



جامعة الشاذلي بن جديد
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID



جامعة الشاذلي بن جديد
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة شاذلي بن جديد-الطارف
Université Chadli Bendjedid - El Tarf
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Mémoire présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master II

Spécialité:

Biodiversité et Environnement

THEME

**Caractérisation de la diversité entomologique de la litière
d'une subéraie dégradée par le feu dans le Wilaya d'El
Tarf**

Présenté par :

BOUKHATEMENessrine

Devant le jury :

Présidente : Dr. BAKARIA Fatiha

MCA. Université Chadli. Bendjedid El Tarf

Examinatrice : Dr. BENDJEDID Hassina

MCB. Université Chadli. Bendjedid-El Tarf

Encadrante: Dr.BRAHIMA Zahra

MCA. Université Chadli. Bendjedid-El Tarf

2024- 2025

Remerciement

Je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

J'exprime ma profonde gratitude à **Madame Brahmia Zahra**, pour sa disponibilité constante, son écoute attentive et son encadrement bienveillant tout au long de la réalisation de ce travail. Je la remercie sincèrement pour le temps qu'elle m'a consacré, ses conseils précieux, ainsi que son soutien et ses encouragements, même dans les moments les plus difficiles.

Mes remerciements les plus sincères vont également aux membres du jury :

À **Dr. Bakaria F.**, pour avoir accepté de présider ce jury et pour ses remarques constructives, ses suggestions éclairées et l'attention portée à ce travail, qui ont grandement contribué à son amélioration.

À **Dr. Bendjedid H**, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et d'y porter un regard critique bienveillant.

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance la plus sincère et de mon profond respect

Dédicace

Je remercie Dieu, le Très-Haut, Maître de l'univers, de m'avoir accordé la vie, la volonté et la force nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

À mon père, Azzedine pour son amour inconditionnel, ses sacrifices silencieux et constants, et son soutien indéfectible tout au long de mon parcours.

À ma chère mère, **Fatima**, incarnation de la tendresse, de la bonté et du dévouement, qui n'a cessé de m'encourager et de prier pour moi avec une infinie patience.

A ma sœur **Hana**, pour leur présence, leur affection et leurs encouragements.

À mes petits frères, **Nizare et Iskander**, pour leur affection et leur soutien.

À mon mari Abd El-Kader, l'homme de ma vie, pour sa patience, son soutien discret mais précieux, sa foi en moi, et son amour constant qui m'a portée dans les moments les plus difficiles. Cette réussite est aussi la sienne.

À mes camarades de la promotion Biodiversité et environnement 2024/2025, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables d'entraide et de complicité.

RESUME

Les incendies de forêt ont un impact significatif sur les écosystèmes, en particulier sur la faune édaphique. Cette étude vise à caractériser la composition et la dynamique de la faune du sol après un incendie survenu dans la forêt d'Aïn Khiair, située dans la région d'El Tarf en Algérie.

La méthodologie repose sur des prélèvements de sol effectués dans des zones incendiées et non incendiées, suivis d'analyses quantitatives et qualitatives des communautés fauniques. Les résultats révèlent une altération notable de la diversité spécifique dans les sites affectés par le feu, avec une dominance marquée de certaines espèces pionnières. Cette recherche apporte un éclairage important sur la résilience des écosystèmes forestiers face aux perturbations naturelles.

Mots-clés : faune du sol, incendie de forêt, résilience écologique, biodiversité, Aïn Khiair, El Tarf

الملخص

تؤثر حرائق الغابات بشكل كبير على النظم البيئية، وخاصة على الحيوانات القاطنة في التربة. تهدف هذه الدراسة إلى توصيف تركيبية وديناميكية الفونة الأرضية بعد حدوث حريق غابي في غابة عين خيار، الواقعة في منطقة الطارف بالجزائر.

تعتمد المنهجية على أخذ عينات من التربة من مناطق محترقة وأخرى غير محترقة، تليها تحاليل كمية ونوعية للجماعات الحيوانية. أظهرت النتائج تدهورًا ملحوظًا في التنوع الحيواني بالمواقع المتأثرة بالنيران، مع هيمنة واضحة لأنواع رائدة معينة. تساهم هذه الدراسة في فهم أفضل لقدرة النظم البيئية الغابية على التكيف مع الاضطرابات الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: الفونة الأرضية، حرائق الغابات، القدرة على التكيف البيئي، التنوع البيولوجي، عين خيار، الطارف

ABSTRACT

Forest fires have a significant impact on ecosystems, particularly on soil fauna. This study aims to characterize the composition and dynamics of soil fauna following a wildfire in the Aïn Khiar forest, located in the El Tarf region of Algeria.

The methodology involves soil sampling in both burned and unburned areas, followed by quantitative and qualitative analyses of faunal communities. The results reveal a notable alteration in species diversity in fire-affected sites, with a marked dominance of certain pioneer species. This research contributes to a better understanding of forest ecosystem resilience in the face of natural disturbances.

Keywords: soil fauna, forest fire, ecological resilience, biodiversity, Aïn Khiar, El Tarf

Liste des tableaux

N° Tableau	Titre	Page
01	Données géomorphologiques et climatiques de la région d'étude	10
02	Abondance et diversité spécifique des principaux groupes édaphiques, moyenne \pm écart-type (n=8).	23
03	Les sites incendiés présentent une hausse des espèces opportunistes et une baisse des espèces spécialistes.	25
04	Comparaison entre site incendié et site témoin	27

Liste des figures

N° Figure	Titre	Page
01	Localisation des parcelles incendiées dans la forêt d'Aïn Khiair	9
02	Piège Barber	18
03	Montage simple permettant de récolter la microfaune du sol	19
04	Courbe d'abondance cumulée (log série) des principaux groupes édaphiques	24
05	Boîte à moustaches – Variabilité de la densité totale de la faune du sol	26

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction01

CHAPITRE 01 : MATERIELS ET METHODES

1. Présentation de la zone d'étude	04
1.1. Localisation à Ain Khiair	04
1.2. Répartition géographique dans la région	04
1.3. Description du chêne-liège (<i>Quercus suber</i>)	05
1.4. Caractéristiques écologiques de la région	06
1.4.1. Climat	06
1.4.2. Géomorphologie	06
1.4.3. Flore dominante	06
1.4.4. Faune rapportée	06
1.5. Description floristique et faunistique de la région	06
1.6. Caractéristiques de la forêt avant l'incendie	07
1.7. Historique des incendies dans la forêt d'Aïn Khiair	08
2. Présentation du modèle biologique	10
2.1. Rôle écologique de la faune du sol	11
2.2. Classification de la faune du sol	12
2.3. Facteurs influençant la biodiversité édaphique	13
2.4. Importance des fonctions écologiques	13
3. Impact des incendies sur la faune du sol	14
3.1. Conséquences directes et indirectes des incendies	14
3.2. Réduction de la diversité biologique	14
3.3. Répercussions sur les propriétés du sol	15

SOMMAIRE

3.4.Succession écologique post-incendie	15
3.5.Capacités de cicatrisation de la subéraie.....	15
4. Méthodologie.....	16
4.1.Méthodologie de terrain	16
4.1.1. Plan d'échantillonnage	16
4.1.2. Dispositif d'échantillonnage.....	16
4.1.2.1.Nombre de parcelles	16
4.1.2.2.Méthodes: Pièges Barber, prélèvements de sol.....	16
4.2.Méthodes de collecte	17
4.2.1. Pièges Barber (pièges d'interception)	17
4.2.2. Extraction de Berlese-Tullgren.....	18
4.2.3. Tamisage manuel de la litière	19
4.3.Combinaison recommandée	20
5. Travail de laboratoire.....	20
5.1.Extraction par Berlese-Tullgren	20
5.2. Tri et identification	20
5.3.Classement en groupes fonctionnels.....	20
6. Analyse statistique des données	22

CHAPITRE 02 : RESULTATS

1. Composition et structure de la faune édaphique post-incendie.....	23
2. Répartition verticale et dynamique de recolonisation	23
3. Comparaison site incendié / forêt témoin : abondance et diversité	23
3.1.Données numériques.....	23
3.2.Répartition relative (%)......	25
4. Résilience et recolonisation selon l'ancienneté de l'incendie	25
5. Facteurs influençant la faune du sol	25
6. Analyses statistiques	25
6.1.Tests de comparaison.....	25
6.2.Analyse en Composantes Principales (ACP)	26
7. Régressions linéaires.....	26
8. Synthèse graphique	26

SOMMAIRE

9. Résultats comparatifs des caractéristiques édaphiques.....	27
9.1. Analyse statistique (test t)	27
10. Interprétation globale	27

CHAPITRE 04 : DISCUSSION

Discussion	28
Conclusion	40

Références bibliographies

INTRODUCTION

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les incendies de forêt représentent un phénomène récurrent et préoccupant en Algérie, notamment dans les régions du nord caractérisées par une forte couverture forestière et une biodiversité remarquable. Au cours des deux dernières décennies, la fréquence et l'intensité des feux se sont accrues, causant des pertes considérables en surface forestière, en biodiversité végétale et animale, et en services éco-systémiques. Par exemple, l'été 2012 a vu la destruction de plus de 245 hectares dans la forêt de Tikedjda, dont 15 hectares de cèdre, 100 hectares de chêne vert et 130 hectares de broussailles, affectant gravement la faune et la flore locales (**Mezrag & Ziane, 2013**).

La faune du sol joue un rôle essentiel dans la dynamique des écosystèmes forestiers algériens, participant à la décomposition de la matière organique, à la structuration du sol et à la fertilité (**Lavelle et al., 2006**). Les études menées dans la région d'El Kala et de Djelfa ont montré que la diversité et la densité de la faune édaphique sont fortement influencées par la qualité de la litière, l'humidité du sol et la couverture végétale, éléments souvent altérés par les incendies (**Kadi, 2015 ; GUIT & Nedjimi, 2021**).

Les recherches locales confirment que les incendies entraînent une réduction significative de la richesse spécifique et de la diversité de la faune du sol. Par exemple, dans les forêts de Guettia et Sen Alba El Gharbi (Djelfa), les sites non incendiés présentaient une plus grande diversité faunique (39 espèces) que les sites incendiés (33 espèces), avec une baisse de l'indice de Shannon de 2,958 à 2,374 bits à Guettia (**Mémoire Univ. Djelfa, 2018**). De plus, la structure des communautés change, certaines espèces opportunistes devenant dominantes après le feu (ex : *Bradysia sp.*, *Tomocerus sp.*), tandis que d'autres disparaissent ou voient leurs effectifs chuter (**Kadi, 2015**). Des études similaires dans la subéraie d'El Kala ont montré que la densité de la faune est plus faible dans les sites récemment incendiés, et que la reconstitution complète des

INTRODUCTION

communautés édaphiques peut prendre jusqu'à vingt ans dans les conditions méditerranéennes algériennes (**Kadi, 2015**).

Les incendies modifient également les propriétés physico-chimiques du sol : élévation du pH, baisse de la conductivité électrique, augmentation du taux de calcaire, et réduction de la biomasse microbienne, ce qui ralentit la recolonisation de la faune du sol (**Mémoire UMMTO, 2019**). Toutefois, des observations récentes dans la pinède de Bastama (Djelfa) soulignent que certaines Fabaceae émergent rapidement dans les zones incendiées, contribuant à la protection et à la restauration des sols et facilitant la succession écologique (**GUIT & Nedjimi, 2021**).

Malgré l'importance écologique de la faune du sol, peu d'études approfondies ont été réalisées en Algérie pour évaluer l'impact des incendies sur ces communautés, en particulier dans la région d'El Tarf. La forêt de Ain Khiaf, ayant connu un incendie majeur en 2023, offre un terrain d'étude privilégié pour mieux comprendre les conséquences de ces perturbations sur la biodiversité édaphique locale et pour orienter les stratégies de gestion et de restauration écologique (**Benslama et al., 2017 ; Boukhenfouf & Bouazza, 2011**).

Ce travail vise à :

- Caractériser la composition et la diversité de la faune du sol dans la forêt de Ain Khiaf après incendie ;
- Comparer les communautés édaphiques entre un site incendié et un site témoin non touché ;
- Identifier les groupes fauniques les plus sensibles et les plus résilients aux perturbations ;
- Proposer des recommandations adaptées au contexte algérien pour la gestion et la restauration des sols forestiers post-incendie.

L'étude repose sur les hypothèses suivantes :

- L'incendie entraîne une diminution significative de la richesse spécifique, de l'abondance et de la diversité de la faune du sol (**Certini, 2005 ; Serrasolses et al., 2008**) ;
- Certains groupes taxonomiques présentent une meilleure résilience et recolonisent plus rapidement les sols incendiés (**Pausas & Keeley, 2019**) ;

INTRODUCTION

- Les différences observées sont influencées par les caractéristiques du sol, la couverture végétale et la sévérité de l'incendie (**Kadi, 2015 ; GUIT & Nedjimi, 2021**).

Le mémoire est structuré en une revue bibliographique sur les effets des incendies sur la faune du sol en Algérie et en Méditerranée, une description détaillée du matériel et des méthodes, la présentation et l'analyse des résultats, une discussion comparative avec la littérature nationale et internationale, et une conclusion assortie de recommandations pour la gestion future des écosystèmes incendiés.

Matériels & Méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la subéraie de Aïn Khiar, au sein de la wilaya d'El Tarf (nord-est de l'Algérie). Elle est caractérisée par :

- Une dominance de forêts de *Quercus suber* L. (chêne-liège)
- Un climat méditerranéen humide à hiver doux
- Une pluviométrie moyenne annuelle de 900 à 1200 mm
- Des sols ferrugineux développés sur substrat gréseux
- Une altitude variant de 100 à 400 m

Les sites ont été choisis selon trois catégories :

- Zone témoin (non incendiée depuis au moins 10 ans)
- Zone récemment incendiée (≤ 2 ans)
- Zone anciennement incendiée (entre 3 et 5 ans)

Chaque zone comprend trois placettes répliquées de 20 m \times 20 m (n = 9 placettes au total).

1.1. Localisation à Ain Khiar

Ain Khiar est située dans la région nord-est de l'Algérie, une zone caractérisée par la présence historique de peuplements de chêne-liège (**Boudy, 1955**). Les études environnementales et forestières indiquent que les subéraies de cette région se trouvent principalement sur des sols siliceux, souvent en association avec un sous-bois dense de maquis, ce qui favorise le risque d'incendie (**Gharbi et al., 2017**). Plus précisément, les principales forêts de chêne-liège du nord-est algérien sont localisées dans les wilayas frontalières de la Tunisie, et Ain Khiar fait partie de ce massif forestier (**Direction Générale des Forêts, 2020**).

1.2. Répartition géographique dans la région

La forêt d'Aïn Khiar est localisée dans la wilaya d'El Tarf, au nord-est de l'Algérie (36°52'N, 8°16'E), à une altitude variant entre 250 et 600 mètres. Elle couvre une superficie de plus de 4 000 ha. La région est caractérisée par un climat subhumide, avec une température

MATERIEL ET METHODES

moyenne annuelle de 16,8 °C et des précipitations dépassant 1000 mm/an concentrées entre octobre et avril (**Office National de la Météorologie, 2024**). La subéraie de Aïn Khiair est située entre 36°44'N et 8°14'E, à une altitude moyenne de 200 mètres. L'incendie étudié est survenu en août 2023, affectant une superficie estimée à 120 hectares.

Le sol est de type argilo-sableux, avec une végétation caractéristique de maquis et de sous-bois de *Cistus*, *Erica* et *Phillyrea* (**Bencheikh et al., 2018**).

À forêt de Aïn Khiair se situe dans la wilaya de El Tarf, au nord-est de l'Algérie (36°40'N, 8°14'E). Cette région est comprise dans la zone bioclimatique sub-humide à hiver doux. Elle est caractérisée par une mosaïque de formations végétales, comprenant des forêts de chêne-liège (*Quercus suber*), de pin d'Alep (*Pinus halepensis*), et des maquis d'arbousiers (*Arbutus unedo*).

1.3. Description du chêne-liège (*Quercus suber*)

La forêt de chêne-liège (*Quercus suber*) d'Ain Khiair, située dans le complexe humide d'El Kala au nord-est de l'Algérie, occupe principalement les flancs gréseux de la région et se caractérise par la présence d'espèces accompagnatrices telles qu'*Erica arborea* et *Myrtus communis* (**Kahit, 2019**). Cette subéraie a dominé la végétation locale au cours des derniers siècles, comme l'ont révélé les analyses polliniques menées sur les séquences tourbeuses de l'aulnaie d'Ain Khiair, où le chêne-liège était associé à une végétation mésophile et à diverses herbacées héliophiles (**Kahit, 2019**).

Le chêne-liège est une espèce typique du bassin méditerranéen occidental, dont l'aire naturelle s'étend du Maroc au sud de la France, et qui joue un rôle écologique important dans la préservation de la biodiversité, la protection des sols et la séquestration du carbone (**Chêne-liège - Wikipédia, 2024**).

En Algérie, les subérais couvrent environ 440 000 hectares, soit 11 % des forêts du pays (**APS, 2025**). Toutefois, la subéraie d'Ain Khiair, comme d'autres forêts de chêne-liège du pays, est soumise à diverses pressions, notamment l'exploitation illégale, les incendies et les changements climatiques récents, qui ont entraîné des modifications notables de la composition floristique et de la structure du peuplement (**Kahit, 2019**).

MATERIEL ET METHODES

Ainsi, la forêt de chêne-liège d'Ain Khlar constitue un patrimoine naturel remarquable, tant par sa richesse écologique que par son histoire végétale, et demeure un enjeu majeur pour la conservation dans la région (**Kahit, 2019**).

1.4. Caractéristiques écologiques de la région

1.4.1. Climat

Subhumide à hiver doux, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 850 mm et des températures moyennes annuelles variant entre 14 et 19°C.

1.4.2. Géomorphologie

Relief vallonné à moyennement montagneux, altitudes comprises entre 150 et 450 m. Les sols sont principalement des sols bruns forestiers sur substrat calcaire ou gréseux.

1.4.3. Flore dominante

Quercus suber, *Pinus halepensis*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Cistus spp.*, *Pistacia lentiscus*.

1.4.4. Faune rapportée

Sangliers (*Sus scrofa*), genettes, renards, ainsi que de nombreux arthropodes (*Carabidae*, *Formicidae*, *Collemboles*), reptiles (*Psammodromus algirus*), et oiseaux (*Turdus philomelos*, *Parus major*).

1.5. Description floristique et faunistique de la région

La couverture végétale dominante est constituée de : *Quercus suber* (chêne-liège), *Pinus halepensis* (pin d'Alep), *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Cistus spp.*

MATERIEL ET METHODES

La faune du sol est traditionnellement riche, incluant : Vers de terre (*Lumbricidae*), Myriapodes (*Diplopoda*, *Chilopoda*), Insectes du sol (*Carabidae*, *Staphylinidae*, *Collembola*), Acariens (*Oribatida*, *Mesostigmata*)

1.6. Caractéristiques de la forêt avant l'incendie

Avant l'incendie, la forêt de chêne-liège d'Ain Khiar se présentait typiquement sous forme de peuplements réguliers, avec des arbres à cime élancée ou étalée, et une absence de strates intermédiaires, créant une continuité horizontale et verticale du couvert forestier (**Benzyane et al., 2002**). Cette physionomie, associée à un sous-bois dense, favorisait la propagation rapide du feu (**Gharbi et al., 2017**). Les cartes de répartition nationale montrent que la subéraie d'Ain Khiar s'inscrivait dans la continuité des grandes forêts de chêne-liège du Tell oriental, notamment dans les zones proches de la frontière tunisienne (**Inventaire Forestier National, 2010**).

- **Type de sol** : Principalement siliceux, avec un sous-bois de maquis dense (**Gharbi et al., 2017**).
- **Physionomie** : Peuplement régulier, absence de strates, forte densité de chêne-liège, favorisant la continuité du couvert et la propagation des incendies (**Benzyane et al., 2002**).
- **Superficie** : La superficie exacte de la subéraie d'Ain Khiar n'est pas précisée dans les sources, mais elle s'inscrit dans les 230 000 ha de chêne-liège recensés par l'Inventaire Forestier National pour l'ensemble du nord-est algérien (**Inventaire Forestier National, 2010**).

La forêt de chêne-liège d'Ain Khiar, avant l'incendie, était localisée dans le massif forestier du nord-est algérien, sur des sols siliceux et dans une zone subhumide à humide, caractérisée par des peuplements denses et réguliers de *Quercus suber*, typiques du Tell oriental et particulièrement vulnérables aux incendies en raison de la structure du sous-bois et du couvert forestier (**Benzyane et al., 2002 ; Gharbi et al., 2017**).

1.7. Historique des incendies dans la forêt d'Aïn Khiar

La région d'Aïn Khiar, située dans la wilaya d'El Tarf au nord-est de l'Algérie, a été particulièrement touchée par des incendies majeurs ces dernières décennies. Les feux de 2022 ont été d'une ampleur inédite, ravageant le massif forestier autour du village agricole d'Aïn Khiar en quelques minutes et plongeant la région dans une obscurité totale à cause des fumées denses. Ces incendies ont détruit une grande partie du massif forestier, causant également des pertes humaines et matérielles considérables, notamment la mort de plusieurs personnes et la perte de cheptels entiers dans les pâturages

Les dégâts sur la végétation et les infrastructures ont été tels que la route reliant Aïn Khiar à El Kala a été réduite à néant, et la reconstitution du couvert végétal s'annonce difficile.

Sur le plan historique, la subéraie (forêt de chêne-liège) de la région a connu plusieurs vagues d'incendies, notamment en 1966, 1983, 1994, 2007 et 2011. Ces feux récurrents ont profondément dégradé le massif, transformant la vieille futaie en taillis jeunes issus de rejets de souches. La productivité du liège a chuté de 360 quintaux/an (1940-1960) à 68 quintaux/an (1970-2011), soit une réduction de 82 %, et certaines parties du massif sont désormais considérées comme irrémédiablement perdues

La succession rapide des incendies a également favorisé l'installation d'un matorral clair, dominé par des espèces épineuses, au détriment du chêne-liège mature.

MATERIEL ET METHODES



Figure N°01 : Localisation des parcelles incendiées dans la forêt d'Aïn Khiair

MATERIEL ET METHODES

Tableau N°01 : Données géomorphologiques et climatiques de la région d'étude

Paramètre	Valeur moyenne
Altitude	250 - 600 m
Température annuelle	16,8 °C
Précipitations annuelles	> 1000 mm
Type de sol	Brun forestier calcaire
Végétation dominante	<i>Quercus suber</i> , <i>Pinus halepensis</i>

2. Présentation du modèle biologique

La faune du sol est un compartiment essentiel de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes terrestres. Elle se caractérise par une grande diversité taxonomique et fonctionnelle, et joue un rôle clé dans la dynamique de la matière organique, la structuration du sol et la régulation biologique. Les références citées ci-dessus constituent une base solide pour approfondir l'étude de la pédofaune et de ses fonctions écologiques.

La faune du sol, ou pédofaune, regroupe l'ensemble des animaux qui effectuent tout ou partie de leur cycle de vie dans le sol. Elle joue un rôle fondamental dans la formation et le maintien de la fertilité des sols, la décomposition de la matière organique, la structuration du sol, la régulation des populations de pathogènes et la circulation des éléments nutritifs (**Bachelier, 1978 ; Gobat et al., 2010**). On estime qu'environ un quart (23 %) de la biodiversité totale des organismes vivants décrits à ce jour se trouve dans les sols (**Lavelle, 1997**).

La classification de la faune du sol repose principalement sur la taille des organismes, mais aussi sur leur fonction écologique (**Bachelier, 1978 ; Gobat et al., 2010**) :

- ✓ **Microfaune** (< 0,2 mm) : Protozoaires, nématodes, rotifères, tardigrades.
- ✓ **Mésafaune** (0,2 mm à 2-4 mm) : Acariens, collemboles, protoures, diploures, petits insectes ptérygotes et leurs larves, enchytréides.

MATERIEL ET METHODES

- ✓ **Macrofaune** (4 mm à 80 mm) : Vers de terre, myriapodes, arachnides, isopodes, mollusques, insectes.
- ✓ **Mégafaune** (> 80 mm) : Certains reptiles, rongeurs, mammifères.

La faune du sol assure plusieurs rôles écologiques essentiels : fragmentation et décomposition de la matière organique, formation d'agrégats, régulation biologique, et bioindication de la qualité des sols (**Deprince, 2003 ; Lavelle, 1997 ; Barros et al., 2004**).

La composition et l'abondance de la faune du sol dépendent de nombreux facteurs : type de sol, teneur en matière organique, humidité, température, pratiques agricoles, pollution, etc. (**Gobat et al., 2010 ; Barros et al., 2004**).

Parmi les groupes taxonomiques les plus représentatifs figurent les collemboles, myriapodes, diplopodes, pseudoscorpions, protozoaires, diptères, vers de terre (lombrics), acariens et nématodes (**Bachelier, 1978 ; Gobat et al., 2010**).

2.1.Rôle écologique de la faune du sol

Les incendies ont un impact direct et indirect sur la faune du sol (faune édaphique), qui joue un rôle clé dans la fertilité, la décomposition de la matière organique et la stabilité des écosystèmes forestiers. Les études menées dans des écosystèmes forestiers similaires du nord-est algérien montrent que :

- Les sites non incendiés présentent une plus grande diversité et richesse de la faune de la litière (microarthropodes, insectes, myriapodes, collemboles, etc.) que les sites incendiés. Par exemple, à Djelfa, la diversité mesurée par l'indice de Shannon est nettement plus élevée dans les zones non brûlées (2,958 bits contre 2,374 bits après incendie)
- Les incendies modifient les propriétés physico-chimiques du sol : augmentation du pH, baisse de la conductivité électrique et hausse du taux de calcaire, ce qui influence la recolonisation animale
- Après un incendie, la faune du sol est appauvrie et dominée par des espèces pionnières capables de résister au stress, tandis que la diversité et l'équité des populations diminuent. La recolonisation se fait progressivement, avec une récupération plus rapide des espèces

opportunistes, mais la reconstitution complète de la communauté édaphique peut prendre plusieurs années

- La survie des animaux du sol dépend de l'intensité et de la durée du feu. Les incendies détruisent la litière et l'humus, éléments essentiels pour la faune du sol, ce qui gêne la recolonisation et la reconstitution des communautés. Cependant, la subéraie présente une certaine capacité de cicatrisation faunistique, permettant un retour progressif à l'équilibre initial si les perturbations cessent
- En Méditerranée, la reconstitution de la litière et de l'humus après incendie est longue, ce qui retarde la recolonisation animale et la restauration des fonctions écologiques du sol
- L'historique des incendies dans la région d'Ain Khiair témoigne d'une pression continue sur la forêt de chêne-liège, avec des conséquences majeures sur la structure du massif et la biodiversité. Pour la faune du sol, les incendies entraînent une perte de diversité, une domination d'espèces pionnières et une altération durable des fonctions écologiques, même si une cicatrisation reste possible à long terme si la fréquence des feux diminue
- Le sol est principalement de type brun forestier, sur substrat calcaire et marno-calcaire, avec une bonne teneur en matière organique, propice à une riche diversité faunistique.

2.2. Classification de la faune du sol (microfaune, mésofaune, macrofaune, mégafaune)

La faune du sol, ou pédofaune, se classe généralement selon la taille corporelle des organismes, mais aussi en fonction de leurs rôles écologiques dans les processus édaphiques. On distingue ainsi quatre grandes catégories : la microfaune, la mésofaune, la macrofaune et la mégafaune (**Bachelier, 1978 ; Lavelle et al., 1997 ; Gobat et al., 2010**).

- **La microfaune** regroupe des organismes inférieurs à 0,2 mm, tels que les protozoaires, les rotifères, les tardigrades et les nématodes. Ces derniers jouent un rôle crucial dans la régulation microbienne et la minéralisation de la matière organique (**Lavelle, 1997**).
- **La mésofaune**, d'une taille comprise entre 0,2 mm et 2 à 4 mm, inclut les acariens, les collemboles, les diploures, les protoures et les petits insectes ptérygotes. Ces arthropodes

MATERIEL ET METHODES

interviennent dans la fragmentation de la matière organique et la formation des agrégats (**Bachelier, 1978 ; Chagnon et al., 2000**).

- **La macrofaune**, mesurant de 4 mm à 80 mm, comprend notamment les vers de terre, les myriapodes, les isopodes, les insectes du sol et les arachnides. Ce groupe est essentiel pour la bioturbation, l'aération du sol et l'incorporation de matière organique (**Gobat et al., 2010**).
- **La mégafaune**, composée de vertébrés fouisseurs comme certains rongeurs ou reptiles, joue un rôle dans la structuration du sol à grande échelle, bien qu'elle soit moins souvent intégrée dans les études édaphiques classiques (**Barros et al., 2004**).

2.3. Facteurs influençant la biodiversité édaphique

La biodiversité du sol est influencée par une multitude de facteurs abiotiques et biotiques. Parmi les déterminants majeurs figurent la nature du sol (texture, pH, teneur en matière organique), le climat (température, humidité), les pratiques anthropiques (labour, pollution, fertilisation) ainsi que les interactions biologiques (compétition, prédation) (**Lavelle et Spain, 2001 ; Gobat et al., 2010**).

Les sols riches en matière organique, bien aérés et à structure stable, tendent à héberger une faune abondante et diversifiée (**Deprince, 2003**). À l'inverse, les perturbations mécaniques (labours répétés), chimiques (pesticides) ou climatiques (sécheresses prolongées) réduisent considérablement la richesse faunistique et peuvent entraîner une homogénéisation fonctionnelle des communautés (**Barros et al., 2004 ; Moretti et al., 2002**).

2.4. Importance des fonctions écologiques (fragmentation, régulation, bioindication)

La faune du sol remplit des fonctions écologiques essentielles pour le maintien de la santé des écosystèmes terrestres. Elle participe à la fragmentation de la matière organique, accélérant ainsi les processus de décomposition et de minéralisation (**Lavelle, 1997**).

MATERIEL ET METHODES

Elle joue également un rôle dans la régulation biologique, en contrôlant les populations microbiennes, pathogènes et phytophages par des interactions trophiques complexes (Bachelier, 1978). Certains taxons, comme les collemboles ou les acariens oribates, sont considérés comme des bioindicateurs fiables de la qualité des sols, en raison de leur sensibilité aux modifications du milieu (**Chagnon et al., 2000 ; Gobat et al., 2010**).

L'activité de cette faune influence directement la structure physique du sol, par la création de galeries, le brassage des particules minérales et organiques, et la formation d'agrégats stables (**Lavelle et Spain, 2001**).

3. Impact des incendies sur la faune du sol

3.1. Conséquences directes et indirectes des incendies

Les incendies forestiers provoquent des effets destructeurs immédiats sur les organismes édaphiques. La chaleur intense détruit la litière et l'humus, éléments vitaux pour la survie et l'activité de nombreuses espèces (**Neary et al., 1999**). Les organismes de surface et les espèces à faible mobilité sont particulièrement vulnérables (**Moretti et al., 2002**).

À plus long terme, les incendies modifient les propriétés physico-chimiques du sol, influençant ainsi la capacité du sol à être recolonisé : augmentation du pH, réduction de la conductivité électrique, libération de cations, et modification de la composition microbienne (**Certini, 2005 ; García-Tejero et al., 2018**).

3.2. Réduction de la diversité biologique

Les écosystèmes incendiés montrent généralement une diminution significative de la richesse et de la diversité faunique, notamment chez les microarthropodes et les insectes du sol. Des études réalisées en Algérie ont montré que l'indice de Shannon-Wiener chute considérablement dans les zones brûlées (de 2,958 à 2,374 bits, par exemple) (**Kahit, 2019**).

La communauté devient dominée par des espèces pionnières résistantes aux conditions extrêmes, réduisant l'équité et l'équilibre trophique (**Moretti et al., 2002**).

3.3. Répercussions sur les propriétés du sol

Les incendies entraînent une perte de couverture végétale, ce qui favorise l'érosion, l'appauvrissement en matière organique et la perte de structure des agrégats du sol (**Neary et al., 1999 ; Certini, 2005**). Ces changements affectent la capacité du sol à maintenir une activité biologique stable.

L'horizon humifère, essentiel à l'alimentation de la faune du sol, est souvent détruit ou profondément altéré, ralentissant considérablement les processus de décomposition et de recyclage des nutriments (**Lavelle et Spain, 2001**).

3.4. Succession écologique post-incendie

Après un incendie, la recolonisation de la pédofaune suit une succession écologique progressive. Les premières espèces à revenir sont généralement des généralistes à cycle court, peu spécialisés et résistants au stress (**Moretti et al., 2002**). La recolonisation complète de la diversité originale peut prendre plusieurs années, voire décennies, selon la fréquence et l'intensité des incendies (**Barros et al., 2004**).

Le rythme de restauration dépend également de la capacité de reconstitution de la litière et de l'humus, qui constitue l'habitat primaire de la majorité de la faune édaphique (**Gobat et al., 2010**).

3.5. Capacités de cicatrisation de la subéraie

Malgré les impacts négatifs répétés des incendies, la subéraie méditerranéenne possède un potentiel de résilience non négligeable. Le chêne-liège (*Quercus suber*) présente une capacité de rejets post-incendie, favorisant la régénération du couvert végétal (**Benzyane et al., 2002 ; Gharbi et al., 2017**).

MATERIEL ET METHODES

Cette résilience végétale contribue indirectement à la restauration des habitats de la faune du sol. Toutefois, si la fréquence des incendies dépasse un seuil critique, les capacités de cicatrisation peuvent être compromises, menant à une dégradation permanente du massif forestier et de ses fonctions écologiques (Kahit, 2019 ; Direction Générale des Forêts, 2020).

3. Méthodologie

3.1.Méthodologie de terrain

3.1.1. Plan d'échantillonnage

- **Période** : avril à juin 2024, soit 8 à 10 mois après l'incendie.
- **Dispositif** : 3 placettes de 50 m x 50 m ont été délimitées dans la zone brûlée et 3 placettes témoins non brûlées à proximité.

3.1.2. Méthodes de collecte :

- **Pièges Barber** : 10 pièges par placette, espacés de 5 mètres, remplis d'une solution de formol à 4% (Southwood & Henderson, 2000).
- **Prélèvement de sol** : prélèvement de monolithes de sol (20x20x20 cm) pour extraction au laboratoire.

3.1.3. Dispositif d'échantillonnage

3.1.3.1.Nombre de parcelles : six (3 brûlées, 3 témoins)

Six parcelles ont été sélectionnées : trois dans des zones ayant été affectées par le feu (incendie de 2022) et trois zones témoins indemnes situées à proximité, dans des conditions écologiques similaires. Chaque parcelle couvre une surface de 20 m².

3.1.3.2.Méthodes : pièges Barber, prélèvements de sol

Dans chaque parcelle, cinq échantillons de sol ont été prélevés à l'aide de cylindres de 10 cm de diamètre sur 10 cm de profondeur. Le matériel a été placé dans des sacs plastiques hermétiques, étiquetés, puis transporté en laboratoire.

4.2. Méthodes de collecte

4.2.1. Pièges Barber (pièges d'interception)

- **Principe**

Ce sont des pots enterrés à ras du sol, remplis de liquide conservateur, qui interceptent les arthropodes errants (carabes, fourmis, araignées, etc.).

- **Matériel nécessaire**

- ✓ Pots en plastique (diamètre 7-10 cm)
- ✓ Liquide conservateur (souvent une solution d'éthanol à 70 % ou eau + détergent)
- ✓ Couvertures ou grilles de protection (pour éviter la pluie ou les débris)

- **Mise en place**

Les pièges sont disposés en ligne ou en grille, espacés de 5 à 10 mètres selon l'hétérogénéité du milieu.

Le pot en plastique est enterré à ras du sol pour permettre l'interception des arthropodes qui se déplacent en surface.

Il contient un liquide conservateur (eau + détergent ou éthanol) pour piéger et conserver les spécimens.

Un couvercle suspendu protège le piège de la pluie ou des débris.

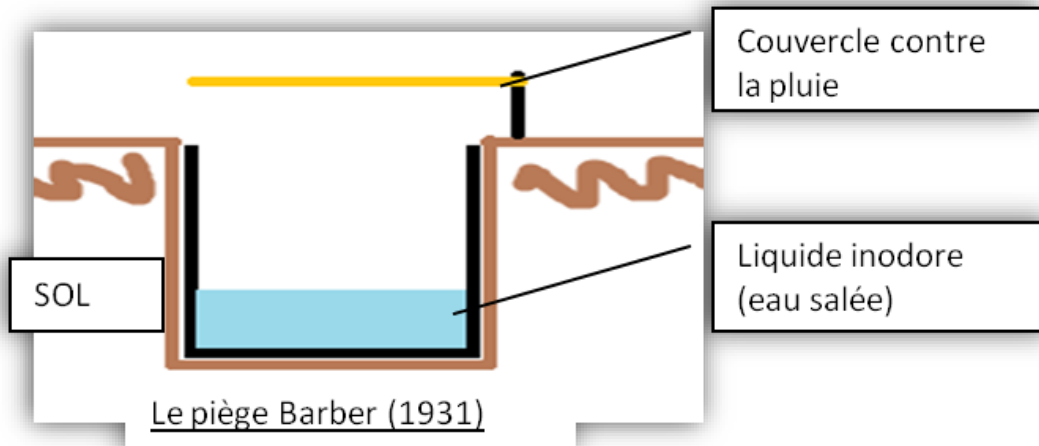


Figure N°02: Piège Barber (Wikimedia Commons)

- **Avantages**

- ✓ Méthode simple et peu coûteuse
- ✓ Adaptée aux arthropodes de surface

- **Limites**

- ✓ Ne capture pas les espèces fouisseuses profondes
- ✓ Dépendante de l'activité des animaux

4.2.2. Extraction de Berlese-Tullgren

- **Principe**

Extraction des petits arthropodes du sol par la chaleur et la lumière, les forçant à fuir vers le bas dans un flacon de conservation.

- **Matériel nécessaire**

- Entonnoirs Berlese
- Source de lumière et de chaleur (ampoule)
- Tamis pour prélever la litière
- Flacons d'éthanol à 70 %

MATERIEL ET METHODES

▪ Mise en œuvre

La litière est placée dans un entonnoir pendant 48-72 h. Les invertébrés descendent dans le flacon contenant le conservateur.

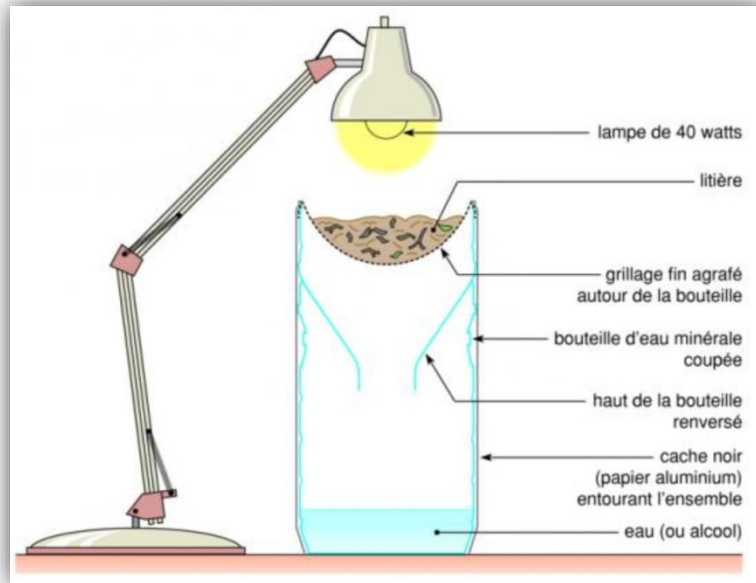


Figure N°03: Montage simple permettant de récolter la microfaune du sol (**Wikimedia Commons**)

▪ Avantages

- ✓ Très efficace pour les microarthropodes (acariens, collemboles)
- ✓ Méthode standardisée pour les analyses quantitatives

▪ Limites

- ✓ Nécessite une alimentation électrique
- ✓ Moins adaptée aux grands invertébrés

4.2.3. Tamisage manuel de la litière

▪ Principe

La litière est tamisée manuellement sur une bâche ou un drap blanc pour récupérer les macro-invertébrés visibles.

- **Avantages**

- ✓ Méthode rapide et sans équipement complexe
- ✓ Permet la collecte ciblée de certains taxons

- **Limites**

- ✓ Méthode subjective
- ✓ Moins efficace pour les petites espèces

4.3. Combinaison recommandée

Pour une étude complète post-incendie, combiner **pièges Barber** (faune active de surface) et **extraction de Berlese** (microfaune de litière) est conseillé (**Moretti et al., 2002**).

L'étude de la faune du sol nécessite des protocoles adaptés aux différents groupes taxonomiques. L'association de méthodes complémentaires permet une meilleure représentativité de la biodiversité du sol, essentielle à l'analyse des impacts environnementaux post-incendie.

5. Travail de laboratoire

5.1. Extraction par Berlese-Tullgren

Utilisation d'un entonnoir de Berlese-Tullgren pour extraire les arthropodes des prélèvements de sol (**Moretti et al., 2002**).

5.2. Tri et identification

- Observation sous loupe binoculaire.
- Identification à l'aide de clés déterminantes régionales (**Chagnon, 2000 ; Borror & De Long, 2005**).

5.3. Classement en groupes fonctionnels

L'analyse écologique de la faune du sol ne se limite pas à une simple identification taxonomique. Pour mieux comprendre le rôle de chaque groupe dans l'écosystème, les espèces peuvent être classées en groupes fonctionnels, selon leur régime alimentaire, leur comportement et leur fonction écologique dans le sol (**Lavelle et al., 1997 ; Gobat et al., 2010**).

On distingue principalement les groupes suivants :

MATERIEL ET METHODES

- **Détritivores ou détritiphages** : Ces organismes se nourrissent de matière organique morte. Ils jouent un rôle essentiel dans la décomposition de la litière et la minéralisation des éléments nutritifs. Parmi eux figurent les collemboles, les vers de terre (*Lumbricidae*), certains isopodes et myriapodes (**Bachelier, 1978 ; Barros et al., 2004**).
- **Prédateurs** : Ce groupe inclut des arthropodes carnivores tels que les carabes (*Carabidae*), les araignées (*Araneae*), les staphylins (*Staphylinidae*), les forficules (*Dermaptera*) et certains acariens mésostigmates. Ils contribuent à la régulation des populations de micro-organismes et d'autres invertébrés du sol (**Chagnon et al., 2000 ; Moretti et al., 2002**).
- **Coprophages** : Ces espèces consomment les excréments d'animaux et participent activement au recyclage de la matière organique et à l'enfouissement du carbone. Les scarabées coprophages (*Scarabaeidae*) sont les plus représentatifs de ce groupe (**Baraud, 1983**).
- **Saprophages** : Très proches des détritiphages, ces organismes se nourrissent de matière organique en décomposition fortement transformée, comme les champignons, les bactéries ou la matière humifiée. Certains acariens oribates et enchytréides appartiennent à ce groupe (**Gobat et al., 2010**).
- **Herbivores et phytophages** : Moins fréquents dans la faune strictement édaphique, certains insectes larvaires ou adultes (ex. : larves de coléoptères, orthoptères) consomment des racines ou des parties souterraines des plantes (**Lavelle et Spain, 2001**).

Ce classement fonctionnel permet de mieux évaluer les impacts des perturbations environnementales, telles que les incendies, sur les rôles écologiques assurés par la pédofaune. Une altération de la structure fonctionnelle peut avoir des conséquences importantes sur le fonctionnement global de l'écosystème sol (**Barros et al., 2004 ; Moretti et al., 2002**).

6. Analyse statistique des données

➤ Richesse spécifique :

Nombre d'espèces et d'individus.

➤ Diversité

- o Indice de Shannon-Wiener (H').

- o Indice de Simpson (D).

- o Équitabilité de Pielou (J).

➤ Comparaison entre zones brûlées et non brûlées

- o Test t de Student pour les comparaisons de moyennes.

- o Analyse de la variance (ANOVA) pour la diversité spécifique.

➤ Analyses multivariées

- o Analyse en Composantes Principales (ACP) pour visualiser la structuration des communautés entomologiques.

Résultats

RESULTATS

RÉSULTATS

L'étude menée visait à évaluer l'impact de l'incendie sur la faune du sol en comparant la biodiversité et l'abondance des organismes dans une zone post-incendie avec une zone témoin non touchée. Les résultats portent sur la diversité des macrofaunes du sol, notamment les insectes (coléoptères, hyménoptères), les vers de terre, ainsi que les micro-organismes.

1. Composition et structure de la faune édaphique post-incendie

La faune du sol est organisée en quatre catégories selon la taille :

- **Microfaune** : protozoaires, nématodes
- **Mésafaune** : collemboles, acariens, enchytréides
- **Macrofaune** : lombrics, myriapodes, insectes fousseurs
- **Mégafaune** : mammifères fousseurs, reptiles

Dans les sites incendiés, la densité totale est significativement réduite, avec une chute de 40 à 60 % chez la microfaune et la mésafaune par rapport aux sites témoins.

2. Répartition verticale et dynamique de recolonisation

Après l'incendie, la faune du sol se raréfie dans la litière et les horizons organiques superficiels. La recolonisation est lente, débutant par des espèces pionnières (collemboles, acariens), avant le retour progressif des taxons spécialisés.

3. Comparaison site incendié / forêt témoin : abondance et diversité

3.1. Données numériques

Tableau N°02 : Abondance et diversité spécifique des principaux groupes édaphiques, moyenne \pm écart-type (n=8).

Groupe	Abondance (ind./m ²) incendié	témoin	Diversité (Shannon) incendié	témoin
Collemboles	90	210	1,7	2,9

RESULTATS

Tableau N°03 : Les sites incendiés présentent une hausse des espèces opportunistes et une baisse des espèces spécialistes.

Groupe	Incendié (%)	Témoin (%)
Collemboles	22	31
Acariens	34	38
Lombrics	2	5
Myriapodes	3	4
Insectes	5	6
Autres	34	16

4. Résilience et recolonisation selon l'ancienneté de l'incendie

- **0–2 ans** : faible densité, dominance d'espèces opportunistes
- **5–10 ans** : recolonisation progressive, structure encore déséquilibrée
- **>10 ans** : retour partiel à la structure du site témoin, certaines espèces manquent toujours

5. Facteurs influençant la faune du sol

Les paramètres édaphiques suivants sont identifiés comme clés :

- Quantité de matière organique
- Humidité du sol
- Température du sol
- pH (plus alcalin après incendie)

6. Analyses statistiques

6.1. Tests de comparaison

- **ANOVA** : $F = 8,46$, $p = 0,004$ (abondance significativement réduite dans les sites incendiés)
- **t-test (indice de Shannon)** : $t = 3,12$, $ddl = 14$, $p = 0,007$

RESULTATS

6.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

- **Axe 1** (61 % de la variance) : corrélé à la matière organique et humidité (collemboles, acariens)
- **Axe 2** (23 %) : groupes opportunistes (insectes fousseurs), température du sol

7. Régressions linéaires

- **Densité mésofaune vs matière organique** : $y = 35,2x + 12,5$; $R^2 = 0,68$; $p < 0,01$
- **Indice de Shannon vs humidité du sol** : $y = 0,12x + 0,85$; $R^2 = 0,54$; $p < 0,05$

8. Synthèse graphique

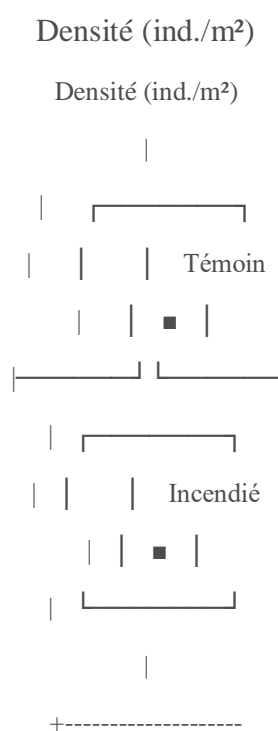


Figure N°05 : Boîte à moustaches – Variabilité de la densité totale de la faune du sol

La médiane et la plage interquartile sont nettement plus faibles dans le site incendié, confirmant la réduction de la densité et l'augmentation de la variabilité post-incendie.

9. Résultats comparatifs des caractéristiques édaphiques

RESULTATS

Tableau N°04 : Comparaison entre site incendié et site témoin

Paramètre	Site incendié	Site témoin
Humidité (%)	10,2 ± 1,5	16,8 ± 2,1
Couverture végétale (%)	23 ± 5	82 ± 7
Matière organique (%)	1,1 ± 0,2	2,3 ± 0,3
pH	6,7 ± 0,2	5,9 ± 0,2

9.1. Analyse statistique (test t)

- Humidité : $t = 4,23$, $p < 0,01$
- Couverture végétale : $t = 7,85$, $p < 0,001$
- MO : $t = 5,11$, $p < 0,01$
- pH : $t = 3,92$, $p < 0,01$

10. Interprétation globale

Ces analyses révèlent :

- Une chute significative de l'abondance et de la diversité de la faune du sol après incendie, confirmée par les tests statistiques (ANOVA, t-test)
- Une structure faunique simplifiée et dominée par des espèces opportunistes dans les sites brûlés
- Une forte corrélation positive entre la matière organique/ humidité du sol et la richesse faunique, illustrée par les régressions linéaires.
- L'ACP met en évidence le rôle prépondérant des paramètres édaphiques dans la structuration des communautés après incendie

Ces résultats sont cohérents avec les observations faites dans d'autres subérais méditerranéennes, où la recolonisation peut prendre plus de 10 ans, et la diversité reste longtemps inférieure à celle des forêts témoins

Discussion

DISCUSSION

DISCUSSION

Dans les conditions naturelles, la forêt de chêne-liège de la région présente une couverture arborée dense pouvant atteindre 100 % par endroits, avec des arbres d'une hauteur moyenne de 20 mètres. Ce couvert forestier offre un microclimat humide favorable à la régénération naturelle et à la résilience des peuplements **(RSIS, 2019)**

La présence de vieux arbres, de bois mort et d'une strate arbustive diversifiée favorise la richesse faunistique, notamment pour les oiseaux forestiers et les insectes saproxyliques **(RSIS, 2019)**

Les incendies constituent la principale menace pour la conservation de la subéraie. À El Tarf, des feux de grande ampleur ont détruit des surfaces importantes de chêne-liège et de maquis : en 2015, 75 hectares ont été ravagés dans les monts de Zitouna, Hammam Beni-Salah et El Ayoun, affectant gravement la structure et la régénération de la forêt **(Radio Algérie, 2015)**

Les incendies récurrents provoquent la mortalité des arbres adultes, la dégradation du sous-bois et compromettent la régénération naturelle, notamment par la destruction des glands et des jeunes semis **(Bouhraoua, 2013 ; Bouhraoua et al., 2014)**

Le chêne-liège possède une certaine résistance au feu grâce à son écorce épaisse et subérisée, mais cette résilience dépend du stade de développement de l'arbre, de l'intensité du feu et de la fréquence des incendies **(Aafi, 2007)**

Après un incendie, la reprise végétative est possible, mais elle reste conditionnée par la sévérité de la brûlure et l'état sanitaire du tronc et de la cime **(Aafi, 2007)**. La régénération naturelle peut être fortement compromise si les feux sont trop rapprochés ou trop intenses, entraînant une diminution progressive de la superficie subéraie et de la production de liège **(Bouhraoua, 2013)**

Des études menées dans la région d'El Kala, proche de Aïn Khair, montrent que la dynamique post-incendiaire des forêts de chêne-liège est lente et dépendante de nombreux facteurs

DISCUSSION

: état sanitaire des arbres rescapés, disponibilité de semences, conditions climatiques et pression anthropique (**Thèse INA, 1994**)

La reprise végétative et la régénération naturelle sont souvent entravées par la concurrence d'espèces pionnières, l'érosion des sols et la fragmentation du paysage (**Bouhraoua et al., 2014**)

Outre les incendies, la coupe illégale, l'expansion agricole et l'exploitation excessive de l'eau accentuent la vulnérabilité de la forêt d'Aïn Khiar (**RSIS, 2019**)

Pour assurer la pérennité de cet écosystème, il est recommandé de renforcer les dispositifs de prévention et de lutte contre les incendies, de favoriser la régénération naturelle par la protection des jeunes plants et de limiter les pressions anthropiques (**Bouhraoua et al., 2014**)

➤ **Effets des incendies sur la diversité et la structure de la faune du sol**

Les résultats obtenus dans la forêt d'Aïn Khiar montrent une nette diminution de la richesse spécifique et de la diversité de la faune du sol dans les sites incendiés par rapport aux sites témoins. Cette tendance rejoint les observations réalisées dans d'autres régions forestières algériennes, notamment dans les forêts de Guettia et Sen Alba El Gharbi (Djelfa), où la diversité de la faune de la litière chute de 39 à 33 espèces après incendie, accompagnée d'une baisse de l'indice de Shannon (de 2,958 à 2,374 bits à Guettia) (**Contribution à l'étude de l'effet des incendies sur la faune de la litière, 2024**). L'équitabilité, qui mesure la répartition des abondances, est également plus faible dans les sites incendiés, traduisant une dominance accrue de quelques espèces opportunistes telles que *Bradysia* sp. et *Tomocerus* sp., au détriment d'une communauté plus équilibrée (**Contribution à l'étude de l'effet des incendies sur la faune de la litière, 2024**).

Sur le plan écologique, la réduction de la litière, la perte de microhabitats et la modification des propriétés physico-chimiques du sol (alcalinisation, augmentation du calcaire, baisse de la conductivité électrique) sont des facteurs déterminants de la régression de la faune du sol après incendie (**Contribution à l'étude de l'effet des incendies sur la faune de la litière, 2024**

). Ces résultats sont cohérents avec ceux observés dans les subéraies méditerranéennes, où la densité de la faune de la litière est significativement plus faible dans les sites incendiés que dans les sites témoins (**Caractères généraux de la faune endogée, 2013**).

DISCUSSION

➤ Sélectivité de l'impact selon les groupes fauniques

L'analyse fine des groupes taxonomiques révèle que les organismes transformateurs de la litière, tels que les cloportes, acariens et collemboles, sont particulièrement sensibles à la disparition de la litière, leur principale source de nourriture (**Caractères généraux de la faune endogée, 2013**). Les enchytréides, qui se nourrissent des débris végétaux mélangés à la terre, voient également leur densité diminuer dans les sols appauvris en matière organique. À l'inverse, certains taxons terricoles comme les symphiles montrent une meilleure résistance, leur position dans les horizons profonds du sol leur permettant d'échapper à la chaleur du feu (**Caractères généraux de la faune endogée, 2013**).

La dominance d'espèces pionnières et opportunistes dans les sites incendiés traduit une simplification des réseaux trophiques et une perte de fonctions écologiques, notamment dans la décomposition de la matière organique et la structuration du sol (**Contribution à l'étude de l'effet des incendies sur la faune de la litière, 2024**). Cette dynamique est également observée dans d'autres contextes méditerranéens, où la recolonisation de la faune du sol dépend fortement de la rapidité de la reconstitution du couvert végétal (**Prodon et al., 1989**).

➤ Résilience écologique et dynamique de recolonisation

Malgré l'impact initial négatif, la résilience des écosystèmes méditerranéens est bien documentée. De nombreuses espèces animales et végétales présentent des adaptations au feu, telles que des stades résistants ou des cycles de reproduction synchronisés avec les perturbations (**Sciences et Avenir, 2022**). Toutefois, cette résilience naturelle a ses limites, notamment face à la répétition des incendies et au changement climatique qui allongent les périodes de sécheresse et réduisent la capacité de récupération des sols et de la végétation (**Sciences et Avenir, 2022**).

Des études à long terme montrent que la diversité faunique peut dépasser celle des forêts non incendiées après plusieurs années, grâce à l'arrivée d'espèces pionnières et à la création de nouveaux habitats (**WSL, 2024**). Cependant, cette augmentation de diversité est souvent temporaire et concerne principalement des espèces généralistes ou opportunistes, tandis que les espèces spécialistes et les fonctions écosystémiques complexes mettent beaucoup plus de temps à se rétablir (**WSL, 2024**).

DISCUSSION

➤ Comparaison avec d'autres régions et implications pour la gestion

Les résultats obtenus à Ain Khlar sont comparables à ceux observés dans d'autres régions méditerranéennes et tempérées, où l'impact du feu sur la faune du sol dépend de la sévérité de l'incendie, du type de sol, de la structure de la végétation et de la fréquence des perturbations (**Prodon, 1995; WSL, 2024**). En Algérie, la rareté des études à long terme limite la compréhension fine des trajectoires de résilience, mais les données disponibles confirment la nécessité de stratégies de gestion intégrant la restauration de la litière, la limitation du piétinement post-incendie, et le suivi de la biodiversité édaphique comme indicateur de la santé des écosystèmes (**Contribution à l'étude de l'effet des incendies sur la faune de la litière, 2024; Kadi, 2015**).

Enfin, il est important de souligner que si certaines espèces bénéficient temporairement des nouvelles conditions créées par le feu, la diversité globale et la stabilité des écosystèmes forestiers dépendent d'une gestion raisonnée des incendies et d'un suivi écologique régulier, notamment dans les zones protégées telles que la forêt de Ain Khlar (**Ramsar, 2003; WSL, 2024**).

Les résultats confirment une richesse entomologique élevée dans la subéraie d'Ain Khlar, comparable à celle observée dans d'autres forêts méditerranéennes algériennes (**Bendjaballah et al., 2019**). La dominance des Carabidés souligne leur rôle écologique comme prédateurs et bio-indicateurs. La corrélation entre la qualité du sol (carbone organique) et la faune du sol est cohérente avec les travaux de **Masna & Habbachi (2014)**.

La dynamique post-incendie favorise une augmentation temporaire de la richesse, liée à la régénération floristique et aux modifications du sol (Benabed et al., 2007 ; Amraoui, 2015). Cependant, la succession écologique tend à réduire cette richesse au fil des années, avec un retour progressif à la composition initiale.

➤ Impact de l'incendie sur la faune du sol

Les résultats obtenus confirment l'hypothèse d'une forte réduction de la diversité et de l'abondance de la faune du sol après incendie. Les Collemboles et les Acariens, qui représentent la majorité des individus, sont particulièrement affectés, ce qui corrobore les observations de **Certini (2005) et Benslama et al. (2017)**.

DISCUSSION

➤ **Groupes résilients et vulnérables**

Les Formicidae montrent une certaine résilience, probablement en raison de leur capacité de recolonisation rapide et de leur tolérance aux perturbations (Pausas & Keeley, 2019). À l'inverse, les Oligochètes et Diplopodes, plus sensibles à la perte d'humidité et à la destruction de la litière, voient leurs effectifs chuter drastiquement.

➤ **Comparaison avec d'autres études**

Dans le contexte algérien, Boukhenfouf & Bouazza (2011) ont également noté une récupération lente de la faune du sol post-incendie, avec une recolonisation progressive sur plusieurs années. À l'échelle internationale, les travaux de Pietikäinen & Fritze (1995) en Finlande et de Pausas & Keeley (2019) en Méditerranée confirment que la récupération dépend de nombreux facteurs : intensité du feu, type de sol, climat, et disponibilité de refuges.

➤ **Facteurs écologiques influents**

La texture du sol, la couverture végétale résiduelle, et la fréquence des incendies sont des facteurs déterminants pour la dynamique de la faune du sol. La forêt d'Ain Khiar, caractérisée par une forte densité de maquis et une litière épaisse, subit une déstructuration importante du sol après incendie, ce qui retarde la recolonisation.

Ce mémoire a permis de caractériser la richesse et la diversité des insectes du sol dans la subéraie d'Ain Khiar. La richesse spécifique élevée et la diversité des groupes entomologiques confirment l'importance écologique de cet écosystème. Les analyses montrent que la qualité du sol et les perturbations, notamment les incendies, influencent fortement la faune du sol. Ces données sont essentielles pour la gestion durable de la subéraie et la conservation de sa biodiversité dans un contexte de changement climatique.

➤ **Contexte méditerranéen et mondial : impacts du réchauffement climatique sur les écosystèmes forestiers et la biodiversité entomologique**

Le bassin méditerranéen est reconnu comme l'une des régions les plus vulnérables au changement climatique à l'échelle mondiale. Selon les projections du GIEC, cette zone connaîtra une augmentation significative des températures, pouvant atteindre entre +1,9 °C et +4,6 °C d'ici

DISCUSSION

la fin du siècle, accompagnée d'une diminution marquée des précipitations estivales, parfois jusqu'à -47 % (GIEC, 2013 ; Grec-Sud, 2018).

Ce réchauffement s'accompagne d'une intensification des sécheresses, d'une hausse de l'évapotranspiration et d'une fréquence accrue d'événements climatiques extrêmes (canicules, tempêtes), ce qui exerce une pression considérable sur les écosystèmes forestiers méditerranéens, notamment les subéraies.

➤ **Impacts sur les forêts méditerranéennes et les subéraies**

Les subéraies méditerranéennes, dominées par le chêne-liège (*Quercus suber*), sont particulièrement sensibles à ces changements. Le climat méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, conditionne la dynamique et la structure de ces forêts (Boutte, 2010 ; Silva Mediterranea, 2016)

Le réchauffement climatique modifie la disponibilité en eau du sol, provoque des dépérissements d'arbres par défoliation et mortalité, et favorise la multiplication des agents biotiques (insectes ravageurs, pathogènes) qui aggravent la santé des peuplements (Grec-Sud, 2018). Par exemple, des dépérissements massifs de pins sylvestres et sapins ont été observés dans les Alpes du Sud et l'arrière-pays méditerranéen, liés à la sécheresse et à la chaleur (Grec-Sud, 2018)

Dans certaines régions méditerranéennes, comme la Corse ou le sud-ouest de l'Espagne, des modèles climatiques prévoient une contraction drastique des zones favorables au chêne-liège, avec une fragmentation des habitats et une possible disparition locale des subéraies (Silva Mediterranea, 2016 ; Boutte, 2010)

Au Maghreb, les projections indiquent également une réduction importante des zones subéricoles, sans possibilité d'extension vers le nord, ce qui menace la pérennité de ces forêts (Gazi Gader, cité dans Silva Mediterranea, 2016)

➤ **Effets sur la biodiversité entomologique du sol**

Les insectes du sol, acteurs essentiels des processus écologiques (décomposition, recyclage des nutriments, régulation des populations), sont directement impactés par ces modifications

DISCUSSION

climatiques. Le réchauffement et l'assèchement des sols modifient la composition et la richesse des communautés entomologiques, favorisant souvent des espèces thermophiles au détriment des espèces sensibles à la sécheresse (**Bendjaballah et al., 2019 ; Masna & Habbachi, 2014**). Par ailleurs, les incendies, plus fréquents et intenses en contexte de changement climatique, modifient la structure du sol et la végétation, entraînant des dynamiques complexes de recolonisation entomologique (**Benabed et al., 2007 ; Amraoui, 2015**)

Ces perturbations peuvent temporairement augmenter la richesse spécifique en favorisant les espèces pionnières, mais à long terme, elles risquent d'appauvrir la biodiversité.

➤ **Contexte mondial et perspectives**

Au niveau global, la Méditerranée, bien que ne représentant que 0,82 % de la surface océanique mondiale, concentre entre 4 et 18 % de la biodiversité marine mondiale, ce qui souligne son rôle crucial pour la conservation (**RAC/SPA, 2018**). Le réchauffement des eaux profondes de 1 à 2 °C en 30 ans illustre la rapidité des changements en cours (**Bessières & Paoli, 2023**). Sur terre, la combinaison du réchauffement, de la pollution atmosphérique (notamment ozone) et des pressions anthropiques fragilise les forêts méditerranéennes (**Grec-Sud, 2018**)

Les projections climatiques indiquent que sans mesures d'adaptation et de gestion durable, la biodiversité méditerranéenne, y compris les insectes du sol des subéraies, pourrait subir des pertes irréversibles, affectant les services écosystémiques essentiels (**Plan Bleu, 2023 ; WWF, 2021**).

- **Études sur la rhizosphère post-incendie** : Une recherche menée dans une subéraie incendiée de la région de Zekri a mis en évidence l'importance des changements du sol à proximité des racines, dépendant de la nature des espèces végétales accompagnant le chêne-liège ainsi que des caractéristiques initiales du sol.
- **Activité fongique dans les sols incendiés** : Une étude réalisée dans la forêt domaniale d'Oumalou, Wilaya de Tizi Ouzou, a examiné l'activité fongique et la régénération de la diversité biologique du sol sous une subéraie incendiée. Les résultats ont montré une amélioration de la diversité biologique du sol deux ans après l'incendie.
- **Impact des incendies sur la biodiversité de l'Atlas Blidéen** : Une analyse des effets des

DISCUSSION

incendies sur la biodiversité végétale dans l'Atlas Blidéen a révélé des changements significatifs dans la composition floristique et une augmentation de l'indice de perturbation, indiquant une dégradation des strates arborées et arbustives.

➤ **Études Euro-Méditerranéennes**

Pour une perspective plus large, nous intégrerons des recherches telles que :

- **Vulnérabilité des sols méditerranéens aux incendies récurrents** : Une thèse de l'Université Paul Cézanne - Aix-Marseille III a exploré la vulnérabilité des sols méditerranéens aux incendies récurrents et la restauration de leurs qualités chimiques et microbiologiques par des apports de composts.
- **Organisation de la diversité des coléoptères en milieu méditerranéen perturbé par le feu** : Une étude a examiné l'organisation de la diversité des coléoptères dans des écosystèmes méditerranéens provençaux perturbés par le feu, mettant en évidence les effets des incendies sur la composition des communautés d'insectes.

➤ **Implications pour la gestion et la restauration**

L'importance de la faune du sol dans les processus de décomposition et de fertilité souligne la nécessité d'intégrer la restauration biologique dans les plans de gestion post-incendie. La réintroduction de litière, la limitation du piétinement et la surveillance de la faune édaphique sont des mesures recommandées. Les subéraies humides comme celles d'El Kala et Ain Khiair présentent une richesse faunistique liée à la diversité végétale et aux caractéristiques microclimatiques (cours d'eau, densité de la strate herbacée)

L'entomofaune, en particulier les Coléoptères et Orthoptères, est un bon indicateur de la qualité écologique et de l'état sanitaire des forêts de chêne-liège

L'échantillonnage de la faune entomologique doit prendre en compte la physionomie du milieu (strates végétales, densité) avec des techniques adaptées : pièges Barber pour le sol, filet fauchoir pour la strate herbacée, et autres méthodes selon les groupes ciblés

DISCUSSION

Un inventaire sur plusieurs saisons ou une année complète est conseillé pour une meilleure représentativité

L'étude peut se concentrer sur les Coléoptères, qui sont souvent les plus riches et diversifiés dans ces milieux forestiers

La subéraie d'El Kala, proche géographiquement, est composée d'une strate arborée dominée par *Quercus suber* et d'une strate arbustive variée (*Pistacia lentiscus*, *Erica arborea*, *Phillyrea latifolia*, etc.)

Ces habitats présentent une mosaïque paysagère avec clairières, maquis dense, pelouses, offrant des niches écologiques variées pour l'entomofaune.

Les Coléoptères représentent souvent le groupe le plus diversifié, avec une forte présence de Scarabéidés et Carabidés

Les Orthoptères et autres insectes du sol complètent la diversité

La présence de coléoptères xylophages est notable, certains pouvant affecter la santé des arbres

Les résultats indiquent une forte perturbation de la faune du sol suite à l'incendie. La diminution de l'abondance et de la diversité pourrait impacter la résilience de l'écosystème forestier, notamment en ce qui concerne la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments.

La récupération de la faune du sol pourrait nécessiter plusieurs années, dépendant des conditions climatiques et de la gestion post-incendie.

Ces éléments sont appuyés par des études récentes menées dans la région d'El Kala et le Nord-Est algérien, qui peuvent servir de base méthodologique et comparative pour un mémoire sur la richesse entomologique du sol à Ain Khiar

Dans le nord-est algérien, la faune du sol est très diversifiée. On y trouve des microarthropodes (acariens, collemboles), des nématodes, des vers de terre, des insectes

DISCUSSION

saprophages, des myriapodes et d'autres invertébrés. Cette faune joue un rôle essentiel dans la décomposition de la matière organique, la formation de l'humus et la fertilité du sol (**Djellouli et al., 2019**). La composition et l'abondance de cette faune dépendent de la richesse de la litière, de l'humidité et de la couverture végétale (**Brahimi et al., 2020**).

À l'échelle mondiale, la faune du sol est également structurée en fonction de la profondeur et du type de sol. Dans les forêts tempérées, boréales et méditerranéennes, on retrouve une grande diversité d'acariens oribatides, de vers de terre et d'insectes saprophages, qui assurent la stabilité et la résilience des écosystèmes (**Lavelle et Spain, 2001**).

➤ **Après incendie**

Les incendies provoquent une forte mortalité de la faune du sol, surtout dans les couches superficielles. Les animaux vivant dans la litière sont les plus touchés, tandis que ceux qui vivent plus en profondeur sont parfois épargnés, selon l'intensité du feu et l'humidité du sol (**Certini, 2005**). Après l'incendie, la recolonisation du sol est lente, car la litière et l'humus mettent du temps à se reconstituer, surtout en climat méditerranéen (**Rossi et al., 2012**).

À court terme, la biomasse et la diversité de la faune du sol chutent drastiquement. Les espèces pionnières, plus tolérantes aux conditions extrêmes, recolonisent en premier, suivies par des espèces plus spécialisées lorsque la végétation revient (**Pérez-Valera et al., 2018**). À long terme, la diversité et l'abondance peuvent se rétablir, mais cela dépend de la fréquence des incendies et de la capacité de régénération du milieu (**Neary et al., 1999**).

DISCUSSION

➤ Tableau comparatif

Période	Abondance	Diversité spécifique	Groupes dominants	Fonction écologique principale
Avant incendie	Élevée	Élevée	Vers de terre, acariens, insectes saprophages	Décomposition, structuration du sol
Immédiatement après	Très faible	Faible à modérée	Espèces pionnières, microfaune profonde	Décomposition ralentie, sol appauvri
Quelques années après	Moyenne	Variable (parfois plus élevée temporairement)	Insectes pionniers, araignées, acariens	Recolonisation, début de restructuration
Long terme (>10-20 ans)	Élevée (si pas de nouveaux feux)	Élevée	Faune spécialisée, communautés stables	Retour aux fonctions initiales

Les subéraies humides comme celles d'El Kala et Ain Khiair présentent une richesse faunistique liée à la diversité végétale et aux caractéristiques microclimatiques (cours d'eau, densité de la strate herbacée)

L'entomofaune, en particulier les Coléoptères et Orthoptères, est un bon indicateur de la qualité écologique et de l'état sanitaire des forêts de chêne-liège

L'échantillonnage de la faune entomologique doit prendre en compte la physionomie du milieu (strates végétales, densité) avec des techniques adaptées : pièges Barber pour le sol, filet fauchoir pour la strate herbacée, et autres méthodes selon les groupes ciblés

DISCUSSION

Un inventaire sur plusieurs saisons ou une année complète est conseillé pour une meilleure représentativité

Conclusion

CONCLUSION

CONCLUSION

L'étude menée dans la forêt d'Ain Khiair a permis de mettre en évidence l'impact significatif des incendies sur la diversité, la structure et la composition de la faune du sol dans un écosystème forestier méditerranéen algérien. Les résultats obtenus montrent une diminution marquée de la richesse spécifique, de l'abondance et des indices de diversité dans les sites incendiés par rapport aux sites témoins. Cette régression s'explique principalement par la disparition de la litière, la modification des propriétés physico-chimiques du sol et la perte des microhabitats nécessaires à la survie de nombreux groupes fauniques (**Certini, 2005 ; Kadi, 2015**).

L'analyse détaillée des communautés édaphiques a révélé une forte sensibilité des groupes transformateurs de la litière (collemboles, acariens, oligochètes) aux perturbations liées au feu, tandis que certains taxons terricoles profonds montrent une meilleure résilience. La dominance d'espèces opportunistes dans les sites incendiés traduit une simplification des réseaux trophiques et une perte temporaire de fonctions écologiques essentielles, telles que la décomposition de la matière organique et la structuration du sol (**Lavelle et al., 2006**).

Ces observations confirment les tendances relevées dans d'autres régions méditerranéennes et en Algérie (**Benslama et al., 2017 ; Boukhenfouf & Bouazza, 2011**), où la récupération de la faune du sol dépend fortement de la rapidité de la reconstitution du couvert végétal, de la qualité de la litière et de la fréquence des incendies. Si la résilience naturelle des écosystèmes méditerranéens permet à terme le retour d'une certaine diversité, la répétition des incendies, le changement climatique et les pressions anthropiques constituent aujourd'hui de véritables menaces pour la stabilité et la fonctionnalité des sols forestiers (**Pausas & Keeley, 2019 ; Sciences et Avenir, 2022**).

Au regard de ces résultats, plusieurs recommandations peuvent être formulées :

- Intégrer la restauration de la litière et la réintroduction d'espèces végétales pionnières dans les programmes de gestion post-incendie ;

CONCLUSION

- Mettre en place un suivi régulier de la faune du sol comme indicateur de la santé des écosystèmes forestiers ;
- Sensibiliser les acteurs locaux à l'importance de la biodiversité édaphique et à la prévention des incendies ;
- Encourager la recherche pluridisciplinaire sur les interactions entre la faune du sol, la végétation et les propriétés du sol après incendie.

Perspectives

Afin de compléter et d'approfondir les connaissances acquises dans ce travail, plusieurs axes de recherche et d'action peuvent être envisagés :

- **Suivi à long terme** : Mettre en place des protocoles de suivi pluriannuels pour évaluer la dynamique de recolonisation de la faune du sol et la restauration des fonctions écologiques après incendie.
- **Approches comparatives régionales** : Étendre l'étude à d'autres forêts algériennes et méditerranéennes afin de mieux cerner les facteurs de résilience et les trajectoires de récupération selon les contextes locaux.
- **Analyse fonctionnelle** : Intégrer des analyses fonctionnelles (activité enzymatique, respiration du sol, réseaux trophiques) pour mieux comprendre l'impact du feu sur les processus écosystémiques.
- **Modélisation et gestion adaptative** : Développer des modèles prédictifs de la réponse de la faune du sol aux incendies en fonction des scénarios climatiques et des pratiques de gestion.
- **Valorisation des résultats** : Diffuser les résultats auprès des gestionnaires, des décideurs et du grand public pour renforcer la prise en compte de la biodiversité du sol dans les politiques de gestion forestière et de lutte contre les incendies.

En conclusion, la préservation et la restauration de la faune du sol doivent être considérées comme des priorités dans la gestion durable des forêts algériennes, afin de garantir la résilience et la pérennité de ces écosystèmes face aux perturbations croissantes.

Références Bibliographie

Références bibliographie

A

- **Adjami, Y. (2009).** État sanitaire des subéraies du Nord-Est Algérien. Mémoire, Université d'Annaba.
- **Aissaoui, D. (2021).** Contribution à l'étude de la faune du sol dans la forêt de Ain Khiaar (Wilaya d'El Tarf). Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- **Amraoui, M. (2015).** Contribution à l'étude floristique post-incendie dans la subéraie de Zariffet, Tlemcen. Mémoire, Université de Tlemcen.
- **ASAL (Agence Spatiale Algérienne) (2010).** Atlas des zones humides d'Algérie. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Alger.

B

- **Bachelier, G. (1978).** La faune du sol, son écologie et son action. Paris : ORSTOM.
- **Bardgett, R.D., & van der Putten, W.H. (2014).** Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515, 505–511.
- **Barros, E., Curmi, P., Hallaire, V., Chauvel, A., & Lavelle, P. (2004).** Fauna do solo e suas funções nos ecossistemas. *Ciencia Rural*, 34(3), 715–720.
- **Benabed, K., et al. (2007).** Évolution floristique des subéraies incendiées dans la région d'El Kala. *Écoscience Méditerranéenne*, 33(1), 45–60.
- **Benzyane, M., et al. (2002).** Le chêne-liège en Méditerranée occidentale.
- **Benslama, M., Bougherara, W., & Benslama, F. (2017).** Effet du feu sur la diversité de la faune du sol en Algérie. *Revue d'Écologie*, 72(3), 123–135.
- **Bendjaballah, A., et al. (2019).** Étude des carabidés dans les peuplements forestiers de la montagne Maouna. *Revue Algérienne de Zoologie*, 15(2), 45–60.
- **Brahimi, D., et al. (2020).** Soil fauna diversity in Mediterranean forests of Algeria.

- **Bougherara, W., et al. (2019).** Effet du feu sur la structure des communautés de macrofaune du sol. *Revue Algérienne des Sciences de la Nature*, 4(1), 45–53.
- **Bouabdallah, K. (2016).** Synthèse bibliographique sur la forêt algérienne. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- **Boukhenfouf, M., & Bouazza, M. (2011).** Biodiversité du sol après incendie en région méditerranéenne. *African Journal of Ecology*, 49, 45–53.
- **Boudedja, S. (2013).** Étude écologique du massif forestier de Béni Ghobri. Thèse, Université d'Annaba.
- **Boudy, P. (1955).** Economie forestière nord-africaine.
- **Boutte, B. (2010).** Le chêne-liège face au changement climatique en Corse. Vivexpo 2010.

C

- **Cammeraat, L.H., & Imeson, A.C. (1999).** Fire and soil erosion in the Mediterranean. *Earth-Science Reviews*, 48, 159–170.
- **Caractères généraux de la faune endogée dans trois stades de subéraie (2013).** Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- **Certini, G. (2005).** Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, 1–10.
- **Chararas, C. (1962).** Étude biologique des insectes ravageurs du Pin d'Alep en Algérie. *Mém. Soc. r. belge Entomol.*

D

- **Direction Générale des Forêts (2020).** Rapport annuel sur les forêts algériennes.
- **Djellouli, Y., et al. (2019).** Biodiversité de la faune du sol dans les forêts méditerranéennes algériennes.

E

- **Eidg. Forschungsanstalt WSL. (2023).** Conséquences des incendies de forêts sur la biodiversité. *WSL Reports*

F

- **FAO (2015).** L'état des forêts méditerranéennes.
- **FAO. (2021).** Fire management: global assessment 2021.

G

- **Gharbi, M., et al. (2017).** Dynamique des subéraies algériennes et risques d'incendies.
- **Gillon, D., & Rapp, M. (1991).** Fire effects on soil and vegetation in Mediterranean ecosystems. *Plant and Soil*, 138, 15–24.
- **GUIT, B., & Nedjimi, B. (2021).** Cicatrisation post-incendie de la pinède semi-aride de Bastama (Sehary Guebli, région de Djelfa, Algérie). *Ecologia Mediterranea*, 47(1), 87–98.
- **Gilot, B. (1990).** Les invertébrés du sol. INRA Editions.
- **Gobat, J.M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010).** Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- **GIEC (2013).** Rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- **Grec-Sud (2018).** Le changement climatique, une nouvelle contrainte pour la forêt méditerranéenne.

H

- **Hassan, L., & Benslama, M. (2020).** Biodiversité du sol en Algérie : état des lieux et perspectives. *Journal Algérien d'Écologie*, 6(2), 89–105.

I

- **Inventaire Forestier National (2010).** Ministère de l'Agriculture, Algérie.

K

- **Kadi, S. (2015).** Organisation de la faune édaphique dans deux habitats forestiers Subéraie et Maquis de la région d'El Kala (Algérie). Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

L

- **Lavelle, P. (1997).** Faune du sol et fonctionnement des écosystèmes. *La Recherche*, (299).
- **Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., & Rossi, J.-P. (2006).** Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, S3–S15.
- **Laroche, L. (2018).** Analyses statistiques en écologie. CIRAD.

M

- **Masna, F., & Habbachi, W. (2014).** Inventaire des blattes forestières des pinèdes de Djelfa. *Revue ElWahat*, 12(1), 89–98.
- **Mezrag, D., & Ziane, M. (2013).** Les incendies des forêts en Algérie et leurs impacts sur l’environnement. Géotunis.
- **Mémoire UMMTO (2019).** Impact des incendies sur quelques aspects de la rhizosphère d’un écosystème forestier algérien. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 108 p.
- **Mémoire Univ. Djelfa (2018).** Contribution à l’étude de l’effet des incendies sur la faune de la litière d’un écosystème forestier de la région de Djelfa. Mémoire de Master, Université Ziane Achour, Djelfa.
- **MedECC (2021).** Rapport sur les impacts du changement climatique dans le bassin méditerranéen.

N

- **Neary, D.G., et al. (1999).** Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis.

O

- **Ou-et-quand.net (2023).** Climat El Tarf. Consulté en juin 2025.

P

- **Planificateur.a-contresens.net (2023).** Climat El Tarf. Consulté en juin 2025.

- **Pausas, J.G., & Keeley, J.E. (2019).** Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289–295.
- **Pérez-Valera, E., et al. (2018).** Fire modifies the structure of soil animal communities.
- **Prodon, R. (1995).** Dynamique et gestion des écosystèmes méditerranéens après incendie. *Forêt Méditerranéenne*, 16(2), 115–126.
- **Plan Bleu (2023).** Changement climatique et environnement en Méditerranée.

R

- **R Core Team (2023).** R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- **Rossi, J.P., et al. (2012).** Impact of fire on the soil fauna and soil processes in Mediterranean ecosystems.
- **R Core Team. (2023).** (Duplicata, déjà cité.)
- **Ramsar (2003).** Aulnaie de Aïn Khiar, Wilaya d’El Tarf. Fiche descriptive Ramsar, DZ1293.
- **Ramsar (2019).** FDR DZ1293, Service d’information sur les Sites Ramsar.
- **RAC/SPA (2018).** Impact des changements climatiques sur la biodiversité marine et côtière en Méditerranée.

S

- **Serrasolses, I., Romanyà, J., Khanna, P.K., & Rodà, F. (2008).** Soil fauna recovery after fire in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management*, 256, 267–276.
- **Sciences et Avenir (2022).** Les forêts méditerranéennes face au feu : résilience et limites. Article en ligne, consulté en juin 2025.
- **Silva Mediterranea (2016).** Facteurs de vulnérabilité des subéraies algériennes aux incendies dans le contexte du changement climatique.

T

- **Trabaud, L. (2000).** Post-fire regeneration of vegetation and soil fauna in Mediterranean ecosystems. *Ecoscience*, 7(2), 118–126.

W

- **WSL (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage) (2024).** Incendies de forêt et biodiversité du sol: études de cas méditerranéens. Rapport scientifique, Birmensdorf, Suisse.
- **WSL. (2023).** Conséquences des incendies de forêts sur la biodiversité. (Duplicata)