Selon Richards (1954), un sol est considéré comme non salin lorsque la conductivité est inférieure à 2 dS/m. Ainsi, les deux sols étudiés restent bien en dessous de ce seuil critique.

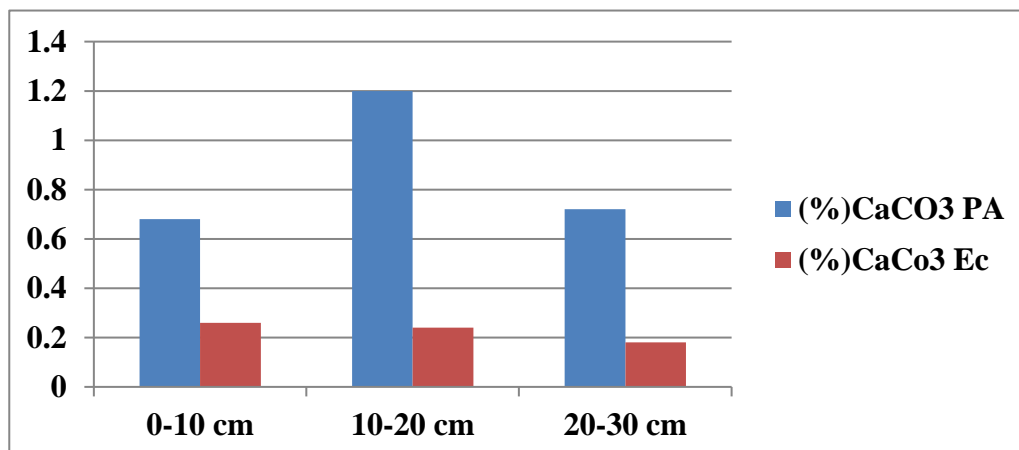
**Calcaire total (%) :**

Figure 22 : Variations de Calcaire total (%) des parcelles étudiées.

**Interprétation des résultats :**

Le sol sous Pin d'Alep est plus calcaire, surtout dans la couche 10–20 cm (1,2 %), tandis que le sol sous Eucalyptus présente des teneurs très faibles en calcaire (moins de 0,3 %). Cela peut être lié à la nature du substrat ou à la dynamique de lessivage.

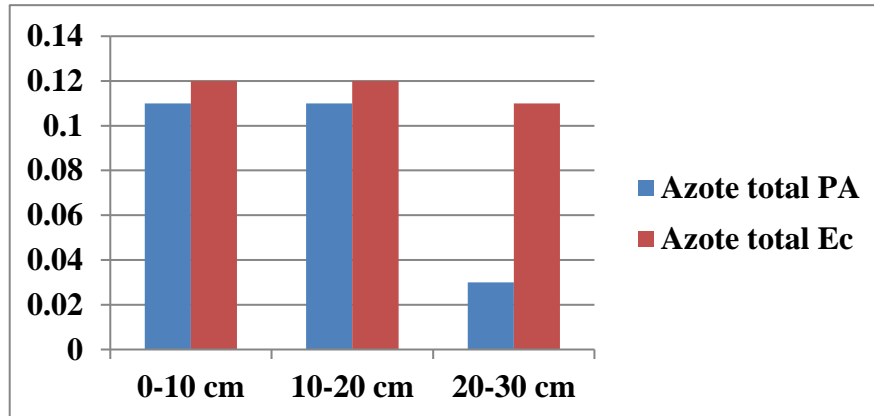


Figure 23: Variations de l'Azote total des parcelles étudiées.

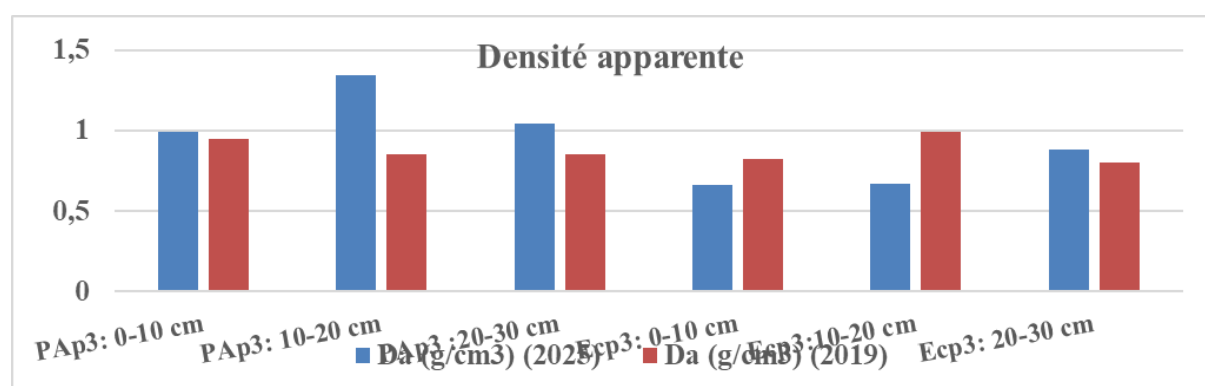
**Interprétation des résultats :**

Les taux d'azote total sont globalement faibles dans les deux types de sol, mais leur distribution varie selon l'essence forestière. Sous le Pin d'Alep, on note une diminution nette en profondeur, particulièrement dans la couche 20–30 cm (0,03 %), ce qui peut être attribué à une moindre activité microbienne et à une accumulation de la matière organique en surface (Serrasolses et al., 2008 ; Boudot, 1992). En revanche, sous Eucalyptus, les taux sont plus stables et légèrement plus élevés (jusqu'à 0,12 %), ce qui pourrait résulter d'une litière plus azotée, d'un enracinement plus profond et d'une activité biologique favorisant la minéralisation de l'azote à différentes profondeurs (Bernhard-Reversat, 1999 ; Augusto et al., 2002).



**Densité apparente :****Tableau 5: Résultat de la densité apparente (g/cm<sup>3</sup>) des stations Pin d'Alep et Eucalyptus.**

Désignation	Humide	Sèche	Da (g/cm <sup>3</sup> ) (2025)	Da (g/cm <sup>3</sup> ) (2019)
PAP3: 0-10 cm	152,89	98,2	0,99	0,95
PAP3: 10-20 cm	146,36	132,43	1,34	0,85
PAP3 :20-30 cm	114,18	102,71	1,04	0,85
Ecp3: 0-10 cm	75,21	65,65	0,66	0,82
Ecp3:10-20 cm	73,61	66,65	0,67	0,99
Ecp3: 20-30 cm	93	87,35	0,88	0,8

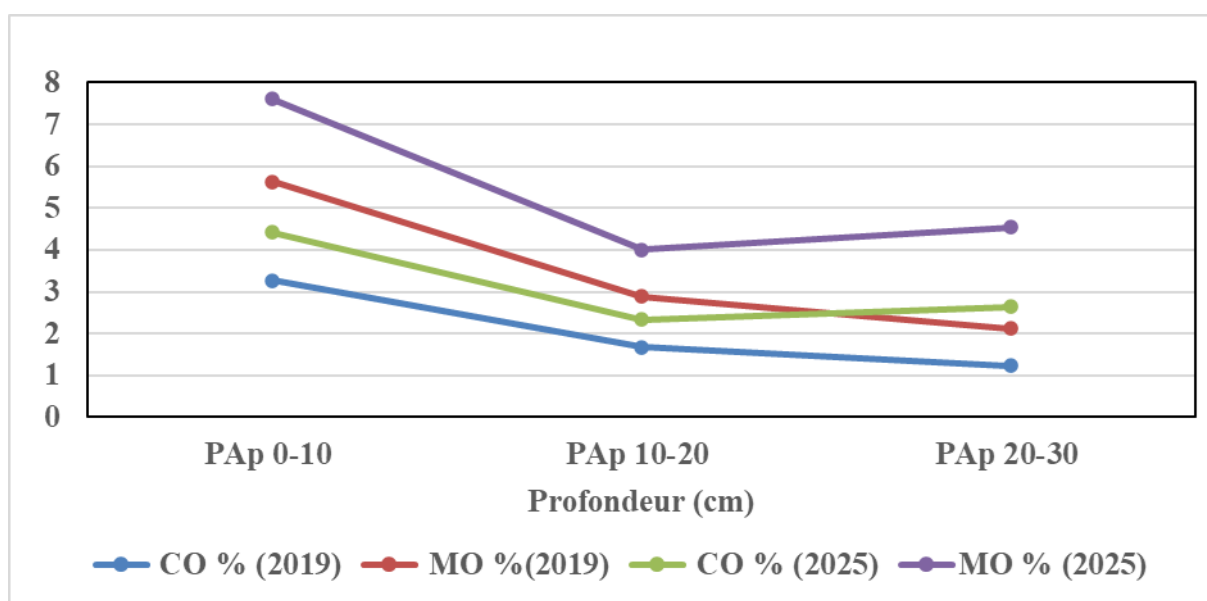
**Figure 31: Variations de la Densité apparente des parcelles étudiées****Interprétation des résultats :**

La densité apparente du sol montre une variation significative entre 2019 et 2025, en fonction de la profondeur et du type de station (Pin d'Alep et Eucalyptus). Sous Pin d'Alep, on observe une augmentation marquée, notamment à la profondeur 10–20 cm où la densité passe de 0,85 à 1,34 g/cm<sup>3</sup>, ainsi qu'à 20–30 cm (de 0,85 à 1,04 g/cm<sup>3</sup>) et, dans une moindre mesure, à 0–10 cm (de 0,95 à 0,99 g/cm<sup>3</sup>). Ces hausses traduisent une compaction progressive du sol au fil du temps. En revanche, sous Eucalyptus, les valeurs restent plus faibles et montrent une diminution dans les deux premiers horizons : 0–10 cm (de 0,82 à 0,66 g/cm<sup>3</sup>) et 10–20 cm (de 0,99 à 0,67 g/cm<sup>3</sup>), tandis qu'une légère hausse est observée à 20–30 cm (de 0,80 à 0,88 g/cm<sup>3</sup>). La densité apparente varie également avec la profondeur, mais l'évolution entre les deux dates reste plus marquée sous le Pin d'Alep.

Cette augmentation peut être liée à une baisse de la teneur en matière organique (MO), qui joue un rôle essentiel dans l'allègement de la structure du sol. En effet, plus le sol est riche en MO, plus sa densité apparente est faible. Par ailleurs, la teneur en argile influe également sur la da : un sol plus argileux tend à avoir une densité plus élevée en raison de la forte cohésion entre les particules. Ainsi, l'évolution de la densité apparente est directement influencée par les variations en MO et en argile, ce qui reflète une modification des propriétés physiques du sol liée à l'usage forestier et au temps

**Tableau 6: Variation des teneurs en matière organique et en carbone organique du sol sous pin d'Alep**

Désignation	CO % (2019)	MO %(2019)	CO % (2025)	MO % (2025)
PAP 0-10	3,276	5,632	4,42	7,61
PAP 10-20	1,678	2,882	2,33	4,01
PAP 20-30	1,23	2,114	2,64	4,54



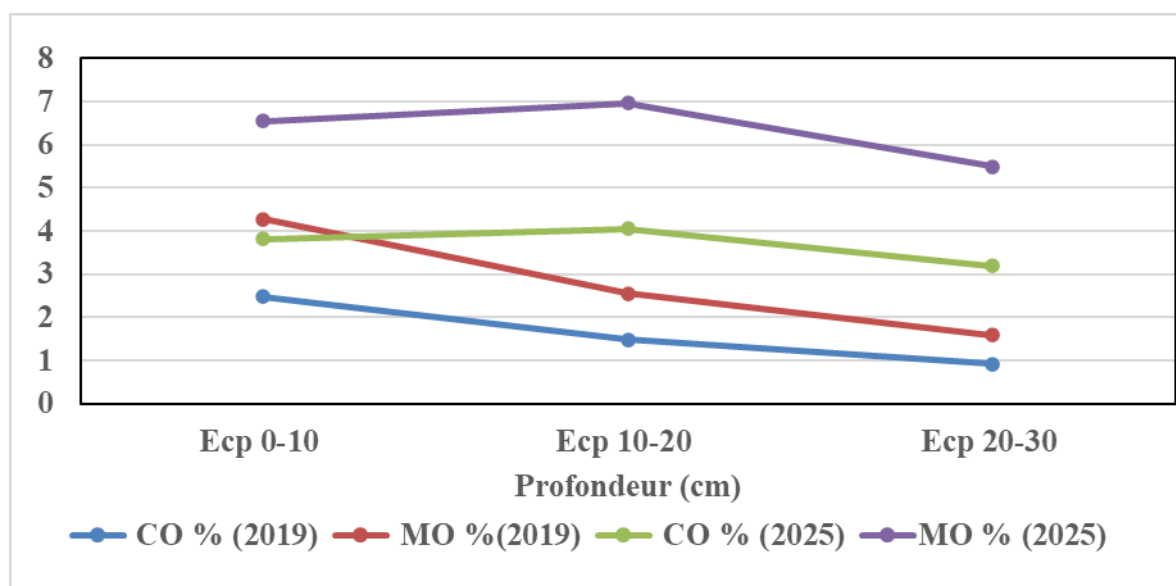
Désignation	CO % (2019)	MO %(2019)	CO % (2025)	MO % (2025)
Ecp 0-10	2,482	4,272	3,81	6,55
Ecp 10-20	1,484	2,552	4,05	6,97
Ecp 20-30	0,925	1,5875	3,19	5,49

**Interprétation des résultats :**

La Figure ci-dessus présente la variation des pourcentages de matière organique (MO) et de carbone organique (CO) dans le sol entre 2019 et 2025, pour deux types de stations (Pin d'Alep et Eucalyptus) et à différentes profondeurs.

- Hausse générale : On observe une augmentation nette de la matière organique et du carbone organique en 2025 par rapport à 2019, pour toutes les profondeurs et dans les deux stations.
- Pin d'Alep (PAP) : Les valeurs les plus élevées de matière organique et de carbone organique sont enregistrées à la surface (0-10 cm) en 2025 (MO : 7,61 %, CO : 4,42 %). Les valeurs diminuent avec la profondeur, mais restent supérieures à celles de 2019 (voir Figure32)
- Eucalyptus (Ecp) : Même tendance d'augmentation, avec des valeurs élevées en surface (MO : 6,55 % en 2025). À toutes les profondeurs, les taux de 2025 dépassent largement ceux de 2019 (voir Figure33).
- Comparaison entre placettes : Les sols sous Pin d'Alep et Eucalyptus présentent tous deux une amélioration, mais les valeurs sous Pin d'Alep (surtout en surface) sont légèrement supérieures.
- Variation avec la profondeur : Dans les deux placettes, la matière organique et le carbone organique diminuent avec la profondeur, ce qui est un comportement classique des sols.

La figure montre une amélioration marquée de la richesse du sol en matière organique et en carbone organique entre 2019 et 2025, particulièrement en surface et sous Pin d'Alep. Cette évolution traduit une meilleure qualité organique du sol au fil du temps



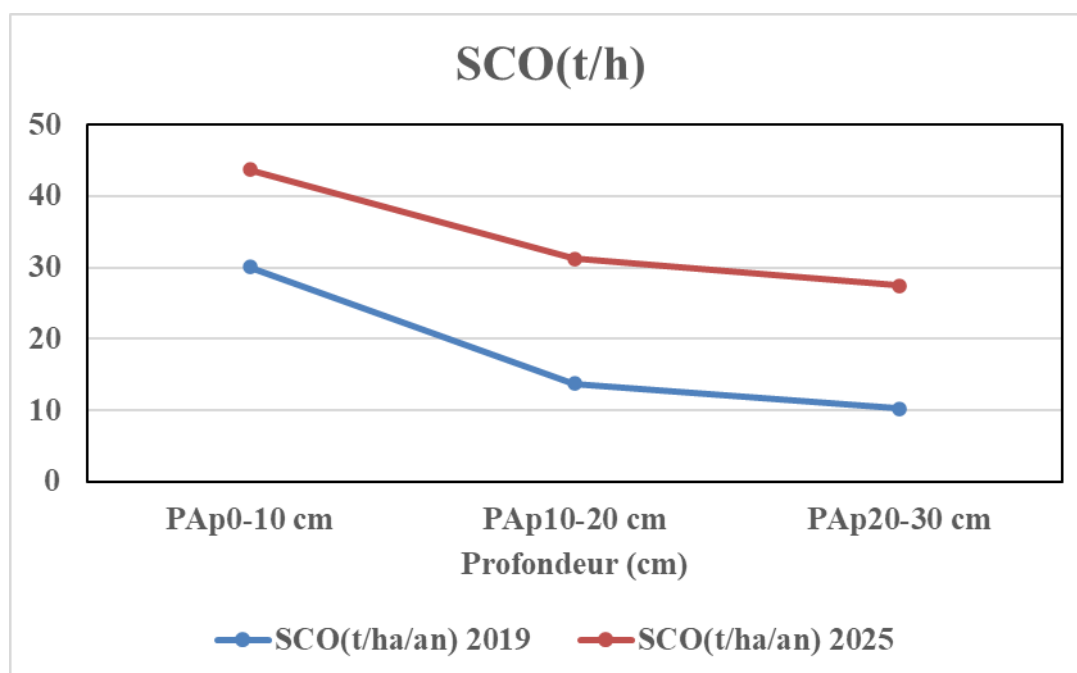
**Figure 33: Variation des teneurs en matière organique et en carbone organique du sol sous eucalyptus**

## 2. Stock de carbone organique de sol

### 2.1. Stock de carbone organique du sol sous pin d'Alep

**Tableau 9: Variation de stock de carbone organique de placette pin d'Alep**

Désignation	SCO(t/h) 2019	SCO(t/h) 2025	Taux d'évolution SCO (t/ha/an)
PA/p0-10 cm	30,09	43,75	0,45
PA/p10-20 cm	13,75	31,22	1,27
PA/p20-30 cm	10,2	27,45	1,69



**Figure 34: Evolution de stock de carbone organique du sol sous pin d'Alep**

#### Interprétation des résultats :

La figure illustre l'évolution du stock de carbone organique du sol (SCO) sous pin d'Alep entre 2019 et 2025, à trois profondeurs différentes : 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm.

- **Augmentation générale :** On constate une nette augmentation du stock de carbone organique en 2025 par rapport à 2019, à toutes les profondeurs étudiées.
- **Profondeur 0-10 cm :** Le stock passe de 30,09 t/ha en 2019 à 43,75 t/ha en 2025, soit une hausse importante.
- **Profondeur 20-30 cm :** On observe aussi une forte progression, de 10,2 t/ha à 27,45 t/ha.
- **Profondeur 10-20 cm :** Le stock double quasiment, passant de 13,75 t/ha à 31,22 t/ha.

La figure montre une amélioration significative du stockage de carbone organique dans le sol sous Pin d'Alep entre 2019 et 2025, quelle que soit la profondeur. Cette évolution reflète probablement une meilleure accumulation de matière organique dans le sol, contribuant ainsi à une capacité accrue de séquestration du carbone au fil du temps.

Cette tendance est confirmée par les taux d'évolution du stock de carbone organique (SCO), qui atteignent 0,45 t/ha/an dans l'horizon 0–10 cm, 1,27 t/ha/an entre 10–20 cm, et 1,67 t/ha/an dans la couche 20–30 cm. Ces valeurs indiquent une dynamique positive, avec un stockage plus important en profondeur. Cela peut être attribué à une meilleure stabilité de la

matière organique dans les horizons inférieurs, à une migration verticale progressive, ainsi qu'à l'influence du système racinaire du pin d'Alep qui favorise l'intégration du carbone en profondeur.

Ces résultats confirment le rôle du pin d'Alep dans l'amélioration du stock de carbone des sols forestiers, particulièrement dans les régions méditerranéennes, tel que soutenu par les travaux de M'Hirit (1999) et de Lagacherie et al. (2009).

## 2.2. Stock de carbone organique du sol sous eucalyptus

Tableau 7: Variation de stock de carbone organique de placette Euclyptus

Désignation	SCO(t/h) 2019	SCO(t/h) 2025	Taux d'évolution SCO (t/ha/an)
Ec/p0-10 cm	21,19	25,14	0,19
Ec/p10-20 cm	14,71	27,13	0,84
Ec/p20-30 cm	7,38	28,07	2,80

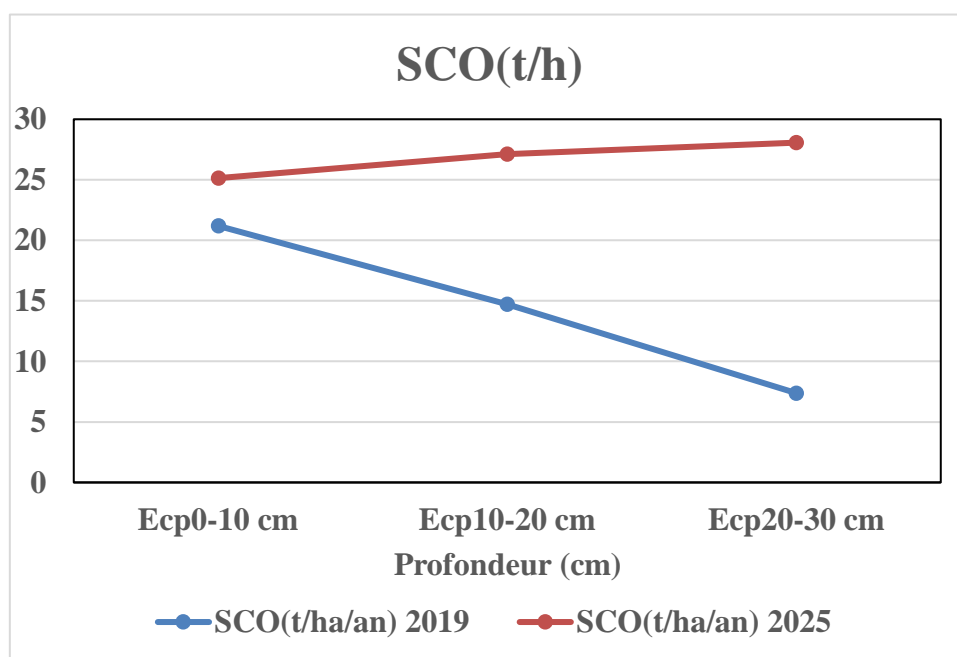


Figure 24: Evolution de stock de carbone organique du sol sous eucalyptus

### Interprétation des résultats :

La figure illustre l'évolution du stock de carbone organique du sol (SCO) sous eucalyptus entre 2019 et 2025, à trois profondeurs différentes : 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm.

- **Augmentation générale :** On constate une nette augmentation du stock de carbone organique en 2025 par rapport à 2019, à toutes les profondeurs étudiées.
- **Profondeur 0-10 cm :** Le stock passe de 21,19 t/ha en 2019 à 25,14 t/ha en 2025, soit une hausse de près de 4 t/ha.
- **Profondeur 10-20 cm :** Le stock augmente fortement, passant de 14,71 t/ha en 2019 à 27,13 t/ha en 2025, soit presque le double.
- **Profondeur 20-30 cm :** On observe également une progression très marquée, de 7,38 t/ha en 2019 à 28,07 t/ha en 2025, soit près de quatre fois plus.

La figure met en évidence une amélioration significative du stockage du carbone organique dans le sol sous eucalyptus entre 2019 et 2025, toutes profondeurs confondues. Cette dynamique est quantifiée à travers les taux d'évolution du stock de carbone organique, estimés à 0,19, 0,84 et 2,80 t/ha/an. Ces valeurs indiquent un enrichissement progressif du sol en carbone, traduisant une capacité croissante de séquestration au fil du temps.

Le taux le plus faible (0,19 t/ha/an) pourrait être associé à la couche superficielle, généralement plus exposée aux pertes par minéralisation ou érosion. En revanche, le taux le plus élevé (2,80 t/ha/an) reflète un gain substantiel en profondeur, suggérant un enfouissement efficace de la matière organique, potentiellement favorisé par la structure racinaire profonde de l'eucalyptus et la stabilité des conditions physico-chimiques.

Cette tendance traduit un fonctionnement efficace du système forestier à base d'eucalyptus en tant que puits de carbone, contribuant à la fois à l'atténuation du changement climatique et à l'amélioration de la qualité du sol. Ces résultats sont en accord avec les observations rapportées par Chiti et al. (2012) et FAO (2017), qui soulignent le rôle des forêts dans l'accumulation du carbone organique à long terme.

### 3. Evolution de stock du carbone dans le sol

Afin d'évaluer la variation du SCOS dans le temps, nous allons comparer les valeurs estimées dans cette étude à celles obtenues en 2019 dans les mêmes placettes, dans le cadre du projet de recherche PISE « Évaluation de l'impact de la reforestation sur la séquestration du carbone et la réduction des émissions de gaz à effet de serre et estimation du coût – cas de la forêt de Bainem, littoral algérois », initié par l'INRF en 2019.

#### 3.1. Evolution de stock du carbone dans le sol sous pin d'Alep

**Profondeur 0–10 cm :** Entre 2019 et 2025, le stock de carbone organique est passé de 30,09 t/ha à 43,75 t/ha, soit une augmentation notable dans l'horizon de surface. Cette évolution s'explique par l'accumulation progressive de la litière de pin, riche en matière sèche et à

décomposition lente. Comme mentionné dans la littérature, une grande partie du carbone fixé par les arbres retourne au sol via les feuilles mortes et le bois en décomposition. Dans cette couche, l'humidité modérée (10,93 %) et le pH légèrement acide (5,95) favorisent une activité microbienne suffisante pour transformer une partie de la matière organique sans minéralisation excessive, ce qui permet une stabilisation du carbone. La faible teneur en calcaire total (0,68 %) limite la formation de complexes organo-calcaires, ce qui rend le carbone plus disponible pour l'accumulation. Ainsi, on observe une dynamique conforme à celle décrite dans la littérature sur les forêts méditerranéennes.

**Profondeur 10–20 cm :** Dans cette couche, le stock de carbone a plus que doublé, passant de 13,75 t/ha à 31,22 t/ha. Cette forte progression pourrait être liée à une pénétration progressive des composés organiques vers les couches inférieures. Le pH stable (6,07) et une humidité toujours suffisante (10,8 %) maintiennent un micro-environnement favorable à la transformation lente des résidus végétaux. De plus, la réduction de l'azote (0,03 %) suggère une moindre décomposition active, ce qui peut favoriser la conservation du carbone sous forme stabilisée. Ce type de stockage est cohérent avec les résultats de la bibliographie, qui souligne l'importance du sol dans la rétention du carbone à long terme (jusqu'à 85 %).

**Profondeur 20–30 cm :** Le stock passe de 10,2 t/ha à 27,45 t/ha, une augmentation importante pour un horizon profond. Cette dynamique est probablement due à une migration lente mais constante de la matière organique, facilitée par la texture du sol et les propriétés physiques. L'humidité plus faible (8,93 %) pourrait ralentir la décomposition, contribuant ainsi à une meilleure stabilisation du carbone sous forme passive. Le calcaire (0,72 %) reste modéré, et l'activité microbienne diminue à cette profondeur, ce qui réduit la perte de carbone par respiration microbienne.

### 3.2. Evolution de stock du carbone dans le sol sous eucalyptus

**Profondeur 0–10 cm :** Le stock augmente de 21,19 t/ha à 25,14 t/ha, une progression plus modérée que sous pin. Ce comportement peut s'expliquer par les caractéristiques chimiques de la litière d'eucalyptus, connue pour sa richesse en composés phénoliques qui ralentissent la décomposition. L'humidité très élevée (39,26 %) aurait pu activer temporairement l'activité microbienne, mais la présence de molécules inhibitrices limite la libération de carbone dans l'atmosphère. Ainsi, une partie du carbone reste stockée, mais l'effet est moins marqué qu'avec le pin, car la dégradation est freinée chimiquement.

**Profondeur 10–20 cm :** Une forte augmentation est observée ici : de 14,71 t/ha à 27,13 t/ha. Ce saut peut être dû à une translocation verticale de matière organique combinée à une bonne perméabilité du sol. L'humidité reste élevée (8,95 %), et le pH neutre (5,93) crée un



environnement stable. Le carbone est mieux conservé, et la stabilité des conditions chimiques favorise sa transformation en formes plus résistantes.

**Profondeur 20–30 cm :** L'évolution la plus spectaculaire : de 7,38 t/ha à 28,07 t/ha. Cela reflète une accumulation lente mais efficace du carbone dans les couches profondes. Le pH neutre (5,8), la faible salinité ( $CE = 0,11$  ds/m) et l'humidité suffisante (8,65 %) sont des conditions idéales pour limiter la perte de carbone. En plus, les composés complexes issus de la litière d'eucalyptus se conservent bien en profondeur, ce qui confirme l'idée que ces forêts peuvent jouer un rôle important dans le stockage profond du carbone, comme indiqué dans la littérature scientifique.

# Conclusion générale

Dans le cadre d'un projet de recherche sur le stock du carbone dans le sol initié par l'Institut National de la Recherche Forestière (I.N.R.F), nous avons réalisé une étude au niveau de la forêt de Bainem (Alger). Cette recherche a pour objectif de caractériser deux types de sols et de suivre l'évolution du stock de carbone organique (SCO) à travers les différents horizons, en comparant deux essences forestières : l'Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) et le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Les résultats obtenus en 2025 montrent des différences marquées entre les deux espèces. Sous le Pin d'Alep, on observe un SCO plus élevé, notamment dans l'horizon de surface (0-10 cm) avec 43.75 t/ha, contre 25.14 t/ha sous l'Eucalyptus. Cette accumulation est probablement favorisée par une plus grande teneur en argile et une meilleure capacité de rétention d'eau, permettant une stabilisation plus efficace de la matière organique. Dans les horizons plus profonds, les valeurs diminuent progressivement pour atteindre 27.45 t/ha à 20-30 cm sous Pin d'Alep et 28.01 t/ha sous Eucalyptus. En termes d'évolution entre 2019 et 2025, le taux de progression du stock de carbone organique est globalement plus marqué sous le Pin d'Alep, atteignant +1.69 t/ha à 20-30 cm, contre +2.80 t/ha sous Eucalyptus pour le même horizon. Toutefois, dans les couches superficielles (0-10 cm), l'augmentation est plus modérée, avec +0.45 t/ha sous Pin d'Alep et seulement +0.19 t/ha sous Eucalyptus. Cette dynamique du carbone dans les sols forestiers prend tout son sens dans le contexte actuel du changement climatique. Le carbone organique du sol représente un puits naturel capable de capter et de stocker le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), principal gaz à effet de serre. Ainsi, plus un sol est apte à retenir le carbone, moins il y a de CO<sub>2</sub> relâché dans l'atmosphère, contribuant ainsi à atténuer l'effet de serre et à ralentir le réchauffement climatique. En définitive, ces résultats mettent en évidence l'importance de la nature du couvert végétal dans la dynamique du carbone organique. La gestion durable des sols forestiers, notamment par le choix des essences les plus favorables à la séquestration du carbone, peut jouer un rôle déterminant dans les stratégies d'adaptation et d'atténuation face aux changements climatiques.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both featuring rounded ends and a slight shadow effect.

# **Références bibliographiques**

1. **(DGF ,2010)**
2. **Robert. M., (2002):** Rapport sur les ressources en sols du monde. Rome, 55 p.
3. **AHRIZ N et AIT BENAMARA H.,(1993) ,** Contribution à la cartographie des sols de la forêt de Bainem. Thèse d'ingénieur d'Etat en Agronomie, E.N.S.A Alger p49
4. **Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M.,& Cobb, N. (2010).** A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–684.
5. **Aragno m., Gobat j.m., Matthey w, 2003.**Le sol vivant, base pédologie /biologie des sols.2ed, imprimé en france, 568 p.
6. **BAKIRI. E., (1980) :** Note sur la forêt domaniale de Bainem L.N. R. E.F.52p.
7. **Balesdent, J., Chenu, C. and Balabane, M. (2000).** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res*, 53: 215–230.
8. **Baruiso et al, 1985.** Caractérisation des fractions organo-minérale et des constituants humiques d'un sol de pelouse sub-alpine thèse doctorat. Université. De nancy.
9. **Beauchamp Jacques ,2008.**Université de Picardie Jules Verne/Jacques Beauchamp
10. **Beauchamp.J,(2008) :**Propriétés de sol,universités de Picardie Jules Verne,<https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/sol.htm>
11. **BechkokiE.L., (1978) :** Etude de la productivité de l'eucalyptus cladocalyx.F.V.M dans laforêt domaniale de BAINEM.Thèse.Ing.Agro.INA.Alger.44p
12. **Benslama-Zanache, 1998.** Contribution à l'étude de la diversité des microorganismes (champignons saprophytes) des sols du complexe humide d'el kala. Cas des stations d'el khoubzirighia et du lac noir. Thèse magister. Université annaba.
13. **Bonkowski, M. (2004).** Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. *New Phytologist*, 162: 617-631
14. **Bonneau m., et Souchier b., 1994.** Pédologie deux constituants et propriétés du sol sous ladirection du douchaufour ph edmasson, 665.
15. **Bouchenafa, N., Oulbachir, K. and Kouadria, M. (2014).** Effects of tillage on the physical and biological behavior of soil under lens culture (*Lens exculenta*) in the region of Tiaret, Algeria. *European Scientific Journal*, 10: 9-17.

- 16. Boudy, P. (1952).** Économie forestière nord-africaine. Tome I : Les conditions écologiques de la forêt nord-africaine. Paris:
- 17. Boudy, P., (1952).** Guide du forestier en Afrique du nord. Ed. la maison rustique, Paris.  
505p.
- 18. Boughandjioua, 1998.** Evaluation quantitative des retombées de litière sous chêne liège  
(p.n.e.k). Mémoire. Ing. Ecologie et environnement. Université annaba.
- 19. Burke, I.C., Yonker, C.M., Parton, W.J., Cole, C.V., Schimel, D.S., Flach, K. (1989).** Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. Soil Sci. Soc. Am. J, 53: 792-800.
- 20. Calvet R., 2003 :** Le Sol, Propriété et fonction. Tome 1 Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Editions France Agricole. DUNOD.
- 21. Chenu C., 2003,** Comment caractériser les matières organiques du sol?, Actes des 6èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, G Thevenet L Faedy Eds., 107-117.
- 22. Chenu, C. and Plante, A.F. (2006).** Clay-sized organo-mineral complexes in a cultivation chronosequence: revisiting the concept of the primary organo-mineral complex. European Journal of Soil Science, 57: 596-607.
- 23. Chevallier T., Blanchart E., Girardin C., Mariotti A., Albrecht A. and Feller C. (2001).** The role of biological activity (roots, earthworms) in medium-term C dynamics in vertisol under a *Digitaria decumbens* (Gramineae) pasture. Applied Soil Ecology, 16:11-21.
- 24. Christine COUDURIER,** Alterre Bourgogne avec la contribution d'Hélène TOUSSAINT, Guide pédagogique « les sols, terreau fertile pour L'EEDD » volet 1 P ),(2012).
- 25. Citeau L., Bispo A., Bardy M., King D., 2008,** Gestion durable des sols. Ed. Quae, France, 336p.
- 26. Climate Change 2014:** Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- 27. Crowther, T. W., Todd-Brown, K. E. O., Rowe, C. W., Wieder, W. R., Carey, J. C., Machmuller, M. B., Snoek, B. L., Fang, S., Zhou, G., Allison, S. D., Blair, J.**

- M., Bridgham, S. D., Burton, A. J., Carrillo, Y., Reich, P. B., Clark, J. S., Classen, A. T., Dijkstra, F. A., Elberling, B., ... Bradford, M. A. (2016).** Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*, 540(7631), 104–108.
- 28. Dari., R. (2013).** Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides, exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire d'ingéniorat, Université Kasdi Merbah Ouargla. 53P.
- 29. Deb, S. K., Shukla, M. K., et al. (2015).** Soil organic carbon: Dynamics, storage, and sequestration. In *Soil and Water Conservation: Advances in Agronomy*.
- 30. Derrien, D., Dignac, M. F., Basile-Doelsch, I., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., ... et Barré, P. (2016).** Stocker du C dans les sols. Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs, 193-224
- 31. DGF(Direction Générale des Forêts) 2019 .**Rapport technique sur la forêt de bainem . Direction Générale des Forêt , Ministère de l'Agriculture, Algérie
- 32. Duchaufour ph ,2004.** Introduction à la science du sol-6ème Ed de l'abrégé de pédologie dunod, p 42, 63, 69, 109.
- 33. Duchaufour ph, 1977.** Pédologie tom 1.pédogénèse et classification. Ed, masson, paris, newyork, barcelona, milan, mexico, saopaulo
- 34. Duchaufour ph, 1983.** Pédogénèse et classification : tom1. 2ème édition Ed. Masson. Paris, p491.
- 35. Duchaufour ph, 1995.** Pédologie : sol, végétation, environnement. 4èmed. Masson. Paris.324p.
- 36. Duchaufour, ph, 2001.** Introduction à la science du sol, végétation, environnement, 6èmeédition.
- 37. Durrieu g, 1993.**ecologie des champignons. Masson. Paris. Coll. Ecologie 23 recherche de l'activité.
- 38. FAO (2011).**État des Forêts Méditerranéennes 2011. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- 39. FAO., (2002):** la séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapport sur les ressources en sols du monde. FAO, Rome 01p
- 40. Formations végétales méditerranéennes, St 2004,** dernière modifications SB et CB janvier 2024.
- 41. N'konou, Redacteur/traducteur. 27 décembre 2023,** caractéristiques, flore et faune.

42. **Genard, M., Limousin, J. M., Ourcival, J. M., & Staudt, M. (2015).** Drought affects volatile organic compound emissions differently in species of Mediterranean forests. *Tree Physiology*, 35(7), 758–770.
43. **GIEC [IPCC]. (2014).** Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
44. **Girard., MC et al. 2005 :** Sols et Environnement, 2ème édition, Editions DUNOD,
45. **Gobat j. M, Aragno m. Et Matthey w, 1998.** Le sol vivant. Bases de pédologie biologiques des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne
46. **Gobat J. M. 1991.** Recherches scientifiques dans la Grande Carihène . La recherche dans les réserves naturelles. publ. Acad. Suisse Sci. nat. : 71-79.
47. **Gonzalez de Andrés, E., Camarero, J. J., Sánchez-Salguero, R., Andreu-Hayles, L., Gutiérrez, E., Ribas, M., ... & Linares, J. C. (2015).** Long-term impacts of climate and competition on forest dynamics in the Mediterranean. *Forest Ecology and Management*, 356, 23–33. (Possibly cited as Gia-Isquierdo et al., 2015)
48. **Hevia, G.G., Buschiazzi, D.E., Hepper, E.N., Urioste, A.M. and Antón, E.L. (2003).** Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116, 265–277.
49. <https://www.researchgate.net/profile/RiadhMoulai/publication/329130921/figure/fig14/AS:864400764309507@1583100610400/Situation-geographique-de-la-foret-de-BainemImage-satellitaire.jpg>
50. **Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2015).** Thematic assessment of land degradation and restoration. IPBES secretariat, Bonn, Germany.
51. **Jiménez J.J., Decaëns T. et Lavelle P. (2008).** C and N concentrations in biogenic structures of a soil-feeding termite and a fungus-growing ant in the Colombian savannas. *Applied Soil Ecology*, 40: 120-128.
52. **Jones D.L., Nguyen C. and Finlay R.D. (2009).** Carbon flow in the rhizosphere : carbon trading at the soil-root interface. *Plant and Soil*, 321: 5-33.
53. **Kadik B., 1986 :** contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis*) en Algérie : écologie ; dendrométrie, morphologie. Office des publications universitaires, Alger. p 6-98.



- 54. Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., TITTONELL, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., & Fresco, L. O. (2016).** Soil as a buffer against climate change: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 1–16.
- 55. Kherchouche, D., Brouri, R., & Derridj, A. (2013).** Atlas cedar forest decline and climate change in Algeria. *The Open Forest Science Journal*, 6(1), 21–26.
- 56. Kherchouche, D., Derridj, A., & Brouri, R. (2012).** Le dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie: influence de la sécheresse. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 23(1), 45–52.
- 57. Medail, F. & Quézel, P. (1997).** Biodiversité et biogéographie des forêts méditerranéennes. Paris : CNRS Edition.
- 58. Morsli, B., Mazour, M., Medjelled, N., & Halitim, A. (2004).** Influence des systèmes d'utilisation des terres sur les stocks de carbone organique des sols des zones montagneuses méditerranéennes d'Algérie. *Sécheresse*, 15(1), 43–50.
- 59. Lefèvre, F., Ducousso, A., & Petit, R. J. (2014).** Genetic conservation of forest trees in the face of climate change. *Comptes Rendus Biologies*, 337(6–7), 397–403.
- 60. Limousin, J. M., Bickford, C. P., & McDowell, N. G. (2012).** Co-occurring species differ in their stomatal regulation under drought. *Tree Physiology*, 32(4), 401–412.
- 61. Limousin, J. M., Rambal, S., Ourcival, J. M., Joffre, R., & Rodriguez-Cortina, R. (2008).** Long-term transpiration change with rainfall exclusion in a Mediterranean *Quercus ilex* forest. *Global Change Biology*, 14(9), 2167–2179.
- 62. Limousin, J. M., Rambal, S., Ourcival, J. M., Joffre, R., & Rodriguez-Cortina, R. (2009).** Long-term experimental drought reduces stomatal conductance and transpiration in a Mediterranean oak forest. *New Phytologist*, 181(2), 482–493.
- 63. Linares, J. C., Taïqui, L., & Camarero, J. J. (2011).** Increasing drought sensitivity and decline of Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) in the Moroccan Middle Atlas forests. *Forests*, 2(3), 777–796.
- 64. M'Hirit, O. et al. (1998).** Les forêts méditerranéennes : Enjeux et stratégies pour un développement durable. FAO / Banque mondiale / Plan Bleu.
- 65. M'Hirit, O., Bensettiti, F., Aronson, J., Simonneaux, V. (1998)** Les Forêts Méditerranéennes : Fonctions et Gestion. Editions Mardaga. ISBN: 2-87009-681-0.

- 66. Miltner A., Bombach P., Schmidt-Brucken B. and Kastner M. (2012).** SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry*, 111: 41-55.
- 67. Mora P., Miambi E., Jimenez J.J., Decaens T. and Rouland C. (2005).** Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 1043-1048.
- 68. Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., & Corte-Real, J. (2006).** Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research*, 31(1), 85–95.
- 69. MUSTIN M., 1987.** Le composte, gestion de la matière organique. Ed. François
- 70. Oubouchou. R., (1984) :** Contribution à l'étude des groupements végétaux dans la forêt domaniale de Bainem, inventaire cartographique, Thèse Ing. Agro. INA. Alger. 75p.
- 71. Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., & Vallejo, R. (2004).** Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – A review. *International Journal of Wildland Fire*, 13(2), 53–65.
- 72. Plante, A.F. et McGill, W.B. (2002).** Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil & Tillage Research*, 66: 79-92.
- 73. Poulard, F., Davi, H., & Lebourgeois, F. (2014).** Climate-growth relationships of sessile oak in the French Alps: effects of intra- and inter-annual climate variability. *Annals of Forest Science*, 71(3), 285–295.
- 74. Prescott, 1999.** Microbiologie. Ed. Boeck université.
- 75. Queensland Government. (2013, October 8).** Soil carbon. Environment, land and water. IFPEN – Institut Français du Pétrole et des Énergies Nouvelles. (2025). Puits de carbone et acteurs du climat : les sols.
- 76. Quézel, P. (1976).** Les forêts du pourtour méditerranéen: écologie, structure, flore et biogéographie. In: *Encyclopédie de la forêt méditerranéenne*. Paris: CNRS
- 77. Quézel, P., & Médail, F. (2003).** Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Paris. ISBN: 978-2-84299-460-8.
- 78. Quezel.P., (1976) :** Les forêts de pourtour méditerranéen. Note technique du MAB, UNESCO, p 14-32

79. **Quideau, S.A., Chadwick, O.A., Benesi, A., Graham, R.C., Anderson, M.A. (2001).** A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. *Geoderma*, 104; 41–60.
80. **Ranger, J. (2001) :** les sols forestiers p 121-122.
81. **Richer de Forges, A., Feller, C., Jamagne, M Arrouays, D., 2008.** Perdus dans le triangle des textures. *Etude et Gestion des sols* 15, 2 :97-111
82. **Robert M., 2002,** La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. *Rapp sur les ressources en sols du monde*, Ed. FAO. 59p.
83. **Rubio, M. (2009).** Forêt et cycle du carbone. *Pollution Atmosphérique – Numéro Spécial* (Mars 2009). Office National des Forêts (ONF) – DEDD.
84. **SantOnja, M., Fernandez, C., Proffit, M., Gers, C., Gauquelin, T., Reiter, I. M., & Baldy, V. (2015).** Plant litter diversity increases the robustness of litter decomposition to simulated climate change. *Journal of Ecology*, 103(4), 1022–1033.
85. **Schlesinger W.H., (1986) :** Évolution du stockage du carbone dans le sol et des propriétés associées avec les perturbations et la régénération. Dans : *L'évolution du cycle du carbone : une analyse globale*. J.R. Trabalka et D.E. Reichle (dir.), Springer-Verlag, New York, 11, 194-220.
86. **Schleussner, C. F., Lissner, T. K., Fischer, E. M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., & Hare, W. (2016).** Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C. *Earth System Dynamics*, 7(2), 327–351.
87. **Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I. C., Araújo, M. B., Arnell, N. W., ... & Zierl, B. (2005).** Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310(5752), 1333–1337.
88. **Shan J., Brune A. and Ji, R. (2010).** Selective digestion of the proteinaceous component of humic substances by the geophagous earthworms *Metaphire guillelmi* and *Amyntas corrugatus*. *Soil Biology & Biochemistry*, 42: 1455-1462.
89. **Singer, M. J. & Munns , D. N ., 1996 .** *soils: An Introduction*. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River.
90. **Slimani, S. (2014).** Contribution à l'étude de la mortalité du cèdre de l'Atlas en Algérie: Approche dendroécologique. Thèse de doctorat, Université de Bejaïa.

- 91. Song, B., Niu, S., Zhang, Z., Yang, H., Li, L. and Wan, S. (2012).** Light and Heavy Fractions of Soil Organic Matter in Response to Climate Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe. *PLoS ONE* 7, e33217.
- 92.** Spatiotemporal drought variability in northwestern Africa over the last nine centuries. *Climate Dynamics*, 35(3-4), 473–488.
- 93. Staudt, M., & Seufert, G. (2003).** Light-dependent emission of monoterpenes by Holm oak (*Quercus ilex* L.). *Atmospheric Environment*, 37(6), 977–983.
- 94. Staudt, M., Seufert, G., & Mandl, N. (2002).** Biogenic emissions of volatile organic compounds from the Mediterranean vegetation: experimental investigation of the emission factors and controlling variables. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D22), LBA 8-1–LBA 8-13.
- 95. Touchan, R., Meko, D. M., & Hughes, M. K. (2008).** A 985-year reconstruction of precipitation in Morocco. *International Journal of Climatology*, 28(13), 1849–1866.
- 96. Toutain F, 1974.** Etude écologique de l’humification dans les hêtraies acidophiles thèse dudoctorat. Etat. Unev nancy i, 114p
- 97. Van der Heijden M.G., Bardgett R.D. and van Straalen, N.M. (2008).** The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11: 296-310.
- 98. Vidal A., Quenea K., Alexis M. et Derenne S. (2016).** Molecular fate of root and shoot litter on incorporation and decomposition in earthworm casts. *Organic Geochemistry*, 101: 1-10.
- 99.** Watson RT, Noble IR, Bolin B, Ravindranath NH, Verardo DJ, Dokken DJ. Land Use, Land Use Change and Forestry – IPCC Special Report. IPCC Publisher, Cambridge University Press 2000: 377 p.
- 100. Zine El Abidine, A. (2003).** Impact des changements climatiques sur la biodiversité des forêts algériennes. Communication, Séminaire national sur la biodiversité, Tlemcen, Algérie.

# **Annexes**

**Tableau 8: Données physico-chimique du sol de station Pin d'Alep et Eucalyptus**

<b>Désignation</b>	<b>Humidité(%)</b>	<b>PH eau</b>	<b>EC(ds/m)</b>	<b>Calcaire total (%)</b>	<b>Azote total</b>
<b>PAp:0-10 cm</b>	<b>10,93</b>	<b>5,95</b>	<b>0,14</b>	<b>0,68</b>	<b>0,11</b>
<b>PAp:10-20 cm</b>	<b>10,8</b>	<b>6,07</b>	<b>0,14</b>	<b>1,2</b>	<b>0,11</b>
<b>PAp:20-30 cm</b>	<b>8,93</b>	<b>5,99</b>	<b>0,13</b>	<b>0,72</b>	<b>0,03</b>
<b>Ecp:0-10 cm</b>	<b>39,26</b>	<b>6,04</b>	<b>0,16</b>	<b>0,26</b>	<b>0,12</b>
<b>Ecp:10-20 cm</b>	<b>8,95</b>	<b>5,93</b>	<b>0,14</b>	<b>0,24</b>	<b>0,12</b>
<b>Ecp: 20-30 cm</b>	<b>8,65</b>	<b>5,8</b>	<b>0,11</b>	<b>0,18</b>	<b>0,11</b>

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE DE SAAD DHLEB-BLIDA 1**



**Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie**  
**Département de Biotechnologie et Agro-Ecologie**

**Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme master II dans le domaine SNV**

**Filière Sciences Agronomiques.**

**Spécialité : Sciences Foresteries**

**Thème**

**Evolution du stock de carbone organique dans le sol sous  
une forêt méditerranéenne (cas de la forêt de Bainem)**

**Réalisé par :**

- **BOUAZI Samia**
- **CHEREF Chahinez**

**Devant le jury :**

**Présidente : Mme DEGUI .N**

**M.A.A Université de Blida 1.**

**Examineur : Mr OUELMOUHOU .S**

**M.C.B Université de Blida 1.**

**Encadreur : Mme DILMI .A**

**Maitre de recherche I.N.R.F Bainem.**

**Co-encadreur : Mme ZEMOURI .S**

**M.A.A Université de Blida 1.**

**Année Universitaire : 2024/2025**