République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tebessi –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Êtres vivants

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
Filière : Science biologique
Option : Ecophysiologie végétale

Intitulée :

Contribution à l'évaluation quantitative et qualitative de la retombée de la litière sous *Pinus halepensis* dans la région de Tébessa

Par :
RAHAL Mohammed Lamine

Devant le jury :

BOUDJABI Sonia	**Pr**	Université de Tébessa	Président
GHDABNIA Karima	**MAA**	Université de Tébessa	Rapporteur
BEN HAROUN Souad	**MCB**	Université de Tébessa	Examinateur

Date de soutenance : 09/ 06 / 2026

Remerciement

Je commence par rendre grâce à DIEU, maître des cieux et de terre pour la volonté, le courage et les compétences qu'il m'a données pour la réalisation de ce modeste travail.

Mes plus vifs remerciements et toute ma considération à **Pr. Boudjabi Sonia**, docteur à l'Université de Cheikh Larbi Tébessi. Qui m'a fait l'honneur de présider le présent jury. Je lui témoigne mes sentiments de considération et de respect. Ce travail a été réalisé sous la direction de **Dr Ghdabnia Karima**. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude pour avoir encadré cette étude avec rigueur, disponibilité et bienveillance. Merci d'avoir toujours été disponible pour avoir guider tout. Merci pour avoir toujours été disponible pour avoir guidé tout enje tenons à l'exprimer également infiniment toute nos gratitudes pour les nombreuses heures investies dans la correction du présent manuscrit. Merci pour votre humanisme et votre gentillesse.

J'ai tout le plaisir et l'honneur de la présence de **Dr Benharoun Souad** qui a bien voulu accepter d'être membre du jury et de me faire l'honneur de juger ce travail. Nous voudrons remercier l'ensemble du personnel du Laboratoire pour leur aide, leur efficacité et leur disponibilité.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont soutenue, encouragée et accompagnée de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Dédicaces

À l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie Je dédie ce travail :

À mes adorables parents, qui ont tous deux joué un rôle fondamental dans ma vie, Leur amour, leur soutien constant, leurs conseils et leurs encouragements m'ont accompagnée à chaque étape de mon parcours.

À mes frères et sœurs dont le soutien indéfectible et la présence chaleureuse ont été une source précieuse de force et de réconfort tout au long de ce parcours.

À mes amies fidèles, merci d'avoir partagé chaque instant de ce chemin à mes côtés.

À toutes celles et ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont laissé une empreinte sur

Mon chemin, je dédie ce modeste travail, fruit de persévérance, de passion et de tant d'espoir.

RAHAL Mohammed Lamine

Résumé

Cette étude a été menée dans la forêt de Berarcha-Alouana, située dans la commune de Bir Mokkadem (wilaya de Tébessa), afin de caractériser la dynamique de la litière des peuplements de *Pinus halepensis*. Elle repose sur un suivi mensuel des retombées de la litière, permettant d'évaluer les variations quantitatives et qualitatives de ses différents constituants végétaux (aiguilles, cônes, rameaux et autres débris), ainsi que de déterminer ses principales caractéristiques physicochimiques.

Les résultats ont montré une variation saisonnière marquée de la production de litière, avec des maximas enregistrés en automne et en hiver. L'analyse qualitative a révélé une dominance des aiguilles et de la fraction « divers », particulièrement dans la litière ancienne, traduisant un état avancé de décomposition de la matière organique.

Les analyses physicochimiques ont mis en évidence une litière légèrement acide, non salée, riche en matière organique et caractérisée par une faible humidité.

Mots-clés : *Pinus halepensis* ; litière forestière ; dynamique saisonnière ; propriétés physicochimiques ; forêt de Berarcha-Alouana.

Abstract

This study was conducted in the Berarcha-Alouana forest, located in the municipality of Bir Mokkadem (Tébessa province), to characterize the litter dynamics of *Pinus halepensis* stands. It is based on monthly monitoring of litterfall, allowing for the assessment of quantitative and qualitative variations in its various plant components (needles, cones, twigs, and other debris), as well as the determination of its main physicochemical characteristics.

The results showed a marked seasonal variation in litter production, with peaks recorded in autumn and winter. Qualitative analysis revealed a predominance of needles and the 'miscellaneous'' fraction, particularly in older litter, indicating an advanced state of decomposition of the organic matter.

Physicochemical analyses revealed litter that was slightly acidic, non-saline, rich in organic matter, and characterized by low moisture content.

Keywords: *Pinus halepensis*; forest litter; seasonal dynamics; physicochemical properties; Berarcha-Alouana Forest.

ملخص

أنجزت هذه الدراسة في غابة برارشة-العلوانة الواقعة ببلدية بئر مقدم (ولاية تبسة)، بهدف دراسة ديناميكية الفرشة الغابية لتجمعات الصنوبر الحلبي .(*Pinus halepensis*) واعتمدت الدراسة على المتابعة الشهرية لتساقط الفرشة الغابية، من أجل تقييم التغيرات الكمية والنوعية لمختلف مكوناتها (الإبر، المخاريط، الأغصان وبقايا النباتات الأخرى) بالإضافة إلى تحديد أهم خصائصها الفيزيكوكيميائية.

أظهرت النتائج وجود تباين موسمي واضح من إنتاج الفرشة النباتية حيث سجلت أعلى القيم خلال فصلي الخريف والشتاء، كما بين التحليل النوعي سيادة الأوراق الإبرية وفئة "التساقطات المتنوعة "خاصة في الفرشة القديمة مما يعكس مرحلة متقدمة من تحلل المادة العضوية.

نتائج التحاليل الفيزيكوكيميائية أظهرت أن الفرشة الغابية حامضية قليلا ـ غير مالحة ـ غنية بالمادة العضوية وتتميز بنسبة رطوبة منخفضة.

الكلمات المفتاحية: الصنوبر الحلبي*Pinus halepensis* ، الفرشة الغابية، الديناميكية الموسمية، الخصائص الفيزيكوكيميائية، غابة برارشة-العلوانة

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumée

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

Introduction générale **.....1**

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique **.....3**

1. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) 4

1.1. Données générales sur *Pinus halepensis* 4

1.2. La distribution 5

1.2.1. Dans le monde 5

1.2.2. En l'Algérie 5

1.3. La classification botanique de *Pinus halepensis* 6

1.4. Description botanique de *Pinus halepensis* 7

1.4.1. Les feuilles 7

1.4.2. L'écorce 7

1.4.3. Les rameaux 8

1.4.4. Les cônes 8

1.4.5. Les graines 10

1.4.6. Le système racinaire 10

1.4.7. Le bois 11

1.4.8. L'importance écologique de *Pinus halepensis* 12

2. La litière 14

2.1. Définition 14

2.2. Structure de la litière 15

2.3. La composition de la litière du *Pinus halepensis*.....15
2.3.1. La composition chimique.....15
2.3.2. La composition physique.....16
2.4. Les retombées de la litière.....16
2.5. Dynamique de la décomposition de la litière.....17
2.6. Les factures influençant la décomposition.....17
2.6.1. Climat.....17
2.6.2. Qualité des aiguilles.....18
2.6.3. Organismes du sol.....18
2.7. Rôle écologique de la litière.....18
***Chapitre 2 : Materiel et méthodes*.....20**
1. Présentation de la zone d'étude.....21
1.1. Description de la station d'étude.....21
1.2. Station de Berarcha-Alouana.....21
1.3. Climat.....22
2. Etude de la litière.....23
2.1. Dispositif de ramassage de la litière.....23
2.2. Récolte de la litière.....24
2.3. Méthode d'évaluation de la litière.....24
2.4. Analyses chimiques de la litière.....26
2.4.1. Le pH.....26
2.4.2. Conductivité électrique de la litière.....26
2.4.3. Détermination de l'humidité de la litière.....26
3. Traitement statistique.....27
***Chapitre 3 : Résultats*.....28**
1. Etude qualitative de la litière.....29
1.1. La litière ancienne.....29
1.2. La litière mensuelle.....29
2. Etude quantitative de la litière.....31
3. Analyses physicochimiques de la litière.....31
***Chapitre 4 : Discussions*.....29**
***Conclusion*.....39**
***Références bibliographiques*.....42**
Annexes

Liste des figures

N° Figure	Titre	Page
01	Arbre du *Pinus halepensis*	**04**
02	Aire de répartition du *Pinus halepensis* en région méditerranéenne	**05**
03	Aire de répartition du *Pinus halepensis* en Algérie	**06**
04	Les feuilles *Pinus halepensis*	**07**
05	L'écorce d'arbre du *Pinus halepensis*	**08**
06	Les cônes mâles	**09**
07	Les cônes femelles	**10**
08	Les grains du *Pinus halepensis*	**10**
09	Le système racinaire	**11**
10	Le bois de *Pinus halepensis*	**12**
11	La litirère du *pinus halepensis*	**14**
12	Carte géographique de la région de Tébessa (commune de Bir Mokkadem)	**21**
13	Station d'étude Brarcha alaouna (Tébessa).	**22**
14	Diagramme ombrothérmique de la région de Tébessa de période 1980-2016	**23**
15	Dispositif de terrain pour la collecte de la litière	**24**
16	Tri qualitatif des fractions de la litière	**26**
17	Valeurs moyennes de la retombée qualitative de la litière ancienne	**29**
18	Valeurs moyennes de la retombée qualitative de la litière	**30**
19	Valeurs moyennes de la retombée quantitative de la litere	**31**

Liste des tableaux

N° Tableau	Titre	Page
01	Classification botanique de *Pinus halepensis*	**06**
02	Analyses physicochimiques de la litière	**32**

Liste des abréviations

(%)	**Pourcentage**
°C	Degré Celsius
ANOVA	Analysis of Variance (analyse de la variance)
CE	Conductivité électrique
Cm	Centimètre
FNR	Fraction des éléments non reconnaissables
G	Gramme
g/m²	Grammes par mètre carré
Ha	Hectare
M	Mètre
m²	Mètre carré
Ml	Millilitre
mm	Millimètre
P	Probability value (niveau de significativité)
PH	Potentiel hydrogène
STATISTICA 10	Logiciel de traitement statistique des données
µS/cm	Microsiemens par centimètre

Introduction générale

Les forêts méditerranéennes constituent des écosystèmes complexes qui assurent des fonctions écologiques essentielles, notamment la conservation de la biodiversité, la protection des sols contre l'érosion, la régulation du cycle hydrologique et le stockage du carbone **(Barbéro *et al.*, 1998 ; Quézel & Médail, 2003)**. Cependant, ces écosystèmes sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques, caractérisés par une augmentation des températures, une diminution des précipitations et une fréquence accrue des sécheresses et des incendies **(Jevšenak & Saražin, 2023)**. Ces contraintes environnementales influencent fortement la productivité végétale ainsi que les processus de recyclage de la matière organique au sein des écosystèmes forestiers.

Parmi les essences forestières méditerranéennes, le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) occupe une place prépondérante grâce à sa grande plasticité écologique et à sa capacité d'adaptation aux conditions de sécheresse et aux sols pauvres **(Quézel & Santa, 1962 ; Sarris & Christodoulakis, 2024)**. Cette espèce représente l'une des principales composantes des forêts méditerranéennes et constitue l'essence résineuse la plus répandue en Algérie **(Bentouati, 2006)**. Elle joue un rôle majeur dans la stabilisation des sols, la lutte contre la désertification et la préservation de l'équilibre écologique des régions semi-arides et subhumides **(Quézel & Médail, 2003)**.

Dans le Nord-Est algérien, et particulièrement dans la wilaya de Tébessa, les peuplements de pin d'Alep couvrent de vastes superficies forestières soumises à des conditions climatiques contrastées. Ces peuplements contribuent au maintien de la fertilité des sols grâce à la production continue de matière organique sous forme de litière. Cette dernière constitue l'interface fonctionnelle entre la végétation et le sol et représente l'un des principaux mécanismes de transfert de matière et d'énergie dans les écosystèmes forestiers **(Ghedabnia *et al.*, 2024)**.

La litière forestière est formée de l'ensemble des débris végétaux déposés à la surface du sol, notamment les aiguilles, les rameaux, les cônes, les écorces et divers fragments organiques. Elle constitue la principale source de matière organique des sols forestiers et joue un rôle déterminant dans le recyclage des nutriments, l'amélioration de la structure du sol, le maintien de l'humidité et la protection contre l'érosion **(Berg & McClaugherty, 2014)**. La quantité et la qualité de la litière influencent directement les processus biologiques et biogéochimiques responsables du fonctionnement des écosystèmes forestiers **(Tuomi *et al.*, 2009)**. Chez le pin d'Alep, les aiguilles représentent généralement la fraction dominante de la

litière produite et constituent un élément essentiel dans les processus de formation de l'humus et de restitution des éléments nutritifs au sol **(Gallardo *et al.*, 2000)**.

Dans ce contexte, la présente étude vise à contribuer à l'évaluation quantitative et qualitative de la litière des peuplements de *Pinus halepensis* dans la forêt de Berarcha-Alouana (wilaya de Tébessa). Elle a pour objectifs de caractériser les variations mensuelles de la production de litière et d'évaluer les principales propriétés physicochimiques de la litière afin de mieux comprendre son rôle dans le maintien de la fertilité des sols forestiers.

Ce mémoire comprend quatre chapitres : une synthèse bibliographique sur le pin d'Alep et la litière forestière, la présentation de la zone d'étude et de la méthodologie, l'exposé des résultats obtenus, puis leur discussion suivie d'une conclusion générale.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*)

1.1. Données générales sur *Pinus halepensis*

Pinus halepensis (Le pin d'Alep) est désigné par plusieurs noms vernaculaires tels que le pin de Jérusalem ou le pin blanc. L'appellation scientifique actuelle a été établie par Philip Miller en 1768 **(Nahal, 1962)**. En Algérie, cette espèce est localement connue sous le nom de « Senouber ». *Pinus halepensis* est une espèce de conifère appartenant à la famille des Pinaceae. Il s'agit d'un arbre sempervirent caractéristique des régions méditerranéennes, reconnu pour sa grande capacité d'adaptation aux conditions climatiques chaudes et sèches **(Nahal, 1962)**. En termes de répartition altitudinale, le pin d'Alep se rencontre depuis les basses altitudes jusqu'à environ 2200 m. En Algérie, il s'étend du littoral jusqu'à l'Atlas saharien **(Soltani, 2016)**.

Le pin d'Alep constitue l'une des espèces les plus caractéristiques des paysages méditerranéens **(Prévosto, 2013).**

Cette essence méditerranéenne, à caractère continental, se distingue par sa robustesse et sa grande plasticité écologique, ce qui lui permet de s'adapter à des conditions environnementales difficiles. Elle présente également des traits xérophiles, thermophiles et héliophiles **(Letreuch-Belarouci, 1991).**



Figure 1. Arbre du *Pinus halepensis* (Photo personnelle, 2026).

1.2. La distribution

1.2.1. Dans le monde

Le *Pinus halepensis* constitue l'une des espèces les plus représentatives des écosystèmes de type méditerranéen. Il couvre une superficie dépassant plusieurs millions d'hectares dans cette région et se retrouve sur l'ensemble des deux rives de la mer Méditerranée., également présente dans certaines régions anatoliennes et macaronésiennes. Il s'agit de l'un des pins les plus largement répandus du bassin méditerranéen. Son aire de répartition couvre l'ensemble de la région méditerranéenne, s'étendant des zones occidentales, notamment l'Espagne et le Maroc où il est particulièrement abondant, jusqu'aux régions orientales incluant le Liban, en passant par le sud de l'Europe (France, Italie, Grèce et Turquie) ainsi que l'Afrique du Nord (Algérie, Tunisie et Libye) **(Mauri *et al.*, 2016 ; Rojas-Briales *et al.*, 2023).**

Cette espèce présente une large adaptation écologique lui permettant de coloniser la quasi-totalité des pays du bassin méditerranéen, avec une densité plus importante dans sa partie occidentale, notamment en Espagne et dans le sud de la France **(Alsanousi *et al* ,2025).**

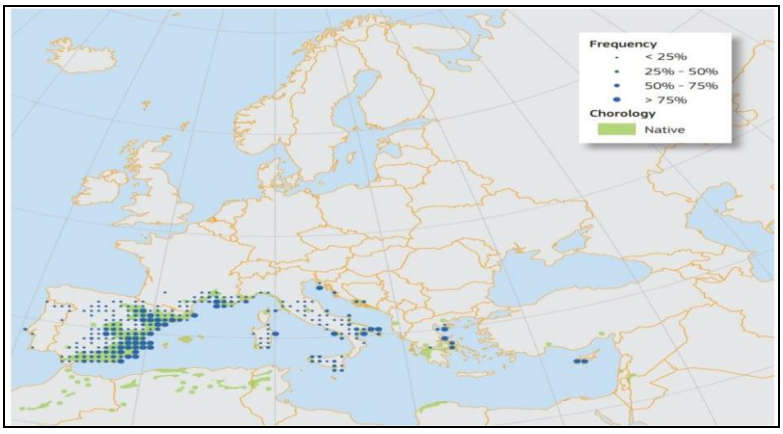


Figure 2. Aire de répartition du *Pinus halepensis* en région méditerranéenne **(Mauri et al., 2016)**.

1.2.2. En l'Algérie

En Algérie, le *Pinus halepensis* occupe une place prépondérante parmi les espèces forestières, avec une superficie estimée à environ 900 000 hectares, il se rencontre sous forme de peuplements homogènes ou en association avec certaines espèces méditerranéennes, notamment *Quercus ilex, Juniperus phoenicea et Juniperus oxycedrus*. Sa répartition concerne principalement les régions caractérisées par un climat aride à semi-aride, où il s'installe à des altitudes variantes entre 1100 et 1550 m. En raison de sa résistance aux conditions difficiles, cette espèce est fréquemment utilisée dans les opérations de reboisement, en particulier pour la réhabilitation des terrains dégradés **(Nedjimi, 2025)**.

Cette espèce représente également une part importante du couvert forestier du Nord de l'Algérie, estimée à environ 35 % des surfaces boisées **(Bentouati *et al.*, 2005)**. Elle est principalement localisée dans les régions du Centre et de l'Est, notamment sur les Atlas tellien et saharien. Les peuplements les plus développés se rencontrent sur les reliefs de l'Atlas saharien, à des altitudes comprises entre 1000 et 1500 m **(Kadik, 1987)**.

Dans la région de l'Aurès, *Pinus halepensis* est une espèce largement répandue et dominante, formant des peuplements forestiers importants au sein de grands massifs. Parmi les zones les plus représentatives figurent les Béni-Imloul, qui couvrent environ 75 000 hectares, ainsi que les massifs des Ouled-Yakoub et des Béni-Oudjana, dépassant les 40 000 hectares **(Rabhi *et al.*, 2023)**.

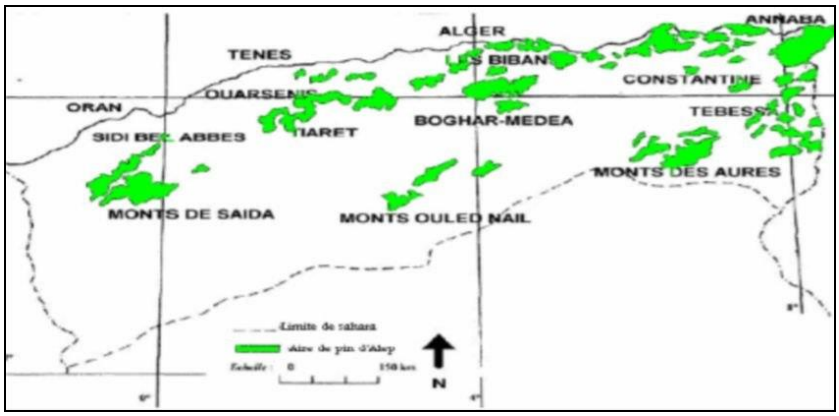


Figure 3. Aire de répartition du *Pinus halepensis* en Algérie **(Seigue, 1985)**.

1.3. La classification botanique de *Pinus halepensis*

La classification botanique de *pinus halepensis* est établie selon les données de **(Farjon, 2010)**, et par les travaux de **(Nahal, 1962)** comme suit :

Tableau 1. Classification botanique de *Pinus halepensis* **(Farjon, 2010 ; Nahal, 1962)**.

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphyta
Sous-embranchement	Gymnospermae
Classe	Pinopsida
Ordre	Pinales
Famille	*Pinaceae*
Sous-famille	Pinoïdeae
Genre	Pinus
Espèce	*Pinus halepensis* Mill.

1.4. Description botanique de *Pinus halepensis*

1.4.1. Les feuilles

Les feuilles du *Pinus halepensis*, communément appelées aiguilles, sont fines et allongées, persistantes et disposées en faisceaux de deux au niveau des brachyblastes. Elles sont fines, filiformes, lisses et de couleur vert jaunâtre à vert foncé, mesurant généralement entre 6 et 10 cm de longueur pour une épaisseur inférieure à 1 mm **(Nahal, 1962)**. Elles peuvent atteindre jusqu'à 12 cm de long et présentent une adaptation aux conditions climatiques méditerranéennes **(Zeiner *et al.*, 2019)**. Elles sont à sommet aigu et insérées perpendiculairement aux rameaux **(Serre, 1973)**.



Figure 4. Les feuilles de *Pinus halepensis* (Photo personnelle, 2026).

1.4.2. L'écorce

L'écorce de *Pinus halepensis* évolue considérablement au cours de la croissance de l'arbre. Chez les jeunes individus, elle est généralement lisse, de couleur gris argenté. Avec l'âge, elle s'épaissit progressivement et se fissure pour former le rhytidome, caractérisé par une structure d'abord écailleuse puis profondément crevassée (**Bernard, 2013)**. Chez les sujets adultes, l'écorce devient plus rugueuse, épaisse pouvant dépasser 4cm centimètres et prend une teinte brun gris à brun rougeâtre. Elle se présente alors sous forme de larges plaques séparées par des crevasses marquées **(Boutchiche & Boutrighe, 2016 ; Ladjal, 2012).**

L'écorce est gris argenté et presque lisse. L'épaisseur de l'écorce peut dépasser les 4 cm, très inflammable et très riches en tanin et en résine **(Boutchiche & Boutrighe, 2016)**.

L'écorce contient des canaux résinifères responsables de la production de résine, substance essentielle dans les mécanismes de l'arbre contre les insectes xylophages et certains agents pathogènes **(Richardson, 1998).**



Figure 5. L'écorce d'arbre du *Pinus halepensis* (Photo personnelle, 2026).

1.4.3. Les rameaux

Les rameaux Ils sont initialement fins et de couleur vert clair, puis deviennent progressivement grisâtres et légèrement sillonnés avec l'âge. L'espèce se caractérise également par un comportement polycyclique, permettant parfois la formation d'une seconde pousse au cours de la même année. Les bourgeons sont non résineux, de forme ovoïde et aiguë, de couleur brune, et présentent des écailles libres bordées de blanc **(Kadik, 1987)**. Par ailleurs, les rameaux comprennent à la fois des rameaux longs (auxiblastes) et des rameaux courts (brachyblastes), qui constituent les gaines portant les aiguilles **(Rameau *et al*., 2008).**

1.4.4. Les cônes

- **Les cônes mâles**

Chez *Pinus halepensis*, espèce monoïque, les cônes mâles apparaissent généralement dès le mois de mai. Ils se présentent sous forme de chatons ovoïdes à cylindriques, de petite taille, de coloration jaunâtre à brunâtre. Ces structures sont regroupées à la base des jeunes pousses

de l'année, où elles assurent la production et la libération du pollen. Leur organisation en épis compacts facilite la dissémination anémophile, caractéristique des *pinaceae* **(Rameau *et al.*, 2008).**



Figure 6. Les cônes mâles (photo personnelle, 2026).

- **Les cônes femelles**

Les cônes femelles de *Pinus halepensis* sont de forme ovoïde à oblongue-conique, généralement allongés, mesurant entre 5 et 12 cm de longueur. Portés par un pédoncule épais souvent recourbé, ils sont fréquemment isolés et orientés de manière réfléchie. À l'état jeune, ils présentent une coloration vert clair à rouge violacé, évoluant vers un brun luisant à maturité. Les écailles possèdent un écusson aplati ou légèrement renflé, parfois ridé. La maturation des cônes s'effectue en deux à trois ans, et ceux-ci peuvent persister plusieurs années sur l'arbre après maturité **(Grossenbacher, 2011 ; Boutchiche & Boutrighe, 2016 ; Ladjal, 2012).**



Figure 7. Les cônes femelles (Photo personnelle, 2026).

1.4.5. Les graines

Les graines sont de petite taille, généralement comprises entre 5 et 8 mm, et sont pourvues d'une aile membraneuse nettement plus longue, pouvant atteindre plusieurs fois leur longueur, ce qui favorise leur dissémination par le vent. Elles se développent à l'intérieur des cônes femelles arrivés à maturité, dont l'ouverture progressive permet leur libération, généralement entre la deuxième et la troisième année après l'apparition du cône **(Rameau *et al.*, 2008 ; Boutchiche & Boutrighe, 2016).**



Figure 8. Les grains du *Pinus halepensis* (Photo personnelle, 2026).

1.4.6. Le système racinaire

Le système racinaire du *Pinus halepensis* est généralement de type pivotant ; toutefois, en fonction des caractéristiques du sol, ce pivot peut être accompagné ou remplacé par un réseau de racines latérales superficielles. Cette organisation permet à la fois une absorption

efficace de l'eau et un bon ancrage de l'arbre, même dans des sols pauvres. La racine principale peut atteindre des horizons profonds, facilitant l'accès aux réserves hydriques, tandis que les racines latérales assurent la stabilité mécanique et l'absorption des minéraux. L'ensemble de ces caractéristiques confère à l'espèce une bonne résistance à la sécheresse ainsi qu'une forte capacitée d'adaptation aux conditions des régions méditerranéennes **(Kadik, 1987 ; Quézel & Médail, 2003).**



Figure 9. Le système racinaire (Photo personnelle, 2026).

1.4.7. Le bois

Le bois résineux présentant une structure hétérogène constituée de bois initial plus clair et de bois final plus dense et plus foncé, avec une différenciation nette entre le cœur brun rougeâtre clair et l'aubier blanc jaunâtre. Il s'agit d'un bois généralement léger, à séchage rapide, dont la densité varie selon les conditions de croissance, se situant approximativement entre 0,35 et 0,86. Sa structure anatomique est marquée par la présence de canaux résinifères bien développés, larges et régulièrement espacés, assurant une sécrétion importante de résine et contribuant ainsi à sa durabilité naturelle face aux agents biologiques et aux contraintes environnementales. Par ailleurs, ce bois présente des cernes de croissance bien visibles, reflétant les variations climatiques des régions méditerranéennes, et offre un compromis intéressant entre légèreté et résistance mécanique. Grâce à ces caractéristiques, il est largement exploité dans la construction légère ainsi que dans l'industrie des matériaux dérivés du bois **(Elaieb *et al*., 2017 ; Lakreb e*t al*., 2022).**



Figure 10. Le bois de *Pinus halepensis* **(Couleurs Bois., 2025)**.

1.4.8. L'importance écologique de *Pinus halepensis*

Pinus halepensis joue un rôle écologique majeur dans la dynamique des écosystèmes méditerranéens. Cette espèce possède une grande capacité d'adaptation aux environnements chauds et secs ainsi qu'aux sols pauvres, rocheux et calcaires. Grâce à sa résistance élevée à la chaleur et à la sécheresse, ainsi qu'à ses cônes sérotineux tolérants aux fortes températures, elle constitue une espèce pionnière importante dans la régénération des forêts après les incendies. Elle participe également à la recolonisation des terres agricoles abandonnées **(Vennetier *et al.*, 2018)**. Dans les régions semi-arides du bassin méditerranéen, *Pinus halepensis* constitue l'une des principales espèces utilisées dans les programmes de restauration écologique et de reboisement. Grâce à sa grande résistance aux conditions climatiques difficiles et aux sols pauvres, cette espèce peut se développer dans des milieux semi-arides. Elle joue également un rôle important dans la protection des sols, le contrôle hydrologique et la recolonisation des terres dégradées ou abandonnées. Considérée comme une espèce pionnière, elle favorise la dynamique de succession écologique dans plusieurs écosystèmes méditerranéens **(Maestre & Cortina, 2004)**.Grâce à son système racinaire profond et largement développé, le pin d'Alep assure une bonne stabilisation des sols, y compris dans les terrains accidentés, et contribue à réduire l'érosion hydrique grâce à son couvert végétal ainsi qu'à la litière qu'il génère **(Benabid, 1994)**.La litière du pin d'Alep joue un rôle important dans l'enrichissement du sol en matière organique, ce qui améliore progressivement sa structure, son aération ainsi que sa capacité de rétention en eau, tout en

favorisant le développement de l'activité biologique. Par ailleurs, cette espèce intervient activement dans le cycle des nutriments, notamment par la décomposition de ses aiguilles, ce qui stimule l'activité des micro-organismes et des champignons du sol et facilite ainsi la minéralisation de la matière organique **(Quézel & Médail, 2003).**

2. La litière

2.1. Définition

La litière forestière correspond à l'ensemble des débris végétaux et organiques tombant au sol et s'accumulant à la surface des écosystèmes forestiers. Elle est constituée principalement d'éléments végétaux tels que les aiguilles, les rameaux, les cônes et les fragments d'écorce issus de la végétation environnante **(Berg & McClaugherty, 2014)**. La litière prend également l'appellation de matière organique fraîche **(Duchaufour, 1991)**. Dans les peuplements de *Pinus halepensis*, la litière est dominée essentiellement par les aiguilles de pin tombées au sol, auxquelles s'ajoutent des cônes, des brindilles et divers résidus organiques **(Prévosto, 2013)**. Cette couche organique joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers en contribuant au recyclage des éléments nutritifs, à la protection du sol contre l'érosion ainsi qu'au maintien de l'humidité du sol. Sous l'action des micro-organismes et des facteurs climatiques, la litière subit progressivement des transformations conduisant à la formation de l'humus **(Duchaufour, 2001).**



Figure 11. La litirère du *Pinus halepensis* (Photo personnelle, 2026).

2.2. Structure de la litière

La structure de la litière est principalement dominée par l'accumulation des aiguilles fines et persistantes qui tombent au sol, accompagnées de cônes, de rameaux et de fragments d'écorce. Les cônes du pin d'Alep, qui restent longtemps fixés sur l'arbre avant leur chute, contribuent progressivement à l'enrichissement de la couche organique superficielle **(Debazac & Tomassone,1965)**. Dans le profil pédologique, la litière correspond aux horizons organiques de surface appelés horizons « O ». Elle se caractérise par une organisation stratifiée issue de l'accumulation progressive des débris végétaux et de leur transformation sous l'action des facteurs biologiques et climatiques. Ce processus conduit à la formation de plusieurs couches superposées qui diffèrent selon leur degré de décomposition et leurs propriétés physiques **(Babel, 1971)**. On distingue généralement trois sous-couches principales dans la litière forestière. La couche OL est composée de débris végétaux frais ou peu décomposés, encore facilement identifiables, tels que les aiguilles et autres fragments végétaux. La couche OF correspond à un stade intermédiaire de décomposition, où la matière organique est partiellement transformée et mélangée à des particules plus fines issues de l'activité biologique du sol. Enfin, la couche OH représente le niveau le plus humifié, constitué d'une matière organique fine fortement décomposée et de microdébris difficilement reconnaissables à l'œil nu **(Gobat et al., 2004)**. Cette organisation est souvent décrite également à travers les horizons L, F et H, respectivement associés à la litière fraîche, en fermentation et à l'humus. Elle traduit l'évolution progressive de la matière organique depuis sa chute au sol jusqu'à sa transformation en humus stable **(Duchaufour, 2001)**.

2.3. La composition de la litière du *Pinus halepensis*

2.3.1. La composition chimique

La litière issue des peuplements de *Pinus halepensis* présente une composition chimique dominée par des constituants structuraux peu dégradables. Elle est principalement constituée de composés lignocellulosiques, notamment la cellulose, les hémicelluloses et la lignine, qui représentent les fractions majeures de la matière organique végétale. La lignine, en particulier, joue un rôle important dans la résistance à la décomposition, ce qui explique la lente évolution de la litière dans les écosystèmes méditerranéens **(Berg & McClaugherty, 2014 ; McClaugherty *et al*., 1985).** Ces composants structuraux, la litière de pin d'Alep contient également des composés solubles et secondaires tels que les sucres solubles, les polyphénols et surtout les composés terpéniques. Ces derniers sont caractéristiques des conifères et peuvent influencer fortement les processus de décomposition en affectant

l'activité des micro-organismes du sol **(Chomel *et al.*, 2016).** La composition chimique de cette litière varie au cours du processus de décomposition. Les études montrent une diminution progressive des composés facilement dégradables et une augmentation relative des fractions plus résistantes, notamment la lignine, ce qui conduit à une matière organique de plus en plus recalcitrante au fil du temps **(McTiernan *et al.*, 2003).**

2.3.2. La composition physique

La litière de *Pinus halepensis* présente une structure hétérogène composée principalement d'aiguilles, mais aussi de cônes, de rameaux, de fragments d'écorce, de bourgeons, de fleurs et de fruits (**Bray & Gorham, 1964 ; Pesson, 1980 ; Boudaoud, 2000**). L'accumulation des aiguilles forme des couches superposées peu compactes qui favorisent l'aération et la rétention de l'humidité du sol (**Gobat *et al.*, 2004 ; Duchaufour, 2001**). Dans le profil pédologique, la litière correspond aux horizons organiques de surface (horizons O) et s'organise en plusieurs couches selon le degré de décomposition de la matière organique : la couche OL (débris frais peu décomposés), la couche OF (matière organique en cours de transformation) et la couche OH (matière fortement humifiée) (**Gobat *et al.*, 2004**). Cette stratification, également décrite par les horizons L, F et H, reflète l'évolution progressive des débris végétaux vers la formation d'un humus stable (**Duchaufour, 2001**).

2.4. Les retombées de la litière

Les retombées de la litière dans les peuplements de *Pinus halepensis* correspondent à l'apport annuel de matière organique morte à la surface du sol, résultant principalement de la chute des feuilles, qu'elles soient caduques ou persistantes. Ce phénomène constitue un processus naturel et cyclique, contribuant de manière importante à l'enrichissement du sol forestier en matière organique **(Toutain *et al.*, 1987).** Dans ces peuplements, les retombées sont dominées par les aiguilles, accompagnées de cônes, de fragments d'écorce et de rameaux. Cette composition reflète la structure du couvert végétal ainsi que les caractéristiques physiologiques de l'espèce, notamment la persistance des aiguilles et leur chute progressive au cours de l'année **(Bray & Gorham,1964).**

La production des retombées présente également une forte variabilité saisonnière. Elle est souvent plus importante durant les périodes chaudes et sèches, où la sénescence foliaire est accélérée, ainsi qu'en automne lors du renouvellement des aiguilles. Cette dynamique saisonnière est fortement contrôlée par les conditions climatiques, notamment les précipitations et la température **(Lopez-López *et al.*, 2013).** La quantité de litière produite

varie selon plusieurs facteurs écologiques, notamment la densité du peuplement, l'âge des arbres et les conditions climatiques. Dans les forêts méditerranéennes, la production annuelle de litière du pin d'Alep est généralement modérée à élever, avec des variations importantes entre les stations en fonction de la disponibilité en eau et du stress hydrique estival **(Lado *et al.*, 2015).**

2.5. Dynamique de la décomposition de la litière

La décomposition de la litière est un processus fondamental du fonctionnement des écosystèmes forestiers, se traduisant par une diminution progressive de la masse des débris végétaux et contribuant à la formation de l'humus (**Chapin *et al.*, 2002 ; Swift *et al.*, 1979**). Chez *Pinus halepensis*, ce processus est généralement lent en raison de la richesse des aiguilles en lignine, en composés phénoliques et en terpènes, qui sont peu biodégradables et peuvent limiter l'activité des organismes décomposeurs (**Chomel *et al.*, 2016**). La décomposition se déroule en trois phases principales : une phase initiale de lessivage rapide des composés solubles, pouvant représenter entre 7 et 30 % de la masse foliaire (**Berg & McClaugherty, 1987 ; Chapin *et al.*, 2000**), une phase intermédiaire de fragmentation et de transformation biologique de la matière organique, puis une phase finale très lente caractérisée par la persistance de composés résistants tels que la lignine et certains constituants microbiens (**Melillo *et al.*, 1989 ; Aber *et al.*, 1990**).

2.6. Les factures influençant la décomposition

2.6.1. Climat

Les conditions climatiques constituent un facteur majeur de contrôle de la décomposition de la litière (**Aerts, 1997**). La température et l'humidité influencent directement l'activité des organismes décomposeurs et les processus de transformation de la matière organique. Dans les écosystèmes méditerranéens, les périodes chaudes et sèches ralentissent généralement l'activité microbienne, tandis que les conditions plus humides favorisent la dégradation de la litière (**Fioretto *et al.*, 2005**). Les précipitations contribuent également au lessivage des composés solubles et stimulent l'activité des bactéries et des champignons responsables de la décomposition (**Chapin *et al.*, 2002**). Ainsi, la température et la disponibilité en eau contrôlent les réactions physiques, chimiques et biologiques impliquées dans la minéralisation de la matière organique (**Yavitt *et al.*, 2004**). Dans les régions méditerranéennes soumises à une sécheresse estivale marquée, la décomposition de la litière de *Pinus halepensis* reste généralement lente, favorisant son accumulation à la surface du sol

(**Berg & McClaugherty, 2014**), alors que l'activité des décomposeurs augmente dans des conditions à la fois chaudes, humides et bien aérées (**Bontti *et al.*, 2009**).

2.6.2. Qualité des aiguilles

La qualité de la litière influence fortement la dynamique de décomposition chez *pinus halepensis*, les caractéristiques chimiques et physiques des aiguilles déterminant en grande partie la vitesse de transformation de la matière organique dans le sol (**Silver & Miya, 2001**). Les aiguilles du pin d'Alep sont riches en composés lignocellulosiques, notamment en lignine, dont la forte résistance à la dégradation ralentit l'activité des microorganismes et prolonge la persistance de la litière (**Berg & McClaugherty, 2014**). Elles contiennent également des composés secondaires, tels que les polyphénols et les terpènes, susceptibles de limiter l'activité des décomposeurs (**Aber *et al.*, 1990**). Au cours du processus de décomposition, les composés les plus facilement biodégradables disparaissent rapidement, tandis que les fractions les plus résistantes demeurent plus longtemps dans le sol (**Swift *et al.*, 1979**).

2.6.3. Organismes du sol

Les organismes du sol ouccupent une fonction cruciale dans les processus de décomposition de la litière sous les peuplements de *Pinus halepensis*. Le macrofaune du sol participe à l'aération du sol et favorise l'exposition de nouvelles surfaces végétales à l'action des microorganismes. La mésofaune intervient principalement dans la fragmentation des débris végétaux et facilite la prolifération ainsi que le transport des microorganismes dans le sol **(Brown *et al.*, 2000)**.

Les bactéries et les champignons représentent les principaux organismes responsables de la dégradation chimique de la matière organique. Ils constituent la plus grande partie de la biomasse des décomposeurs et assurent une part importante de la respiration biologique du sol **(Chapin *et al.*, 2000).**

2.7. Rôle écologique de la litière

La litière joue un rôle écologique fondamental dans les écosystèmes forestiers en contribuant à la fertilité du sol par l'apport continu de matière organique d'origine aérienne (feuilles, fruits et débris végétaux) et souterraine (racines fines et radicelles), cette dernière pouvant représenter une part importante des entrées organiques du sol **(Gobat *et al.*, 2003)**. Elle protège également le sol contre l'érosion en amortissant l'impact des gouttes de pluie, en

réduisant le ruissellement et en limitant la perte des particules fines, particulièrement dans les milieux méditerranéens et les zones à relief accidenté **(Cornwell *et al.*, 2008 ; Giweta, 2020)**.

En outre, la litière favorise la conservation de l'humidité du sol en diminuant l'évaporation et en maintenant des conditions hydriques plus stables, ce qui soutient l'activité biologique et la croissance des végétaux **(Cornwell *et al.*, 2008)**. Enfin, elle constitue un habitat essentiel pour une grande diversité d'organismes du sol, notamment les bactéries, les champignons et les invertébrés, auxquels elle fournit nourriture, humidité et protection, contribuant ainsi à la décomposition de la matière organique et au recyclage des nutriments **(Swift *et al.*, 1979 ; Giweta, 2020)**. Sa structure offre également une surface isolante et protectrice qui améliore les conditions de vie de certains animaux en réduisant les contraintes physiques et les risques de lésions cutanées **(ITAVI, 1997)**.

Chapitre 2 :
Matériel et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Description de la station d'étude

La wilaya de Tébessa est située au nord-est de l'Algérie, à la jonction des reliefs de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien, constituant ainsi une zone de transition vers les régions désertiques. Elle couvre une superficie d'environ 13 878 km² et appartient à la vaste région steppique algérienne.

Elle est délimitée au nord par la wilaya de Souk Ahras, à l'ouest par les wilayas de Oum El Bouaghi et Khenchela, au sud par la wilaya de El Oued, et à l'est par la frontière tunisienne, qu'elle longe sur près de 300 km **(Figure 12).**

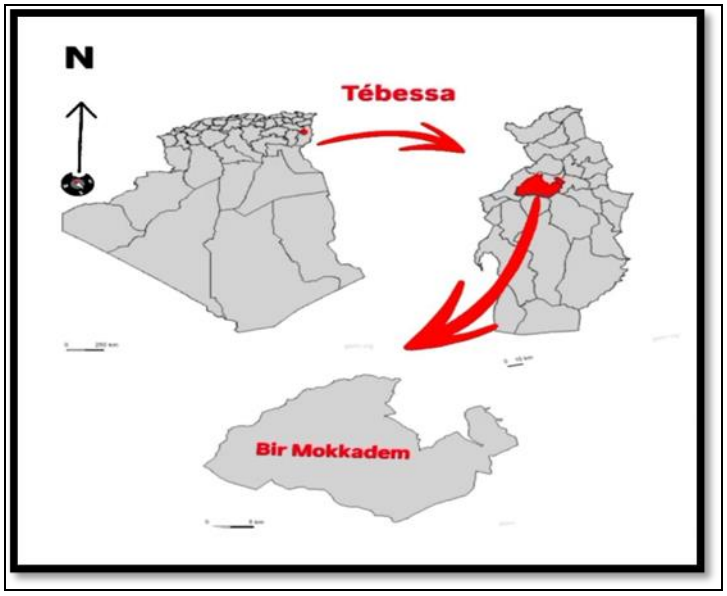


Figure 12. Carte géographique de la région de Tébessa (commune de Bir Mokkadem) **(GADM., 2018).**

1.2. Station de *Berarcha-Alouana*

La forêt de Braracha-Alaouna, située dans la daïra de Bir Mokadem au sein de la wilaya de Tébessa, constitue l'un des principaux massifs forestiers de la région. Elle est délimitée au nord par la commune d'El Hammamet, au sud par les plaines de Chéria, à l'est par la région de Tébessa et à l'ouest par la commune de Guorriguer. Ce massif forestier s'étend sur une superficie d'environ 1 631 hectares.

La forêt se situe à près de 25 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya et présente une altitude moyenne avoisinant 1 160 m. Le substrat géologique y est principalement constitué de formations calcaires, influençant fortement les caractéristiques pédologiques et la répartition de la végétation. La formation forestière est caractérisée par des arbres dont la hauteur varie généralement entre 4 et 8 m. Le couvert végétal est dominé essentiellement par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), accompagné d'espèces caractéristiques des zones semi-arides méditerranéennes telles que le romarin (*Rosmarinus officinalis* L.), l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus* L.). (Conservation des forêts Tébessa).



A. Forêt de Berarcha-Alouana (Photo personnelle, 2026)



B. Station de Berarcha-Alouana google earth

Figure 13. Station d'étude Berarcha-Alouana (Tébessa).

1.3. Climat

L'étude des composantes climatiques de la région de Tébessa a été effectuée à partir des données météorologiques fournies par le centre météorologique de Tébessa. L'analyse climatique porte sur une période de 18 ans (1980–2016) et concerne principalement les variations des températures et des précipitations.

Le diagramme ombrothermique **(Figure14)** met en évidence les caractéristiques climatiques de la région de Tébessa en distinguant clairement une période humide et une période sèche. La période humide s'étale sur environ huit mois et se répartit en deux séquences : de janvier à mai puis d'octobre à décembre, durant lesquelles les précipitations demeurent supérieures aux températures, traduisant des conditions climatiques relativement favorables à l'humidité.

À l'inverse, la période sèche s'étend de mai à octobre et se caractérise par une nette diminution des précipitations accompagnée d'une augmentation des températures, révélant ainsi l'installation d'un déficit hydrique marqué durant la saison estivale.

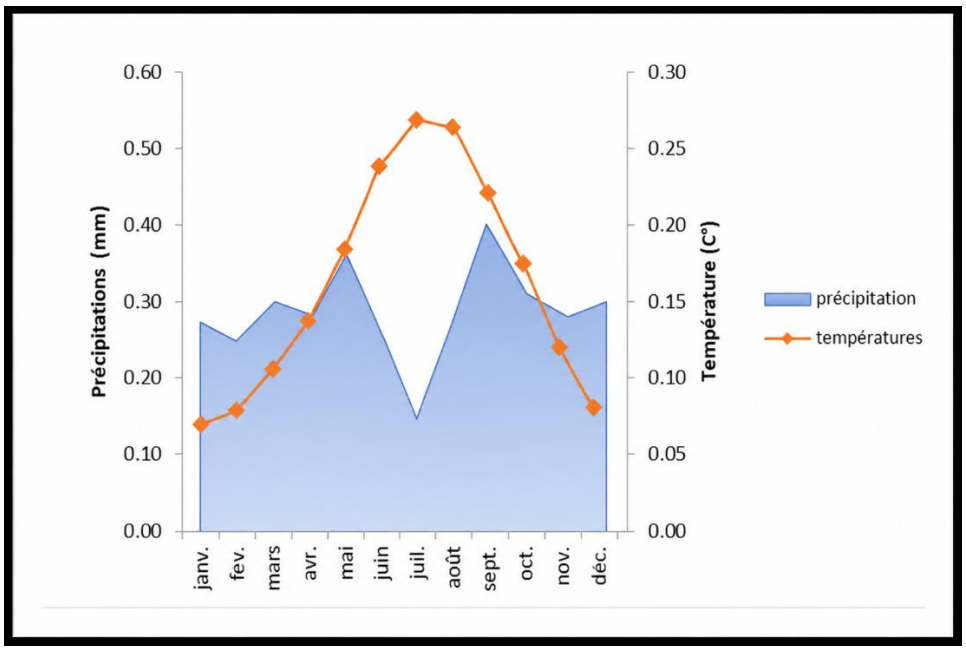


Figure 14. Diagramme ombrothérmique de la région de Tébessa de période 1980-2016

2. Etude de la litière

2.1. Dispositif de ramassage de la litière

Les sorties de terrain ont été réalisées durant une période de sept mois, s'étendant d'octobre 2025 à mai 2026, à raison d'une sortie mensuelle, soit un total de huit campagnes d'échantillonnage.

Pour la collecte de la litière, un dispositif expérimental en blocs aléatoires a été adopté. Celui-ci consistait à délimiter trois parcelles au sein d'une zone homogène désignée comme station d'étude **(Figure 15).** La station d'échantillonnage couvre une superficie totale de 3 m²,

subdivisée en trois parcelles élémentaires de 1 m² chacune, espacées de 60 cm. La délimitation des parcelles a été matérialisée à l'aide de gros blocs afin d'assurer une séparation nette entre les différentes unités d'échantillonnage **(Figure 15).**



Figure 15. Dispositif de terrain pour la collecte de la litière (photos personnelles, 2025).

2.2. Récolte de la litière

Deux périodes de ramassage de la litière ont été considérées au cours de cette étude :

- Le ramassage de la litière présente sur place au début de l'expérimentation, correspondant aux anciennes retombées accumulées ;
- Le ramassage des nouvelles retombées à la fin de chaque mois, afin d'évaluer le taux d'accumulation mensuelle de la litière.

2.3. Méthode d'évaluation de la litière

- **Séchage de la litière :** Les échantillons de litière ont d'abord été séchés à l'air libre, à température ambiante, pendant une durée d'une semaine afin de stabiliser leur teneur en humidité.
- **Évaluation quantitative et qualitative :** Après séchage, la litière a été quantifiée par pesage. Une analyse qualitative a ensuite été réalisée par tri manuel des différents

constituants, répartis en cinq fractions : aiguilles, rameaux, cônes, fraction « divers » et fraction des éléments non reconnaissables (FNR). La catégorie « divers » regroupe notamment les écailles de bourgeons, les fleurs, les fragments de branches, les morceaux d'écorce ainsi que divers débris végétaux, y compris ceux provenant d'espèces autres que l'essence principale. Les résultats de chaque fraction ont été exprimés en grammes par mètre carré (g/m^2) après séchage à l'air libre.

- **Analyses physico-chimiques :** Une partie des échantillons de litière a été séchée à l'étuve à 75 °C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les échantillons ont ensuite été broyés puis tamisés afin de réaliser l'étude de certains paramètres physico-chimiques.

		
A. Aiguilles de pin d'Alep.	B. Cônes males de pin d'Alep.	C. Cônes femelles de pin d'Alep.
		
D. Fruits de pin d'Alep.	E. Fractions non	F. Divers.

	reconnaissables.	

Figure 16. Tri qualitatif des fractions de la litière (photos personnelles, 2025).

2.4. Analyses chimiques de la litière

Les analyses physico-chimiques suivantes ont été effectuées, avec trois répétitions pour chaque paramètre mesuré.

2.4.1.Le pH

Le pH a été déterminé par l'utilisation du pH-mètre dans une suspension de poudre végétale dans l'eau distillée avec un rapport sol/eau=1/10.

2.4.2.Conductivité électrique de la litière

La conductivité électrique (CE) de la litière a été déterminée à partir d'une suspension litière-eau préparée selon un rapport de 1 :5. Pour cela, 10 g de litière ont été mélangés à 50 mL d'eau distillée. Après agitation, la suspension a été laissée au repos pendant environ deux heures afin de favoriser la dissolution des sels solubles. La conductivité électrique de la phase surnageante a ensuite été mesurée à l'aide d'un conductimètre selon la méthode décrite par Mathieu et (**Pieltain, 2003)**.

2.4.3. Détermination de l'humidité de la litière

a. Principe

L'humidité de la litière correspond à la quantité d'eau contenue dans un échantillon. Elle est déterminée par la méthode gravimétrique, basée sur la mesure de la perte de masse après séchage à l'étuve.

b. Mode opératoire

Une masse de litière fraîche (P1) est prélevée puis placée dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures. Après séchage, l'échantillon est pesé de nouveau afin d'obtenir la masse sèche (P2). La différence entre les deux masses représente la quantité d'eau évaporée contenue dans la litière.

c. Calcul

Le taux d'humidité de la litière est calculé selon la formule suivante :

Humidité (%) = (P1-P2) / P1×100

Avec :

- P1 : masse de la litière fraîche (g) ;
- P2 : masse de la litière sèche après étuvage (g).

2.3.5. La matière organique de la litière

a. Principe

La teneur en matière organique est obtenue par calcul de la fraction perdue par calcination ou perte au feu **(Aubert ,1978)**.

b. Protocole

Selon **(Moreno *et al.*, 2001)**, cette méthode est utilisée pour faire la détermination de la matière organique par incinération (perte au feu ou perte par calcination). La perte au feu permet de mesurer directement la matière organique dans le sol. On place les échantillons pendant une nuit (16 heures) dans un four à moufle à 375 °C. La perte de poids, après calcination, nous donne la matière organique.

c. Calcul

Les résultats de l'échantillon sont calculés à partir de l'équation suivante :

M.O % = ((Poids sol sec (g) – Poids sol incinéré (g)) / Poids sol sec (g)) * 100

3. Traitement statistique

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

Chapitre 3 : Résultats

1. Etude qualitative de la litière

1.1. La litière ancienne

La figure 17 illustre les variations de la retombée de la litière ancienne dans la forêt de Berarcha-Alouana. Les résultats obtenus montrent que la fraction « divers » présente les valeurs les plus élevées avec une moyenne de 2946,67 g/m², suivie par la fraction des aiguilles qui atteint 1777,33 g/m².

En considérant uniquement les organes végétaux reconnaissables et non dégradés, tout en excluant les fractions « divers » et les FNR, les aiguilles apparaissent comme l'élément dominant de la litière ancienne avec une moyenne de 1777,33 g/m². Elles sont suivies par les cônes avec 913,33 g/m², alors que les rameaux enregistrent les valeurs les plus faibles, soit 366,67 g/m².

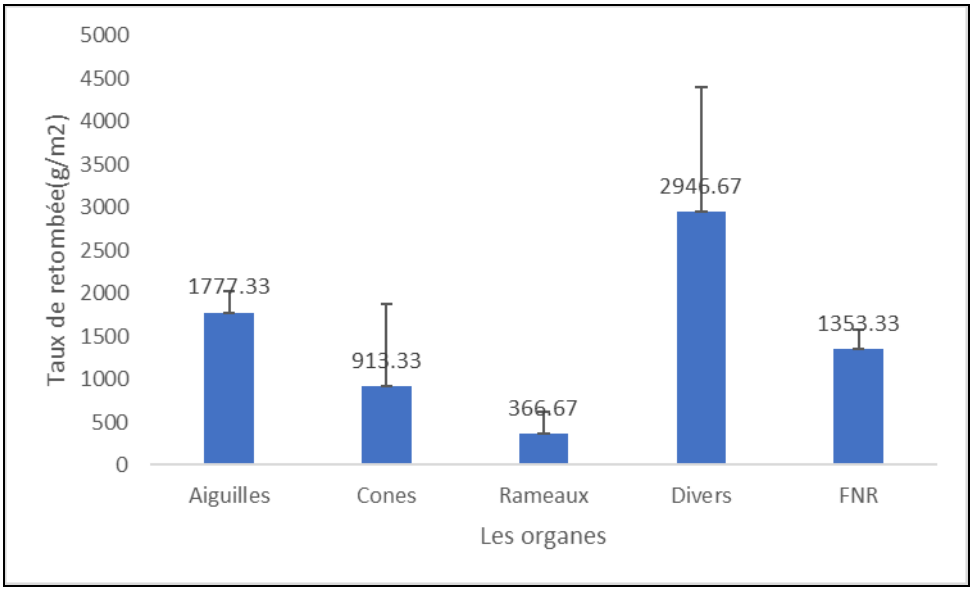


Figure 17. Valeurs moyennes de la retombée qualitative de la litière ancienne.

1.2. La litière mensuelle

La figure 18 met en évidence les variations qualitatives de la retombée de la litière au cours de la période d'étude. Les résultats montrent que les feuilles (aiguilles) constituent la fraction la plus abondante, avec des valeurs maximales enregistrées durant les mois d'avril et de novembre, atteignant respectivement 300 g/m² et 256,67 g/m².

Les cônes ont présenté leurs valeurs les plus élevées au mois de janvier avec 280 g/m², suivis du mois de novembre avec 173,33 g/m². Quant aux rameaux, les retombées maximales ont été observées durant les mois de janvier et de décembre, avec des valeurs respectives de 206,67 g/m² et 200,67 g/m².

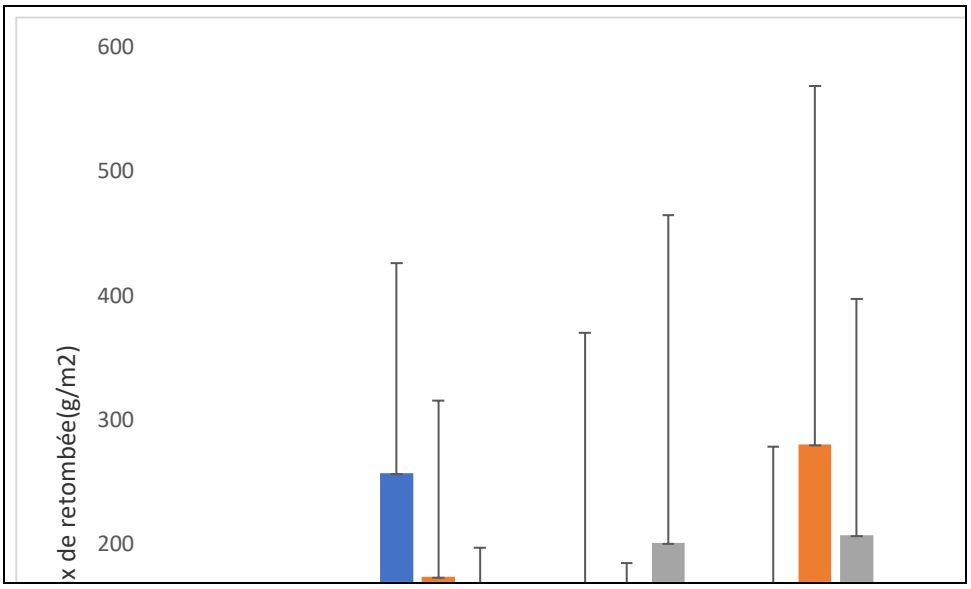


Figure 18. Valeurs moyennes de la retombée qualitative de la litière

La figure met en évidence les variations qualitatives de la retombée de la litière au cours de la période d'étude. Les résultats montrent que les feuilles (aiguilles) constituent la fraction la plus abondante, avec des valeurs maximales enregistrées durant les mois d'avril et de novembre, atteignant respectivement 300 g/m² et 256,67 g/m².

Les résultats de l'ANOVA révèlent un effet significatif du mois sur la retombée de la litière ($p < 0,05$). Le test de Tukey a permis d'identifier trois groupes homogènes de mois. En revanche, ni le facteur « organe » ni l'interaction « mois × organe » n'ont présenté d'effet significatif ($p > 0,05$) (Annexe01).

Les cônes ont présenté leurs valeurs les plus élevées au mois de janvier avec 280 g/m², suivis du mois de novembre avec 173,33 g/m². Quant aux rameaux, les retombées maximales ont été observées durant les mois de janvier et de décembre, avec des valeurs respectives de 206,67 g/m² et 200,67 g/m².

2. Etude quantitative de la litière

La figure 19 présente les variations quantitatives mensuelles de la retombée de la litière. Les résultats obtenus montrent que le mois de janvier a enregistré la valeur la plus élevée avec 616,67 g/m², suivi des mois de novembre et décembre avec respectivement 536,66 g/m² et 500,67 g/m². En revanche, le mois d'octobre n'a enregistré aucune chute de litière.

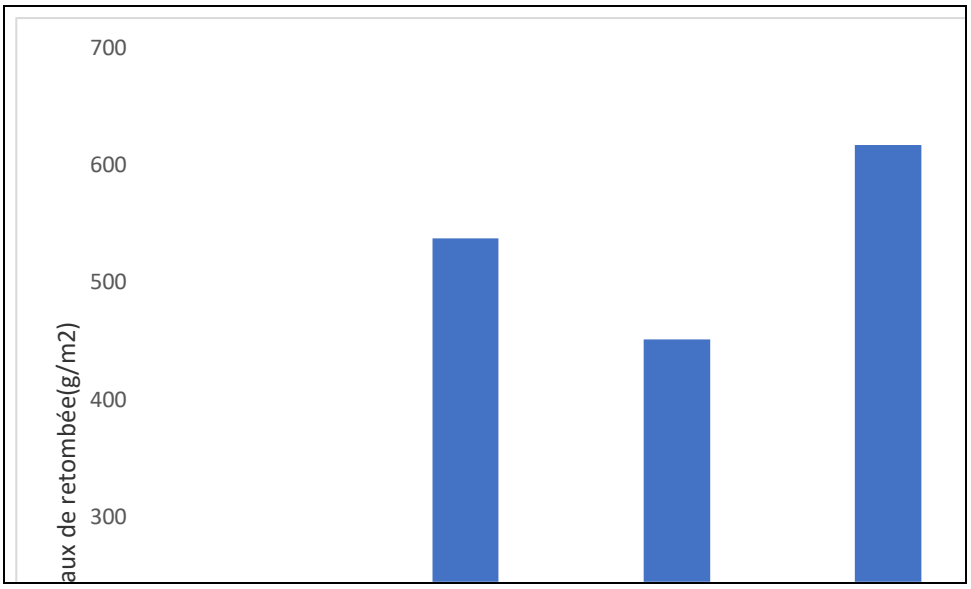


Figure 19. Valeurs moyennes de la retombée quantitative de la litere.

3. Analyses physicochimiques de la litière

Paramètre étudié	Moyenne	Ecartype
Matière organique (%)	90,8	1,2489996
Ph	5,91	0,0264575
Conductivité électrique(µs/cm)	429	100,13491
Humidité (%)	8,45	0,1385641

Tableaux 02 : Analyses physicochimiques de la litière

D'après le tableau 02, la litière de *Pinus halepensis* de la forêt de Braracha-Alouana se caractérise par une teneur très élevée en matière organique, atteignant 90,8 %, ce qui traduit une importante accumulation de résidus végétaux. Le pH enregistré est acide (5,9), indiquant un milieu favorable à l'acidification du sol sous couvert de pin d'Alep. La conductivité électrique mesurée (429 µS/cm) révèle que la litière est non salée. Par ailleurs, le faible taux

d'humidité observé (8,45 %) pourrait être lié aux conditions climatiques semi-arides de la région ainsi qu'à la faible capacité de rétention en eau de la litière superficielle.

Chapitre 4 :

Discussion

1. Étude qualitative de la litière

1.1. La litière ancienne

Les résultats obtenus montrent que la fraction diverse constitue la composante dominante de la litière ancienne. Ce résultat est cohérent avec les études réalisées dans les forêts méditerranéennes de *Pinus halepensis*, où la litière âgée est souvent dominée par des matériaux fortement fragmentés et en stade avancé de décomposition, résultant de l'activité microbienne et faunique prolongée **(Bueis *et al*., 2018)**.

Selon **Couteaux *et al*. (1995)**, les stades tardifs de décomposition sont caractérisés par une accumulation progressive de composés récalcitrants, notamment la lignine, entraînant une diminution importante de la dégradabilité de la matière organique. À ce stade, la disparition des composés facilement décomposables favorise la fragmentation du matériel végétal et conduit à l'apparition de fractions non identifiables regroupées sous la catégorie « divers », ce qui explique leur dominance dans notre site d'étude. La dominance des aiguilles dans la litière est un phénomène largement documenté. (**Navarro *et al*., 2013)** ainsi que **(Bueis *et al*., 2018)** ont montré que les aiguilles représentent la principale fraction de la litière annuelle en raison de leur production continue et de leur décomposition lente liée à leur forte teneur en lignine et composés phénoliques. Les cônes présentent des valeurs intermédiaires. Cette observation est également rapportée dans les travaux de **(Harmon *et al*., 1986)**, qui montrent que les cônes se décomposent plus lentement que les feuilles au début du processus, mais peuvent persister longtemps dans le sol forestier en raison de leur structure fortement lignifiée et compacte. Les rameaux enregistrent les valeurs les plus faibles, ce qui peut être attribué à leur contribution réduite à la production totale de litière ainsi qu'à une décomposition relativement plus rapide que celle des organes reproducteurs. La dynamique de la litière est fortement influencée par les conditions climatiques (sécheresse estivale et températures élevées) **(Chomel *et al*., 2013)**.

1.2. La litière mensuelle

Les résultats obtenus mettent en évidence une variation mensuelle marquée de la retombée de la litière dans la forêt de Berarcha-Alouana. Les quantités les plus élevées des aiguilles ont été enregistrées en avril et en novembre. Le pic printanier est principalement associé au renouvellement physiologique du feuillage, tandis que l'augmentation automnale résulte des effets cumulés du stress hydrique estival, des vents et des variations de température favorisant la chute des aiguilles âgées **(Bueis *et al*., 2018 ; Chomel *et al*., 2014)**.

La prédominance des aiguilles dans la litière s'explique par leur renouvellement continu et leur forte sensibilité aux conditions environnementales. Cette observation concorde avec les résultats rapportés dans plusieurs forêts méditerranéennes, où les aiguilles constituent la principale fraction de la litière annuelle **(Theodosiou *et al.*, 2021)**. Les fortes retombées observées au printemps et en automne correspondent ainsi aux périodes de transition climatique les plus marquées des régions méditerranéennes semi-arides.

Les cônes ont enregistré leurs valeurs les plus élevées en janvier et en novembre. Cette augmentation hivernale et automnale peut être liée au cycle biologique de *Pinus halepensis* ainsi qu'aux conditions météorologiques, notamment les vents forts et les précipitations qui favorisent la chute des cônes matures. Les cônes possèdent une structure ligneuse résistante et persistent longtemps sur les arbres avant leur détachement, ce qui explique leur accumulation importante pendant certaines périodes de l'année **(Qasemian *et al.*, 2012)**.

Concernant les rameaux, les retombées les plus importantes ont été enregistrées en décembre et en janvier. Cette augmentation est principalement liée à l'action des vents hivernaux et aux perturbations climatiques qui favorisent la cassure et la chute des petites branches. Bien que les rameaux soient généralement moins abondants que les aiguilles dans la litière, leur contribution tend à s'accroître lors des épisodes météorologiques défavorables et des situations de stress environnemental. Des observations similaires ont été rapportées dans plusieurs écosystèmes forestiers méditerranéens, où les vents hivernaux constituent un facteur majeur de détachement des organes ligneux **(Sardans & Peñuelas, 2005)**.

2. Étude quantitative de la litière

Les résultats obtenus montrent une forte variation saisonnière de la retombée de la litière dans la forêt de Berarcha-Alouana, avec un maximum enregistré en janvier (616,67 g/m²), suivi des mois de novembre et décembre. Cette production élevée durant la période automno-hivernale est principalement liée aux conditions climatiques méditerranéennes, notamment les précipitations, les vents et les basses températures, qui favorisent la chute des aiguilles, des cônes et des rameaux.

Chez *Pinus halepensis*, cette dynamique est également liée au renouvellement naturel des organes végétatifs après la sécheresse estivale. L'absence de retombée observée en

octobre pourrait correspondre à une période de transition caractérisée par une faible activité de chute des organes végétaux.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **(Bueis *et al.*, 2018)** et confirment que les variations saisonnières de la température, de l'humidité et des précipitations constituent les principaux facteurs contrôlant la production de litière dans les écosystèmes forestiers méditerranéens **(Escudero & del Arco, 1987 ; Berg & McClaugherty, 2014 ; Zouidi *et al.*, 2020)**.

Dans l'ensemble, la dynamique de la litière observée dans notre station reflète l'influence des conditions climatiques saisonnières et souligne l'importance de la litière dans le recyclage de la matière organique et le maintien de la fertilité des sols **(Sardans & Peñuelas, 2005 ; Chomel *et al.*, 2014 ; Theodosiou *et al.*, 2021)**.

3. Analyses physicochimiques de la litière

- **PH**

Le pH acide enregistré dans la litière de la forêt de Braracha-Alouana (5,9) peut être attribué à la décomposition des aiguilles de pin, lesquelles libèrent des composés organiques acides contribuant à l'acidification du milieu. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Roula et **(Younsi, 2025)**, qui ont enregistré un pH de 5,71 dans la litière d'une forêt de pin d'Alep dans la région de Jijel. De même, **(Panca *et al.*, 2024)** ont signalé une valeur de pH de 6,20 sous Pinus halepensis dans une région du Pérou. Par ailleurs, **(Abdlkarem, 2025)** a rapporté un pH de 5,88 dans une forêt de pin d'Alep en Libye.

Ces similitudes indiquent que la litière de Pinus halepensis présente généralement un caractère légèrement acide, malgré les différences climatiques et géographiques entre les régions étudiées.

- **La conductivité electrique**

La conductivité électrique mesurée dans la litière (429 µS/cm) indique un milieu faiblement salé. Cette faible salinité peut être attribuée à l'absence d'une accumulation importante des sels solubles ainsi qu'au caractère essentiellement organique de la litière. Plusieurs études réalisées dans les écosystèmes forestiers méditerranéens ont montré que les

sols et les litières sous *Pinus halepensis* présentent généralement des valeurs faibles à modérées de conductivité électrique **(Maestre et Cortina, 2004 ; García *et al.*, 2002)**.

Ces résultats concordent également avec ceux de Roula et **(Younsi, 2025)**, qui ont enregistré des valeurs de conductivité électrique comprises entre 0,42 et 0,65 mS/cm dans une forêt de pin d'Alep de la région de Jijel. De même, **(Abdlkarem, 2025)** a rapporté une valeur voisine de 0,6 mS/cm dans les forêts de Jabal El Akhdar en Libye. Ces faibles valeurs de conductivité électrique traduisent une faible concentration en sels solubles dans la litière, ce qui favorise le maintien d'un environnement propice à l'activité biologique et aux processus de décomposition de la matière organique.

- **L'humidité**

Le faible taux d'humidité observé (8,45 %) est probablement dû aux conditions climatiques semi-arides de la région de Tébessa, caractérisées par une faible pluviométrie et une forte évaporation. La structure superficielle et peu compacte de la litière favorise également une perte rapide de l'eau. Selon **(Quero *et al.*, 2019)**, *Pinus halepensis* est une espèce bien adaptée au stress hydrique et aux conditions sèches des régions méditerranéennes.

- **La matière organique**

La teneur élevée en matière organique enregistrée dans la litière de *Pinus halepensis* de la forêt de Braracha-Alouana (90,8 %) témoigne d'une accumulation importante de résidus végétaux, notamment les aiguilles, rameaux et fragments ligneux produits par cette espèce. Cette richesse organique s'explique par la production continue de litière et par la décomposition relativement lente des aiguilles de pin, caractérisées par une forte teneur en composés lignifiés et en substances phénoliques. Plusieurs études menées dans les écosystèmes méditerranéens ont montré que les peuplements de pin d'Alep favorisent l'accumulation de matière organique et de carbone dans les horizons superficiels du sol **(Maestre et Cortina, 2004 ; Gómez *et al.*, 2023)**.

Ces résultats concordent également avec ceux rapportés par **(Abdlkarem, 2025)**, qui a enregistré une teneur en matière organique de 80,64 % dans la litière d'une forêt de pin d'Alep de la région de Jabal El Akhdar en Libye. En Espagne, **(Bueis *et al.*, 2018)** ont montré que les plantations de Pinus halepensis présentent une accumulation importante de litière et une forte concentration en carbone organique, jouant ainsi un rôle majeur dans le recyclage

des nutriments et le maintien de la fertilité des sols forestiers. Plus récemment, **(Lull *et al.*, 2024)** ont confirmé que les forêts de pin d'Alep en région méditerranéenne contribuent significativement au stockage du carbone organique et à l'activité microbienne du sol grâce aux apports continus de matière organique provenant de la litière.

Conclusion

L'étude qualitative de la litière dans la forêt de Berarcha-Alouana met en évidence une accumulation importante de matière organique, dominée principalement par les aiguilles de *Pinus halepensis* et la fraction « divers », particulièrement dans la litière ancienne. Cette prédominance témoigne d'un stade avancé de décomposition des résidus végétaux sous l'action combinée des microorganismes, de la faune du sol et des facteurs climatiques, favorisant ainsi la formation d'un humus contribuant à l'amélioration de la fertilité des sols.

Les aiguilles constituent l'élément le plus abondant de la litière en raison de leur production continue et de leur décomposition relativement lente, liée à leur richesse en lignine et en composés phénoliques. Les cônes et les rameaux sont présents en proportions plus faibles, mais leur structure ligneuse leur confère une plus grande résistance à la dégradation, ce qui favorise leur persistance dans la litière.

L'étude met également en évidence une variabilité temporelle de la retombée des différents organes végétaux. Les aiguilles présentent des pics de chute principalement au printemps et en automne, tandis que les cônes et les rameaux enregistrent des retombées plus importantes durant la période hivernale, sous l'effet des vents et des perturbations climatiques.

Les résultats quantitatifs montrent par ailleurs que la production mensuelle de litière varie fortement selon les saisons, avec des maximas observés en automne et en hiver, notamment en novembre, décembre et janvier. Cette dynamique est étroitement liée aux conditions climatiques méditerranéennes et au cycle biologique de *Pinus halepensis*, qui influencent la chute des différents organes végétaux.

Les analyses physicochimiques de la litière révèlent un milieu légèrement acide, en raison de l'acidité des aiguilles de *Pinus halepensis*, non salé, riche en matière organique et caractérisé par une faible humidité. Ces propriétés, typiques des peuplements méditerranéens semi-arides, résultent de l'accumulation des résidus végétaux et des conditions climatiques sèches, contribuant ainsi au maintien de la fertilité du sol.

Cette étude pourrait être approfondie par un suivi pluriannuel de la production de litière afin d'évaluer l'effet des variations climatiques sur sa dynamique. Il serait également intéressant d'étudier la décomposition de la litière et son rôle dans le recyclage des éléments nutritifs ainsi que son influence sur les propriétés physicochimiques et biologiques du sol.

Enfin, des études comparatives avec d'autres essences forestières permettraient de mieux comprendre la contribution de *Pinus halepensis* au maintien de la fertilité des sols et au fonctionnement des écosystèmes forestiers méditerranéens.

Références bibliographiques

- **Abdlkarem, F. B. (2025).** Effect of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) leaf litter decomposition on mass loss, nitrogen concentration changes, and soil properties in the Al Jabal Al Akhdar Region, Libya. *Bani Waleed University Journal of Humanities and Applied Sciences*, *10*(4), 187–200.
- **Aber, J. D., Melillo, J. M., & McClaugherty, C. A. (1990).** Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany*, *68*(10), 2201-2208.
- **Aber, J. D., Melillo, J. M., & McClaugherty, C. A. (1990).** Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany*, *68*(10), 2201-2208.
- **Aerts, R. (1997).** Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 439-449. https://doi.org/10.2307/3546886
- **Alsanousi, A. A., Abdul-Hamid, H., Mohamed, J., & Masoud, M. (2025).** *Pinus halepensis* Mill. in the Mediterranean region: a review of ecological significance, growth patterns, and soil interactions. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *18*(1), 30.
- **Babel, U. (1971).** Gliederung und beschreibung des humusprofils in mittelfuropäischen wäldern. *Geoderma*, *5*(4), 297-324.
- **Barbéro, M., Loisel, R., Quézel, P., Richardson, D. M., & Romane, F. (1998).** Pines of the Mediterranean basin. *Ecology and biogeography of Pinus*, 153-170.
- **Benabid, A. (1994).** Biogéographie des écosystèmes forestiers du Maroc. Ibis Press.
- **Bentouati, A. (2006).** *Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (Pinus halepensis M.) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela-Aurès)* (Doctoral dissertation, Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences).
- **Bentouati, A., Oudjehih, B., & Alatou, D. (2005).** Croissance en hauteur dominante et classes de ferilite du pin d'alep (*Pinus halepensis* mill.) dans le massif de ouled-yakoub et des benioudjana (khenchela–aures). *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 57-62. http://revue.umc.edu.dz/index.php/c/article/view/

- **Berg, B., & McClaugherty, C. (2008).** *Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- **Berg, B., & McClaugherty, C. (2014).** Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration (3rd ed.). Berlin, Germany: Springer.
- **Berg, B., & McClaugherty, C. A. (1987).** Holocellulose, lignin and nitrogen levels as rate-regulating factors in late stages of forest litter decomposition. Pedobiologia, 30, 101–112.
- **Bernard, P. (2013).** Le pin d'Alep en France. Sylvie Blanchard, 159 p.
- **Bontti, E. E., Decant, J. P., Munson, S. M., Gathany, M. A., Przeszlowska, A., Haddix, M. L., ... & Harmon, M. E. (2009).** Litter decomposition in grasslands of central North America (US Great Plains). *Global Change Biology*, *15*(5), 1356-1363.
- **Boudaoud, S. (2000).** Contribution à l'étude de la variation saisonnière de la quantité de la litière dans trois groupements forestiers dans la région d'El Kala (cas du chêne-liège, pin maritime et aulne glutineux).
- **Boutchiche, F., & Boutrigue, S. (2016).** Caractérisation morpho métrique de la chenille processionnaire (Thaumetopoea pityocampa) et de son hôte au niveau de la wilaya de Tlemcen. *Mémoire de fin d'étude en sciences biologiques. Université de Tlemcen 79p*.
- **Bray, J. R., & Gorham, E. (1964).** Litter production in forests of the world. In *Advances in ecological research* (Vol. 2, pp. 101-157). Academic Press.
- **Brown, G. G., Barois, I., & Lavelle, P. (2000).** Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activityin the drilosphere and the role of interactionswith other edaphic functional domains. *European journal of soil biology*, *36*(3-4), 177-198.
- **Bueis, T., Bravo, F., Pando, V., & Turrión, M. B. (2018).** Local basal area affects needle litterfall, nutrient concentration, and nutrient release during decomposition in Pinus halepensis Mill. plantations in Spain. Annals of Forest Science, 75(21). https://doi.org/10.1007/s13595-018-0699-
- **Chapin III, F. S., Matson, P. A., & Mooney, H. A. (2002).** *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York, NY: Springer New York.
- **Chapin Iii, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., ... & Díaz, S. (2000).** Consequences of changing biodiversity. *Nature*, *405*(6783), 234-242.

- **Chomel, M., Fernandez, C., Bousquet-Mélou, A., Gers, C., Monnier, Y., Santonja, M., Gauquelin, T., Gros, R., Lecareux, C., & Baldy, V. (2014).** Secondary metabolites of *Pinus halepensis* alter decomposer organisms and litter decomposition during afforestation of abandoned agricultural zones. Journal of Ecology, 102(2), 411–424. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12193
- **Chomel, M., Fernandez, C., Bousquet-Mélou, A., Gers, C., Monnier, Y., Santonja, M., Gauquelin, T., Gros, R., & Baldy, V. (2016).** Secondary metabolites of *Pinus halepensis* alter decomposer organisms and litter decomposition during afforestation of abandoned agricultural zones. Journal of Ecology, 104(2), 411–424. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12505
- **Cornwell, W. K., Cornelissen, J. H., Amatangelo, K., Dorrepaal, E., Eviner, V. T., Godoy, O., ... & Westoby, M. (2008).** Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology letters*, *11*(10), 1065-1071. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x
- **Couˆteaux, M. M., Bottner, P., & Berg, B. (1995).** Litter decomposition, climate and liter quality. *Trends in ecology & evolution*, *10*(2), 63-66.
- **Couleurs Bois. (2025, 30 décembre).** Pin d'Alep [Photographie]. Couleurs Bois. https://www.couleursbois.com/techniques/les-bois/2875-pin-d%E2%80%99alep
- **Debazac, E. F., & Tomassone, R. (1965).** Contribution à une étude comparée des pins méditerranéens de la section *halepensis*. In *Annales des Sciences Forestières* (Vol. 22, No. 2, pp. 213-256). EDP Sciences.
- **Duchaufour, P. (1991).** Pédologie : sol, végétation, environnement (3e éd.). Paris, France: Masson. 189 p.
- **Duchaufour, P. (2001).** Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement (6e éd.). Paris, France: Dunod.
- Elaieb, M. T. E., Shel, F., Elouellani, S., Janah, T., Rahouti, M., Thévenon, M. F., & Candelier, K. (2017). Propriétés physiques, mécaniques et de durabilité naturelle du bois de plantation de *Pinus halepensis* Mill. dans le bassin méditerranéen. Bois & Forêts des Tropiques, 331(331), 19-31.
- https://doi.org/10.19182/bft2017.331.a31323
- **Escudero, A., & del Arco, J. M. (1987).** Litterfall and nutrient cycling in Mediterranean pine forests. Vegetatio, 71(2–3), 113–121.
- **Fioretto, A., Di Nardo, C., Papa, S., & Fuggi, A. (2005).** Lignin and cellulose degradation and nitrogen dynamics during decomposition of three leaf litter species in

a Mediterranean ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(6), 1083-1091. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.007

- **Gallardo, A., Rodríguez-Saucedo, J. J., Covelo, F., & Fernández-Alés, R. (2000).** Soil nitrogen heterogeneity in a Dehesa ecosystem. *Plant and Soil*, *222*(1), 71-82.

- **García, C., Hernández, T., Roldán, A., Martín, A., & Castillo, V. (2002).** Organic amendment and mycorrhizal inoculation as factors to recover soil microbiological functionality in semi-arid degraded soils. *Applied Soil Ecology*, *22*(2), 107–117.

- **Ghedabnia, K., Hioun, S., Boudiba, S., Benslama, M., Boudiba, L., & Tamfu, A. N. (2024).** *Pinus halepensis Mill. litterfall production and decomposition in semiarid and sub-humid climates in Northeast Algeria*. African Journal of Biological Sciences, 6(15), 11620–11644.

- **Giweta, M. (2020).** Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environment*, *44*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s41610-020-0151-2
- **Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010).** *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols* (Vol. 14). EPFL Press.
- **Gobat, J.-M., Aragno, M., & Matthey, W. (2003).** Le sol vivant: Bases de pédologie, biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- **Gobat, J.-M., Aragno, M., & Matthey, W. (2004).** Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. PPUR.
- **Gómez, A., Pérez, J., & Martínez, F. (2023).** Influence of *Pinus halepensis* litter on soil chemical properties in Mediterranean semi-arid ecosystems. *Forests*, *14*(8), 1674.
- **Grossenbacher, E. (2011).** Pinède de pin d'Alep. Jura, Suisse : Groupe d'étude floristique du Jura et du Jura bernois.
- **Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., ... & Cummins, K. W. (1986).** Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in ecological research, 15, 133-302. https://doi.org/10.3390/molecules24101877 https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1965/02/AFS_0003-4312_1965_22_2_ART0001.pdf

- **ITAVI. (1997).** Les litières. Sciences et Techniques Avicoles, Hors-série (Septembre), 43–47.
- **Jeddi, K., & Chaieb, M. (2010).** Soil properties and plant community in different aged *Pinus halepensis* Mill. plantations in arid Mediterranean areas: The case of southern Tunisia. *Land Degradation & Development*, *21*(1), 32–39.
- **Jevšenak, J., & Saražin, J. (2023).** *Pinus halepensis* is more drought tolerant and more resistant to extreme events than *Pinus nigra* at a sub-Mediterranean flysch site. *Trees*, *37*(4), 1281-1286.
- **Kadik, B. (1987).** *Contribution à l'étude du Pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Algérie: écologie, dendrométrie, morphologie*. Office des Publications Universitaires.
- **Ladjal, S. (2012).** Activité antimicrobienne des métabolites secondaires des champignons endophytes isolés du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*) de la région de M'sila. *Université de Sétif. Département d'écologie et biologie végétale. Algérie*, 44-45.
- **Lado-Monserrat, L., Lidón, A., & Bautista, I. (2016).** Erratum to: Litterfall, litter decomposition and associated nutrient fluxes in *Pinus halepensis*: Influence of tree removal intensity in a Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research*, *135*(1), 203-214.
- **Lakreb, N., Sen, U., Bezzazi, B., & Pereira, H. (2022).** The physicomechanical and thermal properties of Algerian Aleppo pine (*Pinus halepensis*) wood as a component of sandwich panels. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *15*(2), 106.
- **Letreuch-Belarouci, N. (1991).** Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir (2 tomes). Office des publications universitaires.
- **Lopez-López, J., et al. (2013).** Seasonal variation of litter production in Mediterranean pine ecosystems.
- **Maestre, F. T., & Cortina, J. (2004).** Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas?. *Forest ecology and management*, *198*(1-3), 303-317. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.040
- **Mauri, A., Di Leo, M., De Rigo, D., & Caudullo, G. (2016).** *Pinus halepensis* and Pinus brutia in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European atlas of forest tree species*, 122-123.

- **McClaugherty, C. A., Pastor, J., Aber, J. D., & Melillo, J. M. (1985).** Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. *Ecology*, *66*(1), 266-275.
- **McTiernan, K. B., Coûteaux, M. M., Berg, B., Berg, M. P., de Anta, R. C., Gallardo, A., ... & De Santo, A. V. (2003).** Changes in chemical composition of *Pinus* sylvestris needle litter during decomposition along a European coniferous forest climatic transect. *Soil Biology and Biochemistry*, *35*(6), 801-812.
- **Melillo, J. M., Aber, J. D., Linkins, A. E., Ricca, A., Fry, B., & Nadelhoffer, K. J. (1989).** Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter. *Plant and soil*, *115*(2), 189-198.
- **Nahal, I. (1962).** Le pin d'Alep (***Pinus halepensis*** Mill). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. In *Annales de l'école nationale des eaux et forêts et de la station de recherches et expériences* (Vol. 19, No. 4, pp. 475-686).
- **Navarro, F. B., Romero-Freire, A., Del Castillo, T., Foronda, A., Jiménez, M. N., Ripoll, M. A., ... & Fernández-Ondoño, E. (2013).** Effects of thinning on litterfall were found after years in a *Pinus halepensis* afforestation area at tree and stand levels. *Forest Ecology and Management*, *289*, 354-362.
- **Nedjimi, B. (2025).** Provenance variability in cone, seed and wing characteristics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) from Djelfa, Algeria. *Discover Forests*, *1*(1), 7. https://doi.org/10.1007/s44415-025-00007-2
- **Pesson, P. (1980).** Actualités d'écologie forestière. Gauthier-Villars. 517 p.
- **Prévosto, B. (2013).** Le pin d'Alep en France: 17 fiches pour connaître et gérer.
- **Qasemian, L., Guiral, D., & Farnet, A.-M. (2014).** How do microlocal environmental variations affect microbial activities of a *Pinus halepensis* litter in a Mediterranean coastal area? *Science of the Total Environment, 496*, 198–205.
- **Qasemian, L., Guiral, D., Ziarelli, F., Ruaudel, F., & Farnet, A.-M. (2012).** Does anthracene affect microbial activities and organic matter decomposition? A comparative study in *Pinus halepensis* litters from Mediterranean coastal and inland areas. *Chemosphere*, *89*(5), 548–555.
- **Quero, J. L., Venturas, M. D., & Gil-Pelegrín, E. (2019).** Adaptation of Mediterranean forests to climate change: Responses of *Pinus halepensis* to drought stress. *Annals of Botany, 124*(7), 1161–1172.

- **Quézel, P., & Médail, F. (2003).** *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen* (Vol. 572). Paris: Elsevier.

- **Quézel, P., & Santa, S. (1963).** *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* (Vol. 1 et 2). CNRS, Paris.

- **Rabhi, K., Bentouati, A., & Sghaier, T. (2023).** Effet de la sylviculture sur les potentialités de production du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans l'Aurès algérien. Établissement de tables de production pour deux itinéraires sylvicoles. *Revue forestière française*, *74*(1), 45-61. https://doi.org/10.20870/revforfr.2023.7413
- **Rameau, J.-C., Mansion, D., Dumé, G., Gauberville, C., Bardat, J., Bruno, E., & Keller, R. (2008).** Flore forestière française : Guide écologique illustré, région méditerranéenne (Vol. 3). Forêt privée française.
- **Richardson, D. M. (Ed.). (1998).** Ecology and biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press.
- **Rojas-Briales, E., Oliver-Villanueva, J. V., Lerma-Arce, V., Fuente, D., & Lorenzo-Sáez, E. (2023).** Improving sustainable forest management of *Pinus Halepensis Mill.* Mid-Aged Stands in a context of rural abandonment, climate change, and wildfires. *Forests*, *14*(3), 527. https://doi.org/10.3390/f14030527
- **Rousk, J., Brookes, P. C., & Bååth, E. (2010).** Investigating the mechanisms for the opposing pH relationships of fungal and bacterial growth in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *42*(6), 926-934.

- **Sardans, J., & Peñuelas, J. (2005).** Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(3), 455–461.

- **Sarris, D., & Christodoulakis, D. (2024).** Topographic and climatic effects on Pinus halepensis sl growth at its drought tolerance margins under climatic change. *Journal of Forestry Research*, *35*(1), 102.

- **Seigue, A. (1985).** La foret circummediterraneenne et ses problemes. *Techniques Agricoles et Productions Mediterraneennes (France). no. 5.*
- **Serre, F. (1973).** Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*) (Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, France, p. 236).

- **Silver, W. L., & Miya, R. K. (2001).** Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. *Oecologia*, *129*(3), 407-419.
- **Soltani, A. (2016).** Typologie et fertilité des stations de pin d'Alep de la forêt de Benjloud (Saïda). Université de Saïda, Algérie.
- **Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M., & Anderson, J. M. (1979).** *Decomposition in terrestrial ecosystems* (Vol. 5). Univ of California Press.
- **Toutain, F., Diagne, A., & Le Tacon, F. (1987).** Effets d'apports éléments minéraux sur le fonctionnement d'un écosystème forestier de l'Est de la France. *Revue d'écologie et de biologie du sol*, *24*(3), 283-300.
- **Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., ... & Liski, J. (2009).** Leaf litter decomposition—Estimates of global variability based on Yasso07 model. *Ecological Modelling*, *220*(23), 3362-3371.
- **Theodosiou, T., Kazakou, E., Blanchard, A., Aubert, M., & Garnier, E. (2021).** Volatilome of Aleppo pine litter over the decomposition process. *Ecology and Evolution*, *11*(12), 6862–6876.
- **Vennetier, M., Ripert, C., & Rathgeber, C. (2018).** Autecology and growth of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.): A comprehensive study in France. *Forest Ecology and Management*, *413*, 32-47. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.028
- **Wardle, D. A., Bonner, K. I., & Barker, G. M. (2002).** Linkages between plant litter decomposition, litter quality, and vegetation responses to herbivores. *Functional Ecology*, *16*(5), 585-595.
- **Yavitt, J. B., Wright, S. J., & Wieder, R. K. (2004).** Seasonal drought and dry-season irrigation influence leaf-litter nutrients and soil enzymes in a moist, lowland forest in Panama. *Austral Ecology*, *29*(2), 177-188.
- **Zeiner, M., Kuhar, A., & Juranović Cindrić, I. (2019).** Geographic differences in element accumulation in needles of Aleppo Pines (*Pinus halepensis Mill*.) grown in Mediterranean region. *Molecules*, *24*(10), 1877.
- **Zouidi, M., Borsali, A. H., Allam, A., Gros, R., Rebufa, C., & Farnet Da Silva, A.-M. (2020).** Coniferous forest litter of Pinus halepensis Mill. in arid and semi-arid areas of western Algeria. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 16(1), 39–50.

Annexes

Annexe 01 : Les analyses statistiques de l'étude qualitative mensuelle de la litière

1. L'ANOVA

Effect	Univariate Tests of Significance for la chute de la litière (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercep	900492,4	1	900492,4	49,92592	0,000000
Mois	317008,0	6	52834,7	2,92931	0,017698
Organe	9259,2	2	4629,6	0,25668	0,774822
Mois*organe	195208,4	12	16267,4	0,90191	0,552577
Error	757536,0	42	18036,6		

2. Le test de Tukey

Octobre	0,0000	b	
Avril	33,3333	b	a
Février	110,0000	b	a
Décembre	150,2222	b	a
Mai	158,8889	b	a
Novembre	178,8889	b	a
Janvier	205,5556		a