



République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

**Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**جامعة قسنطينة 1 الإخوة مtentouri
كلية علوم الطبيعة والحياة**

Département : Biologie Animale

قسم : بيولوجيا الحيوان

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie et contrôle des populations d'insectes

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Inventaire des collemboles dans deux régions Béni Haroun et Collo

Présenté par : FELAHI Romaissa

Le : 28/06/2025

CEMALI Afef

Jury d'évaluation :

Président : BENDJABALLAH Mohamed (MCB- U Constantine 1 Frères Mentouri)
Encadrant : BRAHIM BOUNAB Hayette (MCA- U Constantine 1 Frères Mentouri).
Examinateur : SAOUACHE Yasmina (MCA- U Constantine 3 Salah Boubnider).

Année universitaire 2024 - 2025

Remerciements

Avant toute chose, nous exprimons notre profonde reconnaissance à Dieu, Le Tout-Puissant, pour la force, la patience et les opportunités qu'Il nous a accordées tout au long de ce parcours.

Nos remerciements les plus sincères vont ensuite à nos parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral et leurs prières silencieuses, qui nous ont accompagnées même dans les moments les plus difficiles. Leur présence, même discrète, a été notre plus grande source de courage.

Nous souhaitons exprimer toute notre gratitude à Madame Brahim Bounab Hayatte, notre encadrante, pour sa confiance, son accompagnement bienveillant et ses conseils précieux. Merci de nous avoir guidées avec patience et générosité à chaque étape.

Nos remerciements vont également à Monsieur El Achi Nouredinne, pour son aide, ses encouragements, et sa disponibilité qui nous ont beaucoup apporté.

Nous n'oubliions pas Monsieur Hamra Kroua Salah, que nous remercions chaleureusement pour nous avoir donné l'opportunité d'approfondir l'étude des collemboles, un sujet aussi fascinant que méconnu, et pour sa confiance dans notre travail.

Enfin, un grand merci à tous nos enseignants, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont soutenues, conseillées ou encouragées, de près ou de loin, au cours de cette aventure. Grâce à vous, cette étape n'est pas seulement un travail accompli, mais une expérience humaine inoubliable.

Dédicace

À mes parents

Dont l'amour inébranlable a été le socle silencieux de chaque pas que j'ai fait. Aucun merci ne pourra jamais égaler les sacrifices que vous avez faits, ni la force que vous m'avez donnée quand le monde entier semblait tourner le dos.....Ce mémoire, c'est aussi le vôtre.

À mon frère

Merci pour ta présence solide et ton soutien indéfectible, surtout dans les moments où j'avais l'impression de perdre pied. Merci d'être toujours là pour moi.

À mes sœurs

Pour chaque sourire partagé, pour chaque souvenir qui éclaire mes journées, vous êtes la douceur qui apaise les tempêtes. Merci de ne plus prendre mes trucs !

À mon encadreur

Pour sa patience inépuisable et ses mots toujours encourageants, merci de m'avoir guidée avec rigueur et bienveillance.

À MK

Pour ce chapitre que nous venons d'ouvrir ensemble, sans titre encore, mais déjà riche de promesses et d'émotions partagées.

À ma binôme, pour les fous rires, les galères partagées, et cette complicité unique, qui a rendu ce chemin beaucoup moins solitaire.

Romaissa

A mon père, mon HEROS.

A ma mère, symbole d'AMOUR et de PATIENCE.

A mes sœurs Soumia et Rim et mon frère Abd Rahmen.

A mes amis : Lina et Mina.

A toute l'équipe d'entomologie, mes professeurs et enseignants et mon encadreur « Brahim Bounab Hayette ».

A Monsieur BENDJABALLAH Mohamed, c'était un honneur de vous connaître et d'être un de vos étudiants.

Afef

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Listes des tableaux

Liste des figures

Résumé

ملخص

Abstract

Introduction	14
Chapitre 01 : Données Bibliographiques	
1. Généralité sur la faune du sol.....	17
2. Généralité sur Les collemboles	18
3. Étymologie.....	19
4. Histoires des collemboles	20
5. Systématique et phylogénie des collemboles.....	21
6. Morphologie générale des collemboles	22
6.1. Anatomie externe.....	23
6.1.1. La tête	24
6.1.1.1. Antennes.....	24
6.1.1.2. Région buccale.....	26
6.1.1.3. Les yeux.....	27
6.1.2. Le thorax.....	29
6.1.3. L'abdomen.....	31
6.1.3.1. Collophore.....	31
6.1.3.2. Furca.....	31
6.2. Anatomie interne	32
6.2.1. Le Système tégumentaire.....	32
6.2.2. Le système nerveux.....	32
6.2.3. Le système respiratoire.....	33
6.2.4. Le système circulatoire	34
6.2.5. Système excréteur	35
6.2.6. Le système endocrinien.....	35
7. Reproduction et développement des collemboles	36
7.1. La reproduction	36
7.1.1. Appareil génital et cycle sexuel des femelles	37
7.1.2. Appareil génital et cycle sexuel du mâle	37
7.2. La fécondation	38
7.3. La ponte	39
7.4. Œuf.....	41
7.5. Ecomorphose.....	41
7.6. Le cycle de vie	41
7.6.1. Cycle d'intermue (CIM) des adultes	41

8. Ecologie des collemboles	42
8.1. Adaptation morphologique.....	42
8.2. Influence des facteurs du milieu sur la vie des Collemboles	43
8.2.1. Les collemboles et l'humidité.....	43
8.2.2. Les collemboles et la température	43
8.2.3. Les collemboles et la lumière	43
8.2.4. L'adaptation à la sécheresse	44
8.2.5. Adaptation halophiles.....	44
8.2.6. Adaptation mixte	44
8.2.6.1. Ecomorphose.....	44
8.2.6.2. Cyclomorphose.....	44
8.3. Habitat	45
9. Le régime alimentaire	45
10. Les collemboles en Algérie.....	46
Chapitre 02 : Matériels & méthodes	
1. Présentation des zones de travail	49
1.1. La situation géographique	49
1.1.1. Relief	52
1.1.2. Le climat	54
1.1.3. La Température	56
1.1.4. La Pluviométrie.....	56
1.2. La végétation	61
1.2.1 Wilaya de Mila.....	61
1.2.2. Wilaya de Skikda.....	62
2. Matériels & méthodes	65
2.1. Techniques de prélèvement des échantillons	66
2.2. Extraction des Collemboles.....	68
2.3. Tri et dénombrement	69
2.4. Identification des collemboles.....	69
2.5. Conservation et étiquetage.....	69
2.6. Fixation	70
2.7. Eclaircissement	70
3. Montage	71
4. Identification.....	72
Chapitre 03 : Résultats & discussion	
1. Composition faunistique	77
2. Aire de distribution.....	83
3. Classification morpho-écologique.....	84
4. Discussion.....	85
Conclusion.....	91
Références bibliographique	92

La liste des tableaux

Tableau 1 : Moyennes mensuelles des températures à Mila.....	56
Tableau 2 : Valeurs mensuelles de la pluviométrie dans la Wilaya de Mila	59
Tableau 3 : Coordonnées géographiques des trois stations visitées.....	63
Tableau 4 : Liste des collemboles identifiés dans les différentes localités d'étude, leur aire de distribution et leur type biologique.....	77

Listes de figures

Figure 1 : Organismes de sol (Anonyme.2015).....	18
Figure 2 : Vue rapprochée d'un collembole, illustrant ses caractéristiques morphologiques distinctives. (BugGuide.Net. Collembola - <i>Ptenothrix atra</i> .2015).....	19
Figure 3 : Image historique d'une illustration de collembole tirée d'un ancien manuscrit entomologique. (Internet Archive : Etymology of my Collembola.).....	21
Figure 4 : Classification des collemboles (Garcelon, 2014).....	22
Figure 5 : Morphologie générale des collemboles (Jardiner Autrement, 2025).....	24
Figure 6 : Morphologie générale d'un Poduromorpha (Modifié d'après Leblalta, 2009).....	24
Figure 7 : <i>Heteromurus major</i> Petit collembole argenté à antennes segmentées (Kristobal.2012).....	25
Figure 8 : Symphypléones :(de gauche à droite) – <i>Dicyrtomina ornata</i> , <i>Sminthurides malmgreni</i> , <i>Allacma fusca</i> . (Garcelon.2014).....	26
Figure 9 : Pièce buccale des collemboles (Garcelon.2014).....	27
Figure 10 : les Pièces buccales de <i>Tetradontophora bielanensis</i> (Bendjaballah, 2019).....	27
Figure 11 : De gauche à droite : Amas d'ocelles (grossissement x 1500) sur <i>Hypogastrura nivicola</i> . (Anonyme.2010).....	28
Figure 12 : Implantations ocelles sur Poduromorpha-Entomobryomorpha et Symphypleona (Les Collemboles. Eye plates of springtails 2025).....	29
Figure 13 : Pattes Symphypléones (Garcelon, 2025).....	30
Figure 14 : Pattes Poduromorphes (Garcelon, 2025).....	30
Figure 15 : Collophore (Garcelon, 2025).....	31
Figure 16 : Système nerveux d' <i>Allacma fusca</i> (Benjabalah.2019).....	33
Figure 17 : Le système respiratoire des collemboles (Garcelon.2014).....	34
Figure 18 : Système circulatoire des collemboles (Garcelon.2014).....	34
Figure 19 : Reproduction des collemboles (Krebs.2014).....	36
Figure 20 : Fécondation chez les collemboles. (Krebs.2014).....	38
Figure 21 : Ponte du collembole <i>Folsomia candida</i> . (Tully.2010).....	40
Figure 22 : Nouveau-né du collembole <i>Folsomia candida</i> , à proximité de quelques œufs eux-mêmes à divers stades. (Tully.2010).....	40
Figure 23 : Cycle de vie des collemboles (Thorp Et Covich, 2015).....	42
Figure 24 : Barrage de Béni Haroun. (Photos Originaux).....	49
Figure 25 : Situation géographique de Beni Haroun (nord-est de l'Algérie) (Khelifi ,2015).....	50
Figure 26 : Région de Tamanart. (Photos originaux).....	51
Figure 27 : Situation géographique et administrative de la Wilaya de Skikda.....	51
Figure 28 : Situation géographique de Tamanart en bleu et Ouled Attia en vert (les deux stations d'étude).....	52
Figure 29 : Carte du relief de la wilaya de Mila (Belattar et Harimi, 2023).....	53
Figure 30 : Topographie de la Wilaya de Skikda. (Anonyme.2010).....	54
Figure 31 : Diagramme climatique de Skikda pendant l'année.....	55
Figure 32 : Variations des moyennes de la température à Mila (2009 /2023).....	56
Figure 33 : Courbe des températures à Skikda pour la période (1982-2022).....	58
Figure 34 : Variations des moyennes de Précipitations à Mila (2009-2023).....	59

Figure 35 : Histogramme des précipitations à Skikda pour la période (1982-2022).....	61
Figure 36 : Réparation de la superficie agricole totale dans la wilaya de Mila (Dsa, 2013 cités par Belahlou, 2016).....	61
Figure 37 : Vue satellitaire sur Hamala (Stations d'échantillonnage A) (google earth, 2025).....	64
Figure 38 : Vue satellitaire sur Tamanart (Station d'échantillonnage B) (Google earth,2025).....	64
Figure 39 : Vue satellitaire sur Ouled Attia (Station d'échantillonnage C) (Google earth,2025).....	64
Figure 40 : Station d'étude dans la localité de Hamala (S /A) (Photos originaux).....	65
Figure 41 : Station d'étude dans la localité de Ouled Attia (Photos originaux).....	65
Figure 42 : Laboratoire de Biosystématique et Ecologie des Arthropodes (photo originale).....	66
Figure 43 : Sacs d'échantillons (Photo originale).....	67
Figure 44 : La mousse (Photo originale).....	67
Figure 45 : Le sol (Photo originale).....	67
Figure 46 : Le bois mort (Photo originale).....	67
Figure 47 : La litière (Photo originale).....	67
Figure 48 : Extraction des arthropodes par la méthode de Berlèse-Tullgren (Photo originale).....	68
Figure 49 : La brosse de Cassagnau (photo originale).....	69
Figure 50 : Loupe binoculaire de marque « Leica » modèle « S8 AP0 ».....	69
Figure 51 : Conservation des spécimens dans des tubes Eppendorf étiquetés contenant de l'alcool 70% (Photo originale).....	70
Figure 52 : Proportions (en %) des espèces récoltées par chaque ordre.....	79
Figure 53 : Représentation de la proportion des espèces par ordre dans la station A.....	79
Figure 54 : Représentation de la proportion des espèces par ordre dans la station B.....	80
Figure 55 : Représentation de la proportion des espèces par ordre dans la station C.....	80
Figure 56 : Répartition des collemboles identifiés par localité.....	81
Figure 57 : Fréquences absolues des Familles, genres et espèces identifiées.....	81
Figure 58 : Le nombre des familles, genres et espèces des collemboles identifiées dans les trois localités d'étude.....	82
Figure 59 : Répartition des espèces récoltées sur les différentes familles.....	83
Figure 60 : Aire de distribution des espèces identifiées en pourcentage.....	84
Figure 61 : La classification morpho-écologique des espèces.	81

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de la faune collembologique dans trois stations du nord-est algérien : Beni Haroun, Tamanart et Ouled Attia. Il s'agit de la première exploration menée dans cette région, où 12 365 individus ont été collectés et analysés. Au total, 39 espèces distinctes ont été identifiées, réparties en 27 genres et 11 familles, appartenant aux ordres Poduromorpha, Entomobryomorpha, Symphyleona et Neelipleona.

L'ordre des Poduromorpha domine nettement en termes de diversité spécifique, suivi par les Entomobryomorpha. La station de Tamanart se distingue par sa richesse spécifique, probablement en lien avec la complexité écologique du site. La majorité des espèces observées appartient aux familles Neanuridae, Hypogastruridae, Entomobryidae et Isotomidae. Les résultats obtenus sont globalement cohérents avec les travaux antérieurs menés dans d'autres régions du nord-est algérien, tout en révélant la présence d'espèces non identifiées ou endémiques, suggérant un potentiel écologique encore sous-exploré. La structure écologique des collemboles identifiés met en évidence une dominance des formes hémédaphiques, liées à la litière et aux bois morts.

Cette étude apporte une contribution originale à la connaissance de la biodiversité édaphique en Algérie et constitue une base pour des recherches futures plus approfondies sur les communautés de collemboles, leur écologie et leur rôle bioindicatif dans les écosystèmes du sol.

Mots clés : Collembole, diversité, Béni Haroun, Tamanart, habitats.

ملخص

يتناول هذا البحث دراسة التنوع الحيواني لحشرات الكوليمبولا في ثلاث محطات تقع في شمال شرق الجزائر، وهي: بني هارون، تامنارت، وأولاد عطية. وتعد هذه الدراسة أول استكشاف علمي يُنجز في هذه المنطقة، حيث تم جمع وتحليل 12,365 عينة.

أسفرت الدراسة عن تحديد 39 نوعاً مختلفاً، تنتهي إلى 27 جنساً و 11 عائلة، تتبع أربع رتب رئيسية من الكوليمبولا. وقد سُجلت أعلى نسبة من التنوع لدى الرتبة الأولى، تليها الثانية. وتميزت محطة تامنارت بأعلى غنى نوعي، ويرجح أن يكون ذلك مرتبطًا بتعقيدها البيئي.

غالبية الأنواع المصنفة تنتهي إلى عائلات معروفة بتواجدها في التربة والغابات، مما يدل على أهمية هذه البيئات. كما كشفت النتائج عن وجود أنواع غير معروفة أو قد تكون موطنة، مما يشير إلى إمكانيات بيئية غنية لم تستكشف بعد بالشكل الكافي.

أظهرت التحاليل أن معظم الأنواع المنتشرة تعيش في الطبقات السطحية للتربة، وخاصة في الفرشة العضوية والخشب المتأحل. تمثل هذه الدراسة مساهمة علمية جديدة في فهم التنوع البيولوجي للتربة في الجزائر، وتفتح آفاقاً واسعة لأبحاث مستقبلية أعمق حول بيئات الكوليمبولا ودورها كمؤشرات حيوية في الأنظمة البيئية الترابية.

الكلمات المفتاحية: الكوليمبولا، التنوع، بني هارون، تامنارت، البيئات.

Abstract

This work focuses on the study of collembolan fauna in three stations located in northeastern Algeria : Beni Haroun, Tamanart, and Ouled Attia. It represents the first exploration conducted in this region, where 12,365 individuals were collected and analyzed. In total, 39 distinct species were identified, belonging to 27 genera and 11 families, across the orders Poduromorpha, Entomobryomorpha, Symphyleona, and Neelipleona.

The order Poduromorpha clearly dominates in terms of species diversity, followed by Entomobryomorpha. The Tamanart station stands out due to its high species richness, likely linked to the ecological complexity of the site. Most of the recorded species belong to the families Neanuridae, Hypogastruridae, Entomobryidae, and Isotomidae. The results are generally consistent with previous studies conducted in other parts of northeastern Algeria, while also revealing the presence of unidentified or possibly endemic species, suggesting an ecologically rich yet underexplored potential.

The ecological structure of the identified collembola highlights a dominance of hemiedaphic forms, associated with leaf litter and decaying wood. This study offers an original contribution to the understanding of soil biodiversity in Algeria and serves as a foundation for more in-depth future research on collembolan communities, their ecology, and their role as bioindicators in soil ecosystems.

Keywords : Collembola, diversity, Béni Haroun, Tamanart, habitats

INTRODUCTION

Introduction

Les collemboles (*Collembola*) sont des microarthropodes du sol appartenant à la classe des hexapodes. Ils représentent l'un des groupes les plus anciens, abondants et écologiquement essentiels de la faune édaphique (Hopkin, 1997). Décrits pour la première fois au XVIII^e siècle, ils comptent aujourd'hui plus de 9 000 espèces décrites dans le monde (Bellini, Weiner & Winck, 2023), bien que les estimations réelles dépassent largement ce chiffre en raison de la richesse cryptique et de la diversité morphologique (Deharveng, 2004).

Adaptés à une multitude d'environnements terrestres – allant des forêts tropicales humides aux zones boréales, en passant par les déserts arides – les collemboles présentent une grande plasticité écologique, démontrant leur rôle majeur dans la stabilité des écosystèmes (Christiansen & Bellinger, 1980 ; Potapov, 2001). Leur capacité à survivre dans des habitats extrêmes est rendue possible grâce à des adaptations morphologiques et physiologiques spécifiques, notamment leur cuticule hydrophobe et la régulation active de l'eau via le collophore (Verhoef & Witteveen, 1980 ; Greenslade, 1991).

Du point de vue fonctionnel, les collemboles jouent un rôle clé dans les processus de décomposition et de recyclage de la matière organique. Ils fragmentent les résidus végétaux, consomment champignons, bactéries et microalgues, influençant ainsi directement la composition des communautés microbiennes du sol (Zhang, Wang & Chen, 2019). Leur activité favorise l'aération du sol, améliore la structure édaphique et accélère la libération des nutriments essentiels comme l'azote et le phosphore (Hopkin, 1997 ; Nardi, Rempel & Johnson, 2020). Cette position au cœur de la chaîne trophique édaphique en fait de véritables ingénieurs du sol.

En outre, leur sensibilité aux changements environnementaux, notamment aux polluants tels que les métaux lourds, les hydrocarbures et les pesticides, en fait des bioindicateurs de choix pour évaluer la qualité biologique des sols (Hamra-Kroua & Deprince, 2010 ; Steel, 1990). De nombreuses études ont montré que la diversité et l'abondance des collemboles diminuent significativement dans les agroécosystèmes intensifs, en réponse à la fragmentation de l'habitat, aux labours profonds, ou à l'usage excessif d'intrants chimiques (Brahim Bounab & Bendjaballah, 2015 ; Deharveng & Thibaud, 1989).

En Algérie, la faune des collemboles demeure encore largement méconnue. Malgré des travaux pionniers menés par Deharveng et Thibaud (1989), mettant en lumière des espèces spécifiques aux milieux méditerranéens et sahariens, peu d'études ont été consacrées à leur taxonomie, écologie ou réponse aux stress environnementaux. Bellini & Meyer (2011) ont

néanmoins identifié des espèces nouvelles adaptées aux sols secs, soulignant l'importance de ces microarthropodes dans les dynamiques des sols nord-africains.

Ainsi, face à l'augmentation des pressions anthropiques, à la dégradation des sols et au manque de données locales, l'étude des collemboles algériens devient cruciale pour mieux comprendre les processus édaphiques, surveiller la santé des sols et intégrer ces bioindicateurs dans les stratégies durables de gestion des écosystèmes terrestres à long terme.

• Malgré l'importance écologique reconnue des collemboles dans le fonctionnement des sols et leur rôle établi comme bioindicateurs sensibles aux perturbations environnementales, leur diversité, leur distribution et leur réponse aux modifications anthropiques restent encore peu documentées en Algérie. Ce déficit de connaissances est particulièrement marqué dans les écosystèmes forestiers méditerranéens, où les pressions humaines, telles que la déforestation, les incendies ou l'agriculture intensive, modifient profondément les conditions édaphiques.

Dès lors, **comment la diversité et la structure des communautés de collemboles varient-elles en fonction des types de sols et des gradients d'altération anthropique ?** Et dans quelle mesure ces microarthropodes peuvent-ils servir d'indicateurs fiables de la qualité biologique des sols dans un contexte local encore peu étudié ?

CHAPITRE 1 : DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Généralités sur la faune du sol

La faune du sol désigne l'ensemble des organismes animaux vivant dans les horizons superficiels et profonds du sol, jouant un rôle actif dans la **décomposition de la matière organique**, la **formation du sol** et la **régulation de ses fonctions écologiques** (Lavelle & Spain, 2001). Cette biodiversité souterraine est d'une richesse insoupçonnée : elle représente environ **25 % de toutes les espèces connues sur la planète**, soulignant son importance pour le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres (Decaëns *et al.*, 2006 ; Bardgett, 2005).

Les organismes édaphiques sont généralement classés selon leur taille et leur rôle fonctionnel dans l'écosystème (Swift *et al.*, 1979 ; Bardgett, 2005) :

- **La microfaune** (< 0,2 mm) regroupe des organismes unicellulaires ou pluricellulaires microscopiques, notamment les **protozoaires** (amibes, ciliés) et les **nématodes**. Ces derniers vivent principalement dans les pores du sol saturés en eau et jouent un rôle clé dans la **régulation des populations microbiennes**, en particulier les bactéries et les champignons, ce qui influence directement les processus de minéralisation (Swift *et al.*, 1979).

- **La mésafaune** (0,2 – 2 mm), souvent négligée mais extrêmement abondante, comprend principalement les **collemboles** et les **acariens**. Ces organismes assurent le **brassage de la litière**, la **fragmentation des débris végétaux**, et influencent profondément la dynamique des communautés microbiennes du sol (Deharveng & Lek, 1995 ; Hopkin, 1997).

- **La macrofaune** (> 2 mm) inclue les organismes visibles à l'œil nu comme les **vers de terre**, les **myriapodes** (mille-pattes, centipèdes), les **insectes du sol** (scarabées, fourmis) ainsi que certains **mollusques**. Ces ingénieurs du sol participent activement à **l'aération**, au **mélange des horizons**, à la **dispersion des microorganismes** et influencent la **porosité** et la **stabilité structurale** du sol (Lavelle & Spain, 2001 ; Lavelle *et al.*, 2006).

Sur le plan écologique, cette faune constitue une **composante clé de la santé des sols**, contribuant à la **régulation des cycles biogéochimiques** tels que le **carbone**, l'**azote** et le **phosphore**, ainsi qu'à la **résilience des écosystèmes** face aux perturbations (Bardgett, 2005).

Leur diversité, leur abondance, et leur sensibilité aux changements environnementaux en font des **indicateurs biologiques précieux** pour évaluer l'état de dégradation ou de restauration des sols (Decaëns *et al.*, 2006).

À l'heure où la gestion durable des ressources naturelles devient une priorité mondiale, **une meilleure compréhension de la biodiversité édaphique** est essentielle pour développer des stratégies de conservation des sols, améliorer les pratiques agricoles et assurer la durabilité des services écosystémiques (Lavelle *et al.*, 2006 ; Bardgett, 2005).

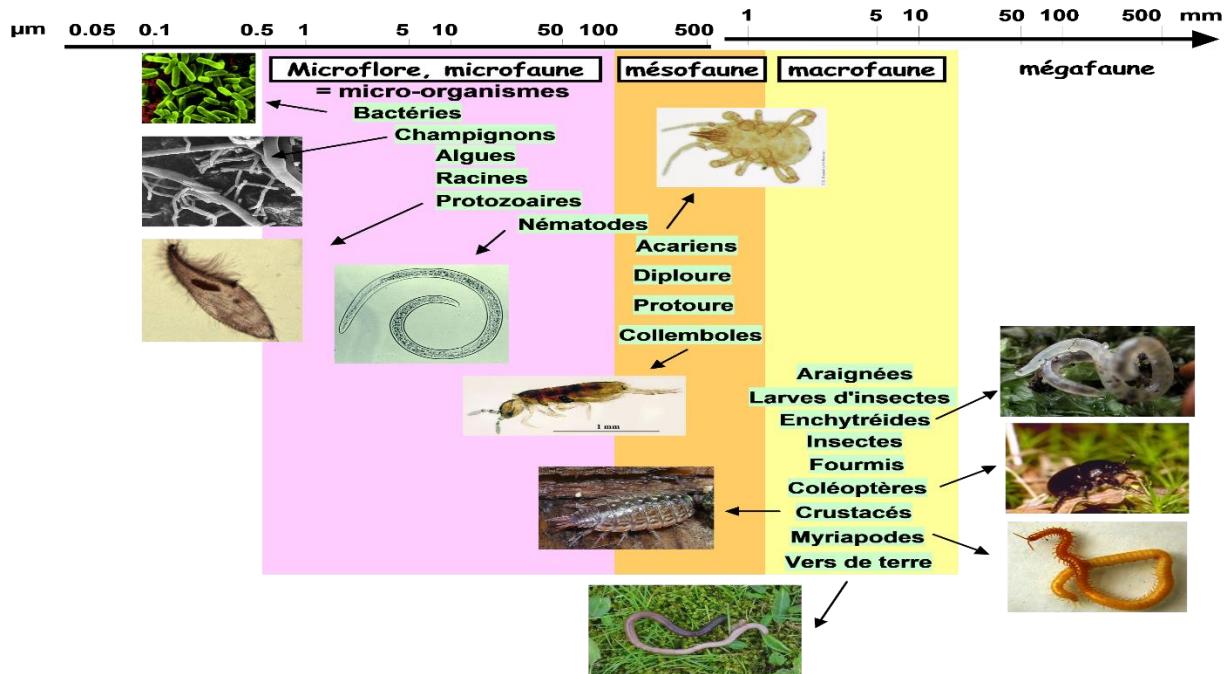


Figure 1 : Organismes de sol (Anonyme.2015)

2. Généralités sur les collemboles

Les collemboles (Collembola) sont de petits arthropodes appartenant à la classe des **Entognatha**, un groupe distinct des insectes principalement par la présence d'un **appareil buccal internalisé**, c'est-à-dire situé à l'intérieur de la cavité buccale (Hopkin, 1997). Malgré leur ressemblance morphologique avec les insectes, ils possèdent des traits uniques tels que la **furca**, une structure abdominale en forme de fourche servant à effectuer des sauts pour échapper aux prédateurs ou se déplacer rapidement dans le sol (Christiansen & Bellinger, 1998).

Présents dans presque tous les types de sols, des forêts tropicales aux environnements désertiques, les collemboles sont parmi les organismes les plus abondants du sol. Leur densité peut atteindre **jusqu'à 400 000 individus par mètre carré**, notamment dans les litières organiques riches et humides (Bellinger *et al.* 1996). Leur répartition est fortement influencée par les conditions édaphiques telles que la **température, l'humidité, le pH et la teneur en matière organique** (Fjellberg, 1998).

Les collemboles jouent un rôle central dans la **décomposition de la matière organique**, en se nourrissant principalement de champignons, bactéries, algues et résidus végétaux. Ce comportement trophique contribue à **l'activation des micro-organismes**, à la **minéralisation des nutriments** et à **l'amélioration de la structure du sol** (Deharveng, 2004 ; Filser, 2002).

Outre leur rôle écologique, les collemboles sont largement reconnus comme **bioindicateurs efficaces de la qualité des sols**. En raison de leur grande sensibilité aux polluants (métaux lourds, pesticides, hydrocarbures), à la perturbation du sol et à l'usage excessif de fertilisants, leur présence et diversité permettent d'évaluer les effets des pratiques agricoles et de la pollution environnementale (Ponge, 1993 ; Fountain & Hopkin, 2005).

En tant que modèle biologique, leur cycle de vie rapide, leur facilité d'élevage en laboratoire, et leur répartition cosmopolite font des collemboles un outil précieux en écotoxicologie, notamment dans les tests de toxicité standardisés (ISO, 2009 ; Van Straalen & Verhoef, 1997).



Figure 2 : Vue rapprochée d'un collembole, illustrant ses caractéristiques morphologiques distinctives. (BugGuide.Net. Collembola - Ptenothrix atra.2015)

3. Etymologie

Le terme *collembole* dérive du grec ancien, formé à partir de deux racines : « **κόλλα** » (*kólla*), signifiant *colle*, et « **ἐμβάλλω** » (*embállō*), signifiant *jeter dans* ou *projeter*. Cette construction fait référence à une structure caractéristique des collemboles appelée **collophore** un organe situé sur la face ventrale du premier segment abdominal. Autrefois, on pensait que

ce collophore servait d'organe adhésif, permettant à l'animal de s'ancrer au substrat, d'où l'idée de « se coller au sol » (Hopkin, 1997).

C'est **John Lubbock**, entomologiste et naturaliste britannique, qui introduisit cette dénomination en **1873**, au cours de ses travaux pionniers sur ces microarthropodes. Il a été l'un des premiers à leur consacrer une classification distincte, reconnaissant leur rôle écologique et morphologique particulier dans les écosystèmes terrestres (Garcelon, 2025).

4. Histoire des Collemboles

Lubbock a introduit l'étude des collemboles en **1871**, en proposant la première catégorisation de l'idée d'**Entognatha**, un groupe comprenant les Collemboles, les Protures et les Diploures, marquant une avancée majeure dans leur classification (Lubbock, 1871).

Par la suite, les recherches se sont recentrées sur leur **rôle écologique**, mettant en lumière leur importance dans **la décomposition de la matière organique** et le **cycle du carbone** (Petersen, 1980).

Plus récemment, leur **utilisation comme bioindicateurs du sol** a été mise en évidence grâce aux travaux de **Fountain et Hopkin**, soulignant leur sensibilité aux changements environnementaux (Fountain & Hopkin, 2005).

En **Algérie**, une contribution significative a été apportée par **Salah Hamra-Kroua**, qui, en coopération avec **Deharveng et Bedos**, a décrit une **nouvelle espèce** et un **nouveau genre**, *Edoughnura rara*, dans le **massif de l'Edough** (Hamra-Kroua *et al.*, 2007).

Il a également rédigé une **liste annotée des collemboles du massif du Collo en 2010**, incluant des informations précises sur leur **répartition et diversité** (Hamra-Kroua, 2010).

Enfin, ses travaux ont contribué à la **description de nouvelles espèces de Pseudodoruidae** dans le nord-est de l'Algérie, révélant ainsi la **richesse unique** de cette région (Hamra-Kroua *et al.*, 2010).

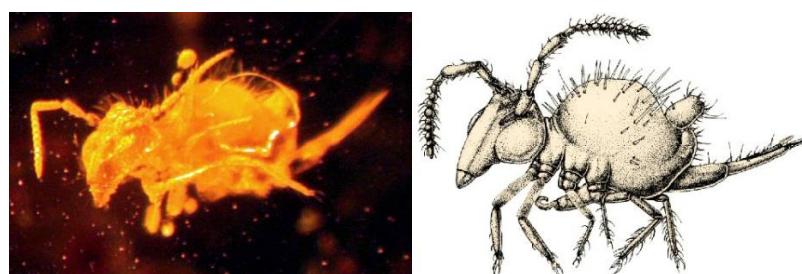




Figure 3 : Image historique d'une illustration de collembole tirée d'un ancien manuscrit entomologique. (Internet Archive : Etymology of my Collembola.)

5. Systématique et phylogénie des Collemboles

Les Collemboles sont des **arthropodes** appartenant au **sous-embranchement des Hexapodes**, partageant ainsi une parenté avec les insectes (Hopkin, 1997). Longtemps associés à ces derniers, des études récentes les distinguent clairement, notamment grâce à des analyses morphologiques et moléculaires (Christiansen & Bellinger, 1998).

Actuellement, leur classification est **considérée comme stable**, et ils sont répartis en **quatre ordres principaux** :

- a) **Poduromorpha** (Börner, 1913) : forme trapue, vivant aux sols humides.
- b) **Entomobryomorpha** (Börner, 1913) : forme élancée, très mobile.
- c) **Sympypleona** (Börner, 1901) : corps globuleux, proche des acariens.
- d) **Neelipleona** (Massoud, 1971) : très petits, discrets, corps arrondi.

Selon **Janssens et Christiansen (2011)**, la diversité mondiale des collemboles comprend **33 familles, 762 genres, et 8130 espèces décrites**, dont **745** sont encore valides.

Les progrès en **biologie moléculaire** ont confirmé leur **monophylie**, c'est-à-dire une **origine évolutive commune**, et ont permis de **clarifier leurs relations internes** (Xiong *et al.*, 2008 ; Cicconardi *et al.*, 2019). Ces données ont enrichi notre compréhension de leur **histoire évolutive** et amélioré la **précision taxonomique**.

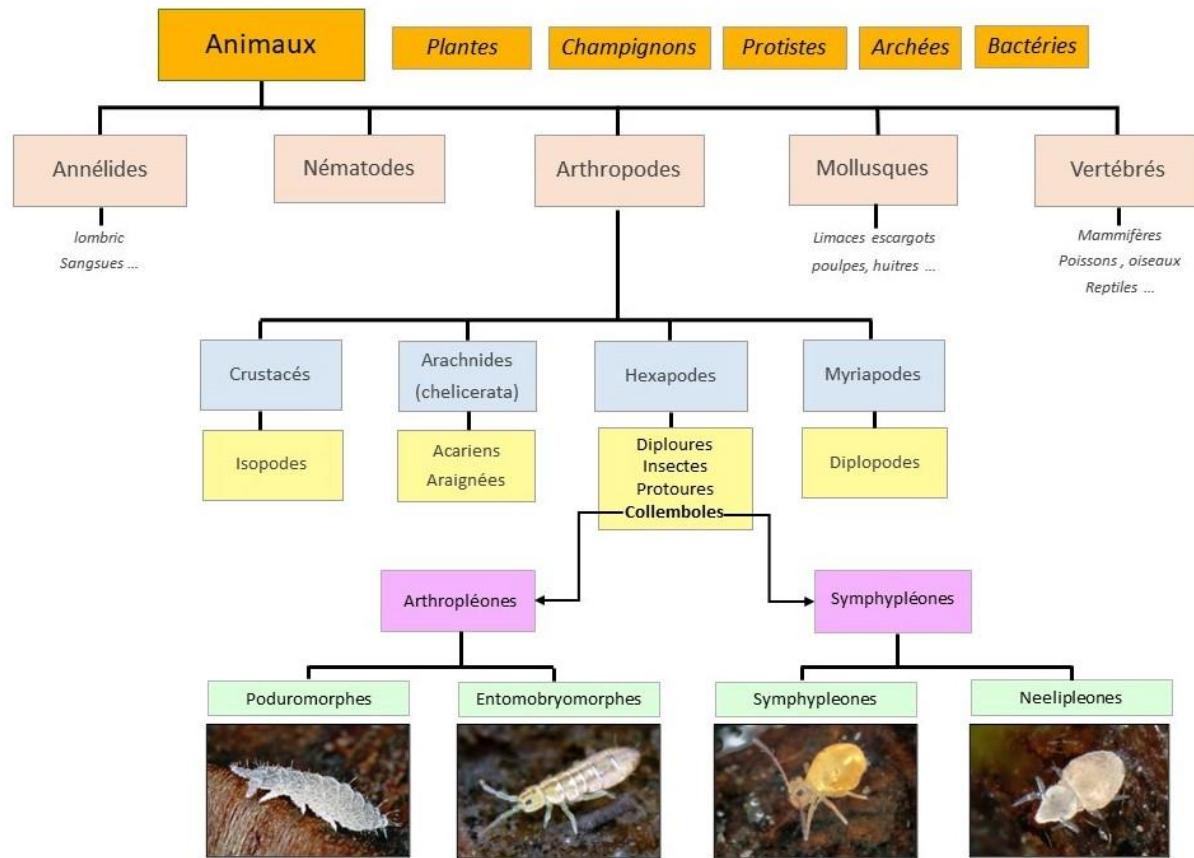


Figure 4 : Classification des collemboles (Garcelon, 2014)

6. Morphologie générale des collemboles

Les collemboles sont de **petits arthropodes hexapodes**, mesurant généralement entre **0,2 mm et 10 mm** (Hopkin, 1997).

Leur corps, bien qu'il semble uniforme, est divisé en **trois parties** : la tête, le thorax, et l'abdomen (Christiansen & Bellinger, 1998). Ils diffèrent des insectes par leur **appareil buccal interne (entognathie)**, des **antennes segmentées**, et une **capsule céphalique réduite** (Massoud, 1967).

Leur **cuticule** est souvent couverte d'**écaillles** ou d'**organes sensoriels spécialisés** qui jouent un rôle dans la perception du milieu (Massoud, 1967).

Un caractère distinctif est la **furca**, un appendice abdominal en forme de "fourche", qui leur permet de **sauter rapidement en cas de danger** (Betsch, 1980).

Certains groupes possèdent aussi un **collophore**, un **tube ventral** situé sous l'abdomen, qui intervient dans **l'absorption d'eau** et **l'adhésion au substrat** (Janssens & Christiansen, 2011).

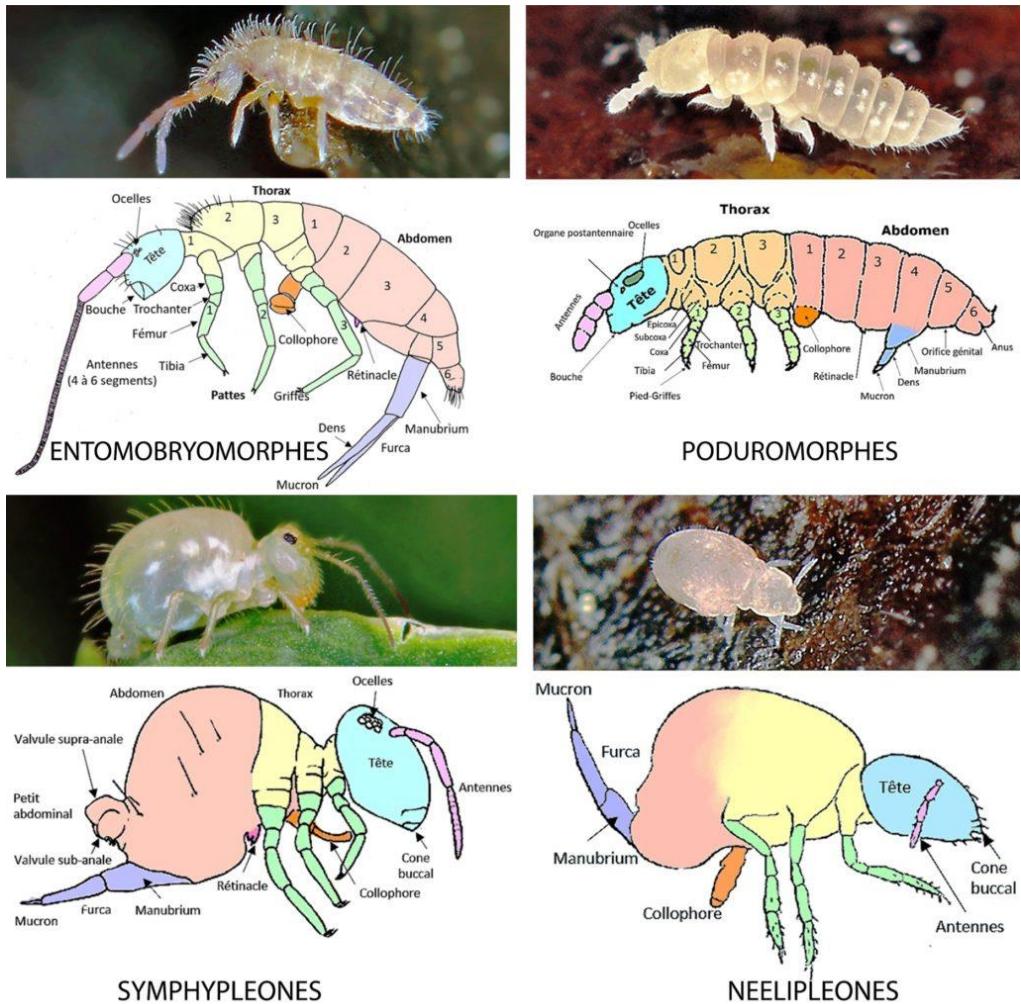


Figure 5 : Morphologie générale des collemboles (Jardiner Autrement, 2025)

6.1. Anatomie externe

L'anatomie externe des collemboles est classiquement divisée en trois régions : la tête, le thorax, et l'abdomen, une structure typique des hexapodes mais avec des caractéristiques uniques à ce groupe (Hopkin, 1997).

La **tête** porte une paire d'**antennes segmentées**, essentielles à la perception chimique et tactile, ainsi que des **yeux simples** (ocelles) chez certaines espèces (Massoud, 1967).

La bouche est de type **entognathe**, c'est-à-dire que les pièces buccales sont **rétractées à l'intérieur de la tête**, contrairement aux insectes véritables, chez qui elles sont externes (Christiansen & Bellinger, 1998).

Le **thorax** est divisé en **trois segments**, chacun portant une paire de **pattes locomotrices**, mais il ne porte **aucune aile**, les collemboles étant toujours aptères (Hopkin, 1997).

L'**abdomen**, généralement composé de **six segments**, contient des structures spécialisées telles que :

- La **furca** : une structure en forme de harpon repliée sous le corps, permettant des **sauts rapides** (Betsch, 1980).

- Le **collophore** : un tube ventral situé sur le premier segment abdominal, qui **absorbe l'eau** et joue un rôle dans l'**adhésion au substrat** (Janssens & Christiansen, 2011).

- Le **tenaculum** : un organe situé sur le troisième segment, qui **maintient la furca repliée** jusqu'à ce qu'un saut soit déclenché (Massoud, 1967).

Ces adaptations morphologiques sont en lien direct avec leur **mode de vie dans la litière, le sol ou sur les surfaces humides**, permettant une **mobilité rapide**, une **résistance à la déshydratation**, et une **sensibilité accrue à l'environnement** (Massoud, 1967 ; Hopkin, 1997).

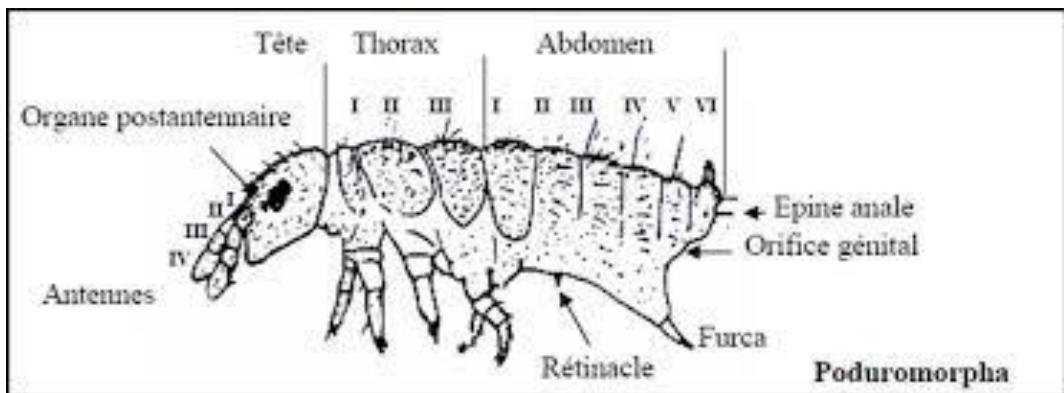


Figure 6 : Morphologie générale d'un Poduromorpha (Modifié d'après Leblalata, 2009)

6.1.1. La tête

La tête d'un collembole est une structure compacte qui abrite les organes sensoriels et buccaux nécessaires à sa survie (Hopkin, 1997). Elle est formée d'une **capsule céphalique rigide**, portant des **antennes segmentées**, un **appareil buccal entognathe**, et, selon les espèces, des **yeux simples (ocelles)** ou des structures photoréceptrices rudimentaires (Christiansen & Bellinger, 1998).

6.1.1.1. Les antennes

Les **antennes**, couvertes de **soies** et de **sensilles**, jouent un rôle crucial tant dans la perception de l'environnement que dans la **systématique des collemboles** (Thibaud, 2010).

Elles sont généralement composées de **quatre articles**, mais leur nombre peut varier selon les genres. Par exemple, chez *Heteromurus*, le premier article est subdivisé en cinq segments, et chez *Orchesella*, les deux premiers en six (Thibaud, 2010). Chez certaines espèces

de la famille des **Entomobryidae**, on observe une segmentation secondaire du troisième ou du quatrième article, alors que chez les **Sympypléones**, le quatrième article présente des sous-segments complexes (Thibaud, 2010).

Certaines espèces, notamment les mâles de **Sminthurididae**, présentent une **structure d'accrochage** formée par des épines et des tubercules au niveau des articles II et III, formant une sorte de **tenaille** (Brahim Bouneb, 2016).

Chez les groupes à **réduction chaetotaxique** (Poduromorpha, Neelipleona, Isotomidae...), les **soies et sensilles antennaires** sont des critères systématiques importants (Thibaud, 2010).

- **Article I** : souvent pourvu de soies, d'écailles et de sensilles, comme la **soie p**, observée chez les **Hypogastruridae**.

- **Article II** : chez certains mâles de Sminthurididae, on retrouve des **épines**, **tubercules** et des **sensilles caractéristiques**.

- **Article III** : contient un **organe sensoriel** universel chez les collemboles, formé de quatre parties : deux bâtonnets sensoriels centraux, deux masses cylindriques latérales, et une microsensille ventro-latérale.

- **Article IV** : contient une **vésicule apicale** à forte valeur systématique, notamment chez les genres *Acherongia*, *Onychiurinae* et *Tullbergiinae* (Brahim Bouneb, 2016).

Chez certains collemboles comme ceux du sous-genre *Ceratophysella*, une **invagination caractéristique** est observée entre les articles III et IV (Brahim Bouneb, 2016).



Figure 7 : *Heteromurus major* Petit collembole argenté à antennes segmentées
(Kristobal.2012)



Figure 8 : Symphypléones :(de gauche à droite) - *Dicyrtomina ornata*, *Sminthurides malmgreni*, *Allacma fusca*. (Garcelon.2014)

6.1.1.2. La région buccale

La **région buccale** des collemboles est **entognathe**, ce qui signifie que les **pièces buccales** sont **enfermées dans la capsule céphalique** (Hopkin, 1997).

La plupart des espèces possèdent un **appareil buccal broyeur**, adapté à la consommation de matière organique, à l'exception des familles comme les **Odontellidae**, **Brachystomellidae** et **Neanuridae**, qui ont un **appareil suceur-piqueur** (Thibaud, 2010). Il est composé de **mandibules** et de **maxilles** qui varient selon le régime alimentaire (Massoud, 1967).

- Chez les espèces **détritivores**, les mandibules sont massives, avec des crêtes denticulées leur permettant de **broyer les matières organiques** (Hopkin, 1997).
- Chez les espèces **prédatrices**, elles sont **plus fines et acérées**, permettant de **percer** et d'aspirer les fluides corporels des proies (Thibaud, 2010).

Certaines espèces possèdent également des **glandes de digestion extracorporelle**. Le **labre** et l'**hypopharynx** facilitent quant à eux l'**ingestion des particules alimentaires** (Betsch, 1980).

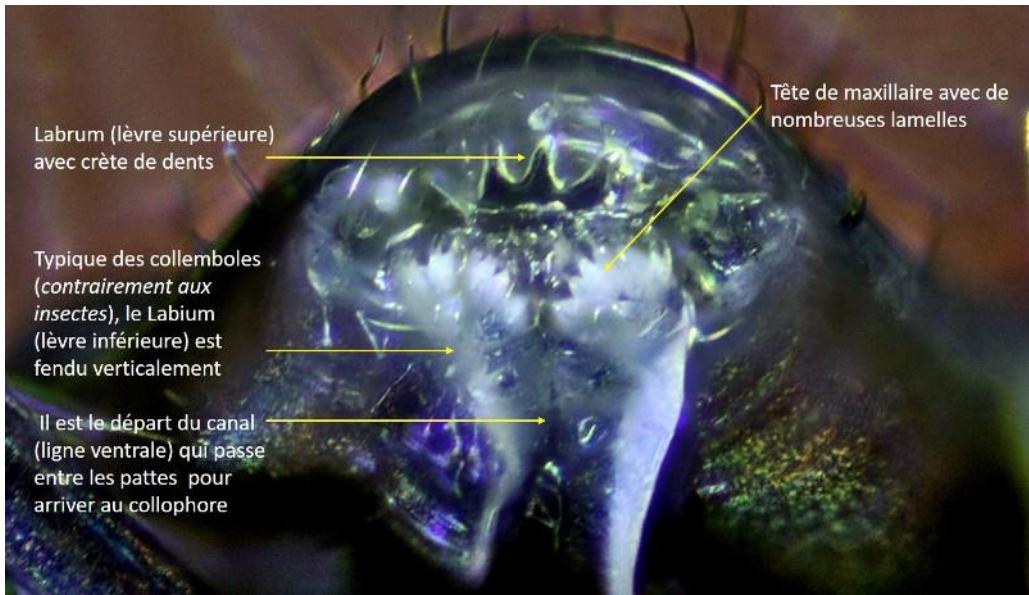


Figure 9 : Pièce buccale des collemboles (Garcelon.2014)

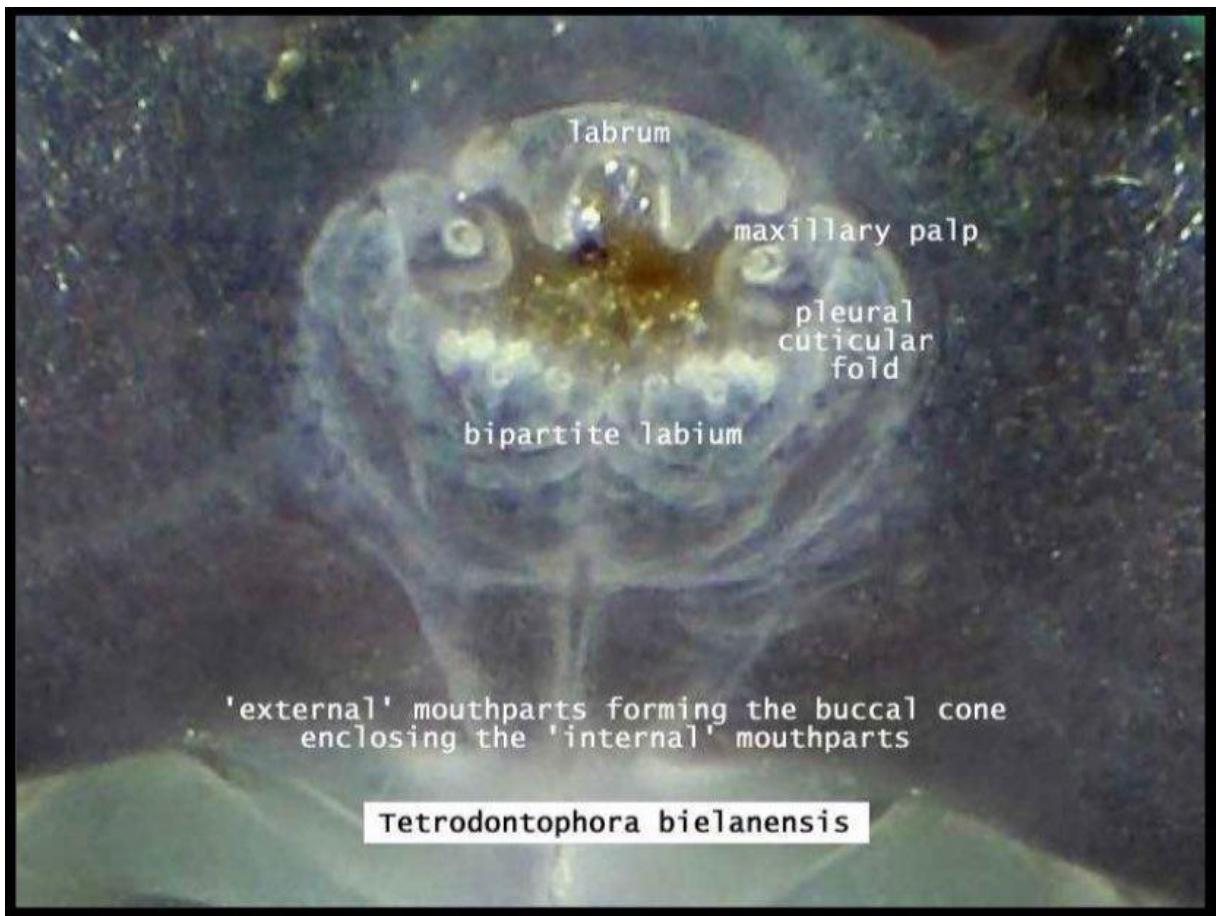


Figure 10 : les Pièces buccales de *Tetrodontophora bielanensis* (Bendjaballah, 2019)

6.1.1.3. Les yeux

Les collemboles présentent généralement des **yeux simples** appelés **ocelles** adaptés à leur mode de vie souterrain ou cryptique (Hopkin, 1997). Ces ocelles sont disposés en **groupes**

horizontaux sur la tête et leur **nombre et disposition varient selon les espèces**, ce qui en fait un critère taxonomique clé (Thibaud, 2010).

Chez certaines espèces **édaphiques** vivant profondément dans le sol, les **ocelles sont totalement absents**, signe d'une adaptation à l'obscurité (Massoud, 1967). À l'inverse, les **espèces épigées** peuvent posséder jusqu'à **deux à huit ocelles de chaque côté de la tête**, leur permettant de **percevoir les ombres** et de **déetecter les variations lumineuses** (Janssens & Christiansen, 2011).

Certaines espèces réagissent même à la **lumière ultraviolette**, ce qui leur permettrait d'éviter une exposition prolongée aux **radiations nocturnes** (Thibaud, 2010).

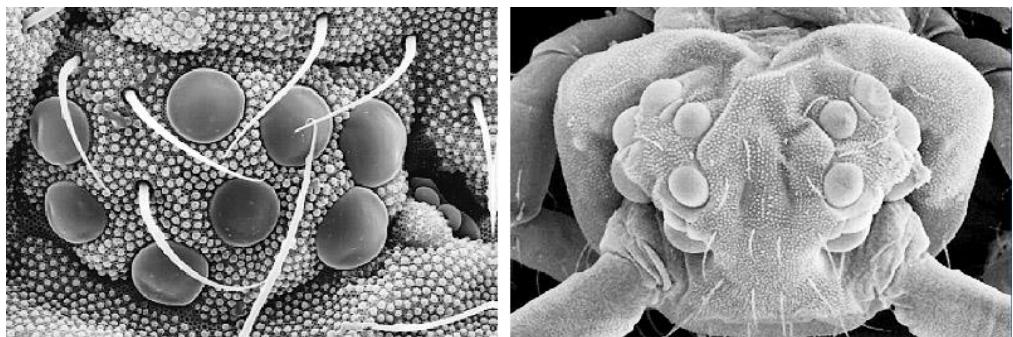


Figure 11 : De gauche à droite : Amas d'ocelles (grossissement x 1500) sur *Hypogastrura nivicola*. (Anonyme.2010)



Implantation oculaire sur Poduromorpha (*Monobella grassei*).



Implantation des plaques oculaires sur Entomobryomorpha (*Orchesella*).



Implantation oculaire sur Symphyleona (*Sminthurus viridis*).

Figure 12 : Implantations ocelles sur Poduromorpha-Entomobryomorpha et Symphyleona (Les Collemboles. Eye plates of springtails 2025)

6.1.2. Le thorax

Le thorax des collemboles est composé de trois segments : le prothorax, le mésothorax et le métathorax, chacun portant une paire de pattes. Contrairement aux insectes ailés, les collemboles sont aptères, une caractéristique qui témoigne de leur adaptation à une grande diversité d'habitats terrestres. (Bellini *et al.*, 2023).

Chaque patte est constituée de plusieurs segments distincts : la coxa, le trochanter, le fémur, le tibia et le tarse. L'extrémité du tarse se termine par une griffe, souvent accompagnée d'un empodium — une structure ressemblant à une soie, qui améliore l'adhérence et facilite le déplacement sur différentes surfaces. (Weiner & Bellini, 2023).

Les muscles thoraciques, particulièrement développés chez les collemboles, leur permettent d'effectuer des mouvements rapides et agiles. Cette agilité est essentielle pour

échapper aux prédateurs et se mouvoir efficacement dans des environnements complexes, comme les litières forestières ou les couches superficielles du sol. (Winck *et al.*, 2023).

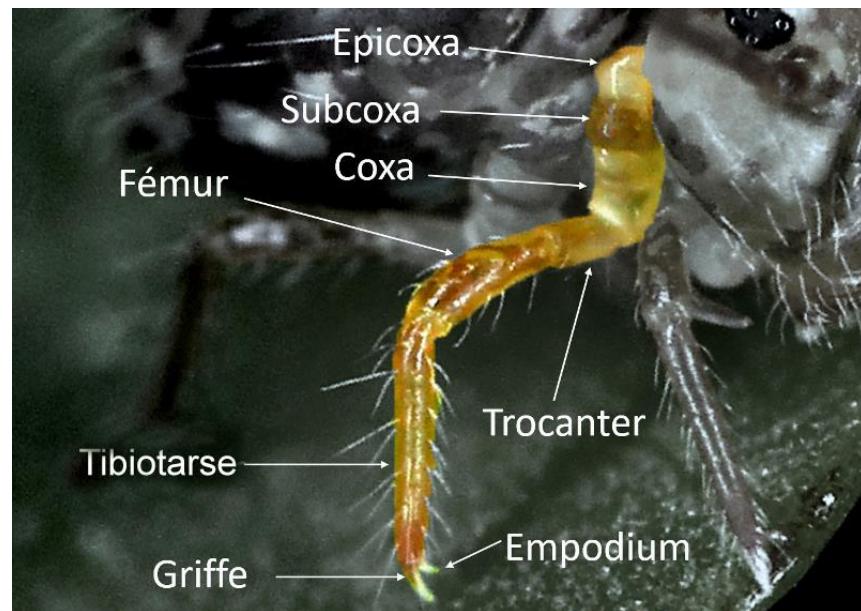


Figure 13 : Pattes symphypléones (Garcelon, 2025)

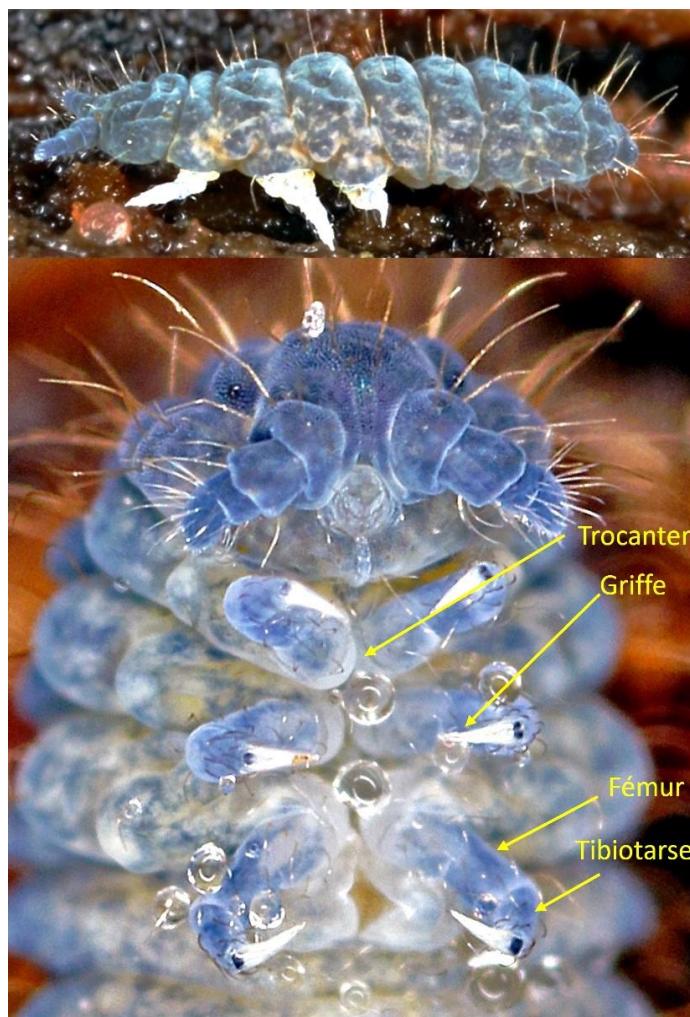


Figure 14 : Pattes Poduromorphes (Garcelon, 2025)

6.1.3. L'abdomen

L'abdomen des collemboles se distingue par la présence de structures spécialisées qui jouent un rôle vital dans leur écologie et leur physiologie. Parmi celles-ci, la furca permet le mouvement par saut, tandis que le colophore est impliqué dans la régulation de l'hydratation et l'adhésion au substrat (Hopkin, 1997).

6.1.3.1. Le colophore

La structure tubulaire connue sous le nom de **colophore**, située sur le premier segment de l'abdomen, remplit diverses fonctions physiologiques. **Elle joue un rôle central dans l'absorption d'eau et la régulation de l'hydratation**, un mécanisme essentiel à la survie des collemboles dans des environnements à faible humidité (Hopkin, 1997).

Le colophore est constitué de **deux vésicules réversibles** permettant des échanges d'eau et d'ions avec le substrat, contribuant ainsi à la **régulation osmotique** (Verhoef & Witteveen, 1980).

Des études récentes ont également examiné le rôle du colophore dans les interactions avec les micro-organismes du sol, mettant en évidence **une fonction potentielle dans la dispersion de bactéries bénéfiques** à la décomposition de la matière organique (Zhang *et al.*, 2019).

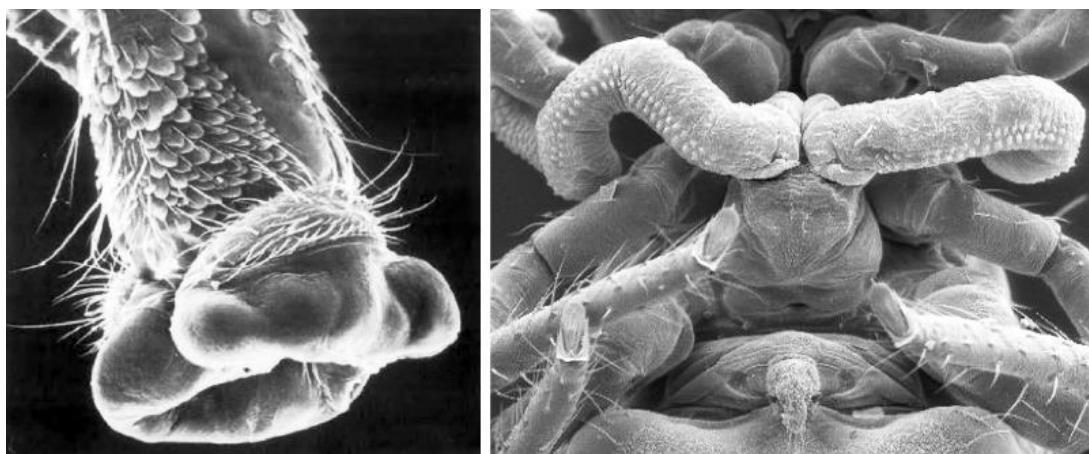


Figure 15 : Colophore (Garselon, 2025)

6.1.3.2. La furca

Les collemboles possèdent une structure abdominale spécialisée appelée **furca**, essentielle à leur locomotion. Située sur le **quatrième segment abdominal**, elle se compose de **trois parties principales** : le **manubrium**, les **dens** (dents) et les **mucrons** (Christiansen & Bellinger, 1980).

Grâce à cette structure, les collemboles peuvent effectuer des sauts rapides pour éviter les prédateurs ou échapper à des conditions environnementales défavorables (Hopkin, 1997).

Les différences morphologiques de la furca constituent **un critère taxonomique important**. Par exemple :

- Chez certaines espèces **édaphiques**, la furca est réduite ou absente, ce qui reflète une adaptation à un mode de vie moins axé sur le saut (Fjellberg, 1989 ; Potapov, 2001).
- À l'inverse, chez les espèces **épigées**, elle est bien développée, favorisant une dispersion plus efficace (Deharveng, 2004).

Des recherches récentes ont également mis en lumière **des variations structurelles de la furca selon les conditions environnementales**, soulignant ainsi son rôle clé dans l'adaptation écologique des collemboles (Nardi *et al.*, 2020).

6.2. Anatomie interne

6.2.1. Système tégumentaire

Le **tégument** est l'organe le plus large chez les collemboles et joue un rôle central dans leur capacité à coloniser les milieux terrestres. Comme chez tous les arthropodes, le tégument recouvre l'ensemble du corps, ainsi que toutes les invaginations ectodermiques, telles que la cavité buccale, l'intestin antérieur et l'intestin postérieur. Il se compose d'un **épiderme interne** (ou hypoderme), d'une couche de cellules épidermiques, et d'une **cuticule** externe qui est une membrane extracellulaire relativement inerte (Wigglesworth, 1965 ; Benjabalah, 2019).

La **cuticule multicouche** est composée d'une **épicuticule externe** et d'une **procuticule interne**, elle-même subdivisée en **exocuticule** et **endocuticule**. **L'ultrastructure de l'épicuticule** est un trait distinctif de la cuticule des collemboles, assurant notamment une protection efficace contre la dessiccation (Hopkin, 1997).

6.2.2. Système nerveux

Les collemboles ne disposent pas d'un système trachéal développé, et leur respiration se fait par diffusion à travers le tégument, ce qui souligne l'importance de la régulation de leur hydratation. Leur système nerveux est bien adapté à leur petite taille et se compose principalement du **cerveau**, situé au-dessus de l'œsophage, et d'une **chaîne nerveuse ventrale**. Les ganglions thoraciques et abdominaux sont **fusionnés** au ganglion métathoracique, ce qui optimise les réflexes moteurs, essentiels pour les comportements d'évasion rapides et efficaces face aux prédateurs (Cassagnau & Juberthie, cités par Vandel, 1970 ; Brauner, 1981, cité par Hopkin, 1997 in Benjabalah, 2019).

Le système neurosécrétoire des collemboles est similaire à celui des autres insectes et est impliqué dans la production d'hormones essentielles à leur régulation physiologique (Hopkin, 1997).

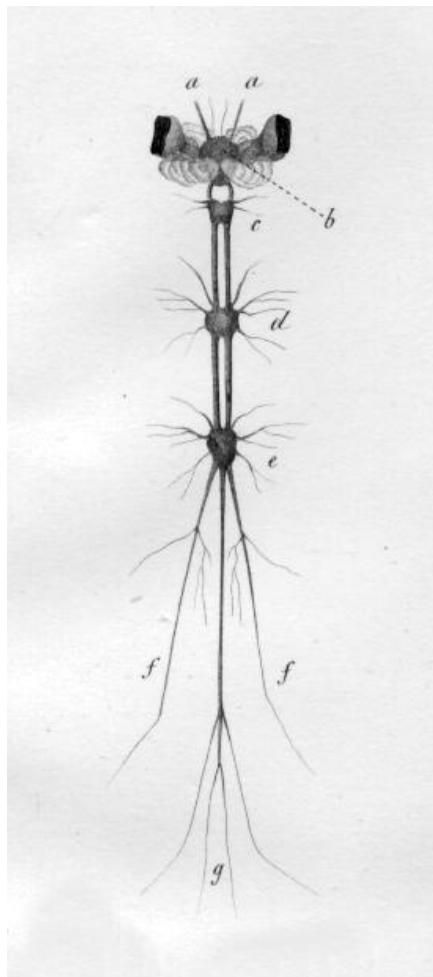


Figure 16 : Système nerveux d'*Allacma fusca* (Benjabalah.2019)

6.2.3. Système respiratoire

La respiration chez les collemboles se fait principalement **par diffusion à travers la cuticule**, permettant des échanges gazeux efficaces dans les milieux humides (O_2 entrant, CO_2 sortant). (Hopkin, 1997).

Ils **ne possèdent pas de trachées développées** comme chez la plupart des insectes supérieurs, ce qui limite les pertes d'eau et tirent parti de leur petite taille pour réduire les distances de diffusion. (Hopkin, 1997).

Chez certaines espèces **plus grandes** ou évoluant en **milieux semi-arides**, on observe parfois **des trachées rudimentaires** ; cette exception reste toutefois rare et secondaire (Hopkin, 1997).

Cette adaptation cutanée est optimisée par une **cuticule hydrophobe** associée à une **faible résistance à la diffusion**, garantissant un équilibre hydrique vital (Thibaud, 1970).

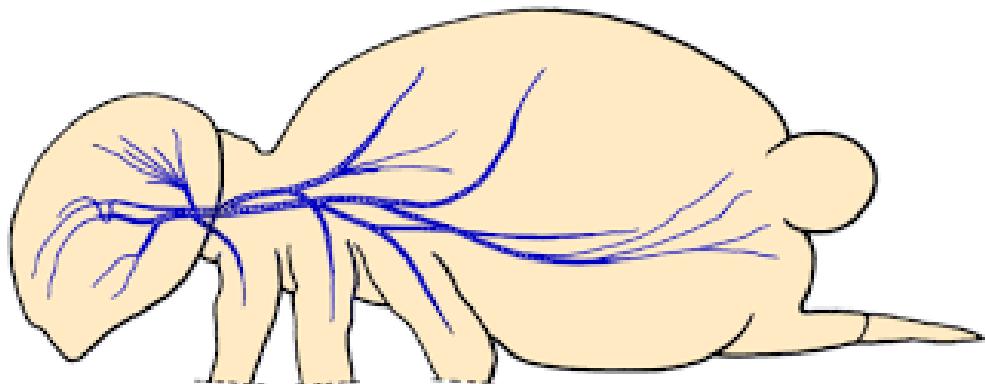


Figure 17 : Le système respiratoire des collembolans (Garcelon.2014)

6.2.4. Système circulatoire

Les collembolans possèdent un **système circulatoire ouvert** typique des arthropodes, mais très simplifié : un **cœur dorsal contractile** propulse l'hémolymphé dans l'hémocoel, assurant la distribution des nutriments et de l'oxygène (Kristensen, 1981). Dans certaines espèces de taille extrême, le **cœur peut être absent**, et la circulation sanguine s'effectue alors **uniquement par diffusion passive** au sein de l'hémocoel (Kristensen, 1981). Cette simplification est rendue possible par leur **faible volume corporel** et la **proximité des tissus** à l'hémocoel, permettant un transport passif suffisant pour les besoins métaboliques (Kristensen, 1981).

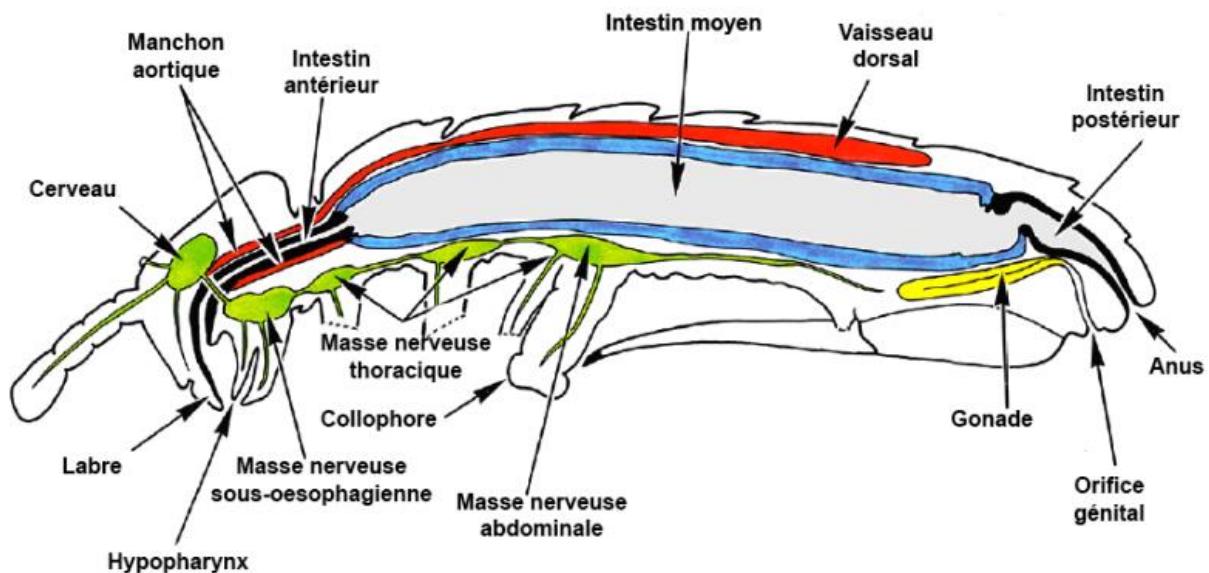


Figure 18 : Système circulatoire des collembolans (Garcelon.2014)

6.2.5. Système excréteur

Contrairement aux insectes qui utilisent des tubes de Malpighi, les collemboles assurent l'**excrétion azotée** via des **cellules spécialisées** de l'intestin moyen (mésentéron), parfois nommées **néphridies modifiées** (Fjellberg, 1998). Ces cellules excrétrices libèrent principalement **de l'acide urique** ou **de l'ammoniaque**, selon le régime alimentaire et le degré d'humidité de leur habitat (Fjellberg, 1998). Ce mode d'excrétion contribue également à la **régulation osmotique**, indispensable pour maintenir l'équilibre hydrique dans les sols humides (Fjellberg, 1998).

6.2.6. Système endocrinien

Le système endocrinien des collemboles est **peu développé** mais présente des **centres neuroendocriniens** analogues à ceux des insectes, notamment des structures comparables aux **corpora allata** et **corpora cardiaca** (Steel, 1990). Ces organes neurohormonaux sont probablement responsables de la sécrétion d'**ecdystéroïdes**, hormones régulant la mue, la reproduction et la diapause (Steel, 1990). Le rôle exact et la physiologie de ces hormones chez les collemboles restent **peu documentés**, soulignant un champ de recherche encore ouvert (Steel, 1990).

7. Reproduction et développements de collemboles

La reproduction des collemboles se déroule principalement au **printemps** et à l'**automne**, lorsque les conditions de température et d'humidité sont optimales pour la survie des œufs et des jeunes (Thibaud, 2010). Néanmoins, certaines espèces peuvent ajuster leur cycle reproductif : la **reproduction estivale** a été observée chez des populations montagnardes, tandis que d'autres retardent leur reproduction jusqu'en **hiver** pour profiter d'une humidité plus stable et d'une concurrence réduite (Hopkin, 1997).

La majorité des collemboles pratiquent la **reproduction sexuée**, où le mâle dépose un **spermatophore** sur le substrat, récupéré ensuite par la femelle pour la fécondation des ovules (Adams & Salmon, 1972). Toutefois, de nombreuses espèces présentent une **parthénogénèse** facultative ou obligatoire, produisant des femelles clonées sans fécondation, ce qui facilite la colonisation rapide de nouveaux habitats (Hopkin, 1997 ; Thibaud, 2010).

Après fécondation, les femelles pondent leurs **œufs** (généralement 10–20) dans des **micro-cavités du sol** ou sous la litière. Ces œufs sont enveloppés dans une **couche protectrice** empêchant la dessiccation et assurant un microclimat stable (Fountain & Hopkin, 2005).

Le développement post-embryonnaire se fait de manière **anamorphique** : les jeunes émergent avec un nombre réduit de segments abdominaux, qu'ils acquièrent progressivement lors de **5 à 12 mues** successives selon l'espèce et les conditions environnementales (Dallai, 1980 ; Thibaud, 2010).

Enfin, les **juvéniles** et les **adultes** occupent souvent des **micro-niches différentes** : les juvéniles restent dans les couches superficielles riches en débris organiques, tandis que les adultes migrent légèrement en profondeur pour ponte et alimentation, optimisant ainsi les ressources disponibles (Adams & Salmon, 1972).

Cette combinaison de reproduction sexuée, de parthénogénèse et de développement anamorphique explique la **grande capacité des collemboles à coloniser divers milieux terrestres** et à maintenir des populations stables malgré les fluctuations environnementales.

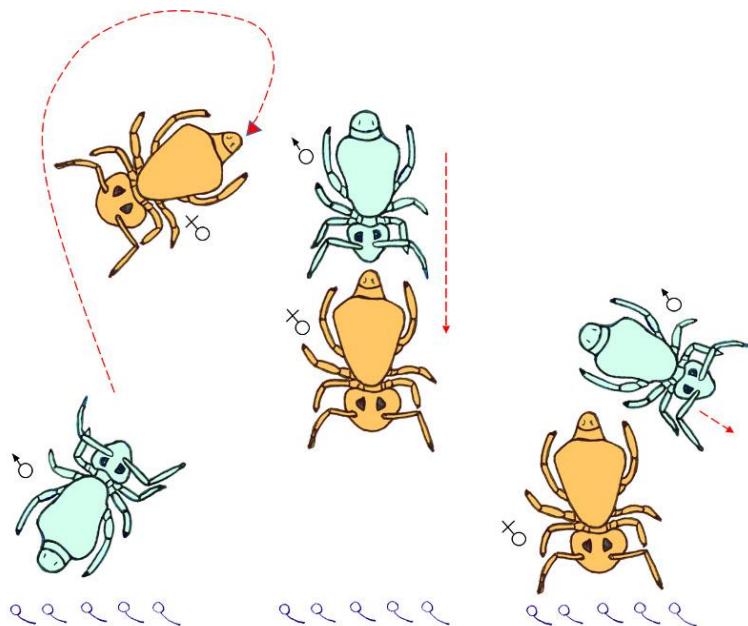


Figure 19 : Reproduction des collemboles (Krebs.2014)

7.1. Reproduction

7.1.1. Appareil génital et cycle sexuel des femelles

L'appareil génital des femelles collemboles est constitué de deux ovaires tubulaires symétriques, chacun contenant plusieurs ovogonies en développement, aboutissant à des ovocytes matures (Dallai, 1970). Ces ovaires débouchent sur un oviducte pair qui fusionne pour former un oviducte médian se terminant par une ouverture génitale ventrale, généralement située entre le cinquième et sixième segments abdominaux (Hopkin, 1997).

La fécondation se produit de manière interne, bien que le mâle ne copule pas directement avec la femelle : il dépose un spermatophore au sol que la femelle ramasse ensuite avec son orifice génital (Adams & Salmon, 1972).

Le cycle sexuel des femelles collemboles est fortement influencé par les **conditions abiotiques**, notamment l'humidité et la température. Thibaud (2010) note que la maturation des ovaires et la fréquence de ponte varient selon la saison : le printemps et l'automne favorisent l'ovogenèse active, tandis que l'été ou l'hiver peuvent induire une **pause reproductive** (diapause ovarienne) chez certaines espèces. Cette plasticité reproductive constitue une stratégie adaptative face à des habitats instables.

Certaines espèces présentent également une reproduction **parthénogénétique**, avec des femelles capables de produire des descendants sans fécondation. Cette stratégie, décrite par Hopkin (1997), permet une colonisation rapide des microhabitats et une résilience accrue face aux perturbations du sol.

7.1.2. Appareil génital et cycle sexuel du mâle

Chez les collemboles, l'appareil génital mâle est composé de deux testicules allongés situés dans la cavité abdominale, souvent enveloppés dans une fine membrane péritonéale (Dallai, 1970). Ces testicules produisent en continu des spermatozoïdes, qui transitent par deux canaux déférents menant à une vésicule séminale, organe de stockage temporaire avant l'évacuation vers l'extérieur. L'appareil se termine par un canal éjaculateur médian débouchant sur une ouverture génitale ventrale, généralement localisée au niveau du cinquième segment abdominal (Hopkin, 1997).

Contrairement à de nombreux insectes, les collemboles n'ont pas de pénis véritable. Au lieu de cela, le mâle produit un **spermatophore**, petite capsule contenant les spermatozoïdes, qu'il dépose sur le substrat. La morphologie de ce spermatophore varie selon les espèces, mais il est souvent soutenu par un pédoncule cristallin ou gélatinieux (Adams & Salmon, 1972).

La production de spermatophores chez le mâle est **cyclique** et fortement dépendante des conditions environnementales. Comme l'indiquent Thibaud *et al.* (2004), des facteurs tels que la photopériode, la température et l'humidité régulent l'activité spermatogénétique. Ainsi, la fréquence de dépôt des spermatophores augmente au printemps et à l'automne, périodes où la reproduction est la plus intense. En conditions défavorables, comme en cas de sécheresse, certains mâles cessent temporairement la production, marquant une pause reproductive.

Dans certaines espèces parthénogénétiques, les mâles sont rares voire absents, mais dans les espèces sexuées, leur rôle reste central dans le maintien de la diversité génétique (Hopkin, 1997).

7.2. La fécondation

Chez les collemboles, la fécondation est **externe et indirecte**, se déroulant sans accouplement physique entre le mâle et la femelle. Le mâle dépose dans l'environnement un ou plusieurs **spermatophores**, structures contenant les spermatozoïdes encapsulés dans une matrice gélatineuse. Ces spermatophores sont souvent fixés sur le substrat par un pédoncule, et leur emplacement n'est pas laissé au hasard : dans certaines espèces, le mâle exécute un comportement de cour nuptiale pour guider la femelle vers son dépôt (Dallai, 1970 ; Hopkin, 1997). La femelle, en suivant une séquence comportementale spécifique entre en contact avec le spermatophore, et les spermatozoïdes sont alors recueillis à l'aide de l'orifice génital situé au niveau du cinquième segment abdominal. Ce transfert est facilité par la **présence de mucus ou de contractions musculaires** qui permettent l'aspiration des gamètes dans les voies génitales internes (Adams & Salmon, 1972).

La fécondation proprement dite, c'est-à-dire la fusion des gamètes, a lieu dans les **oviductes** ou directement dans la chambre génitale de la femelle. Elle est généralement rapide après la collecte du sperme. Les ovules fécondés sont ensuite enveloppés dans une coque protectrice avant d'être pondus. Chez certaines espèces, cette coque est enrichie de substances hygroscopiques pour maintenir l'hydratation de l'embryon dans des environnements variables (Thibaud *et al.*, 2004).

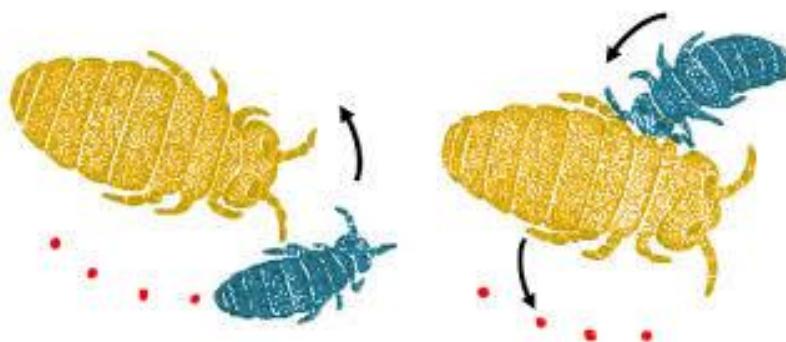


Figure 20 : Fécondation chez les collemboles. (Krebs.2014)

7.3. La ponte

La ponte chez les collemboles constitue une étape clé du cycle reproducteur et présente une grande diversité en fonction de l'espèce et des conditions environnementales. Une fois les ovules fécondés, la femelle les enveloppe dans une **membrane chorionique protectrice** avant de les déposer dans le milieu extérieur. Cette membrane joue un rôle essentiel dans la **protection contre la dessiccation et les agressions microbiennes** (Hopkin, 1997 ; Thibaud *et al.*, 2004).

La femelle sélectionne minutieusement le site de ponte, privilégiant les microhabitats riches en matière organique humide, comme la litière forestière, les mousses ou le sol humifère. Certaines espèces creusent même de petites **cavités à l'aide de l'abdomen** pour y déposer les œufs, souvent en amas (Dallai, 1970). Le comportement de ponte est influencé par plusieurs facteurs, notamment **l'humidité du sol, la température ambiante, la densité de population**, ainsi que la disponibilité alimentaire (Fjellberg, 1980).

Le nombre d'œufs pondus varie grandement d'une espèce à l'autre, allant de quelques unités à plusieurs centaines par cycle reproducteur. Par exemple, chez *Folsomia candida*, une espèce bien étudiée, une femelle peut pondre entre **30 et 50 œufs par semaine** dans des conditions optimales (Hopkin, 1997).

Dans certaines espèces, la ponte peut s'accompagner de comportements de **gardienage ou de camouflage**, bien que cela reste rare chez les collemboles. La stratégie de reproduction mise en œuvre (nombre d'œufs, fréquence de ponte, choix du site) reflète un équilibre adaptatif entre la **survie des embryons** et la **capacité de dispersion** de l'espèce dans son environnement (Thibaud *et al.*, 2004 ; Christiansen, 1992).

7.4. Œuf

L'œuf des collemboles, une fois pondu, entame son développement embryonnaire dans des conditions variables selon l'environnement et les caractéristiques spécifiques de l'espèce. Chez la majorité des collemboles, l'œuf est de forme **ovale** et recouvert d'une **membrane épaisse** qui le protège contre les agressions extérieures, comme les fluctuations de température et l'humidité. Cette membrane est souvent **collante**, ce qui permet à l'œuf de se fixer au substrat, généralement dans la litière ou le sol humide (Hopkin, 1997).

Le développement de l'œuf suit une **période d'incubation** qui varie selon la température et l'humidité, mais généralement, elle dure entre **une à trois semaines**. Ce développement est fortement influencé par **les conditions environnementales**, comme l'humidité du sol et la température ambiante, qui peuvent accélérer ou ralentir le processus embryonnaire (Dallai,

1970). Par exemple, des températures plus élevées ont tendance à accélérer le développement, tandis qu'un environnement trop sec peut entraîner l'**assèchement des œufs**, rendant leur éclosion impossible (Fjellberg, 1980).

Les œufs sont généralement **translucides ou légèrement colorés**, avec des **structures internes visibles** à l'œil nu dans certains cas, comme les jeunes cellules ou les premiers signes de segmentation (Christiansen, 1992). Les œufs des collemboles sont capables de **résister à des conditions extrêmes**, ce qui leur permet de survivre dans des environnements difficiles, tels que des périodes de sécheresse ou de froid intense, tout en attendant des conditions plus favorables pour le développement (Thibaud *et al.*, 2004).



Figure 21 : Ponte du collembole *Folsomia candida*. (Tully.2010)



Figure 22 : Nouveau-né du collembole *Folsomia candida*, à proximité de quelques œufs eux-mêmes à divers stades. (Tully.2010)

7.5. Ecomorphose

L'ecomorphose désigne le processus par lequel un organisme s'adapte morphologiquement à son environnement. Chez les collemboles, cela se manifeste par une diversité de formes et de structures corporelles adaptées à leur habitat spécifique, que ce soit pour se cacher, se déplacer plus efficacement ou survivre dans des conditions extrêmes.

Ces adaptations peuvent inclure des changements dans la taille, la forme des appendices, ou même la couleur de l'organisme. Par exemple, certains collemboles ont développé des appendices sensoriels plus longs pour détecter des modifications subtiles de leur environnement, ce qui les aide à réagir plus rapidement aux menaces (Fjellberg, 1980).

7.6. Cycle de vie

Le cycle de vie des collemboles passe par plusieurs étapes : œuf, nymphe et adulte. Après la fécondation, l'œuf éclot, donnant naissance à une **nymphe** qui ressemble à un adulte mais sans organes reproducteurs matures. La nymphe subit plusieurs **stades de mue** avant de devenir un adulte pleinement fonctionnel. Ce cycle peut varier de quelques semaines à plusieurs mois en fonction des conditions environnementales. En général, les collemboles ont une **longévité** relativement courte, mais certains peuvent vivre plusieurs années, surtout dans des conditions de faible activité (Dallai, 1970).

7.6.1. Cycle d'intermue (CIM) des adultes

Le cycle d'intermue des adultes chez les collemboles est un processus essentiel dans leur développement. Après chaque mue, l'adulte continue de se développer jusqu'à atteindre sa forme finale, prêt à se reproduire. Contrairement aux stades précédents (nymphes), où les individus passent par plusieurs mues avant de devenir adultes, l'intermue chez les adultes est généralement moins fréquente. Elle survient principalement en réponse à des changements dans les conditions environnementales, comme la température ou l'humidité. Ce cycle peut durer de quelques jours à plusieurs semaines, et son rythme varie selon les espèces et les conditions de vie. La mue des adultes n'est pas systématique mais peut être influencée par des facteurs internes et externes, ce qui en fait un mécanisme flexible pour s'adapter à l'environnement (Hidalgo *et al.*, 2012).

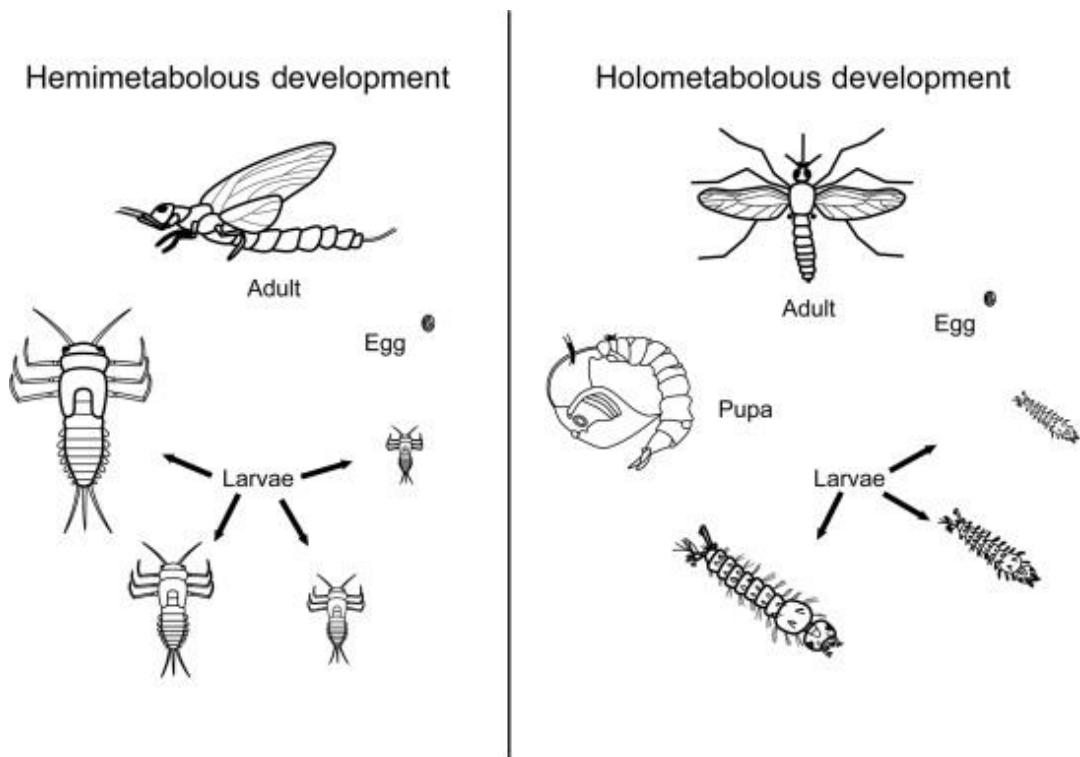


Figure 23 : Cycle de vie des collemboles (Thorp Et Covich, 2015)

8. Ecologie des collemboles

Les collemboles sont des organismes ubiquitaires, présents dans presque tous les types d'habitats terrestres, y compris les sols forestiers, les prairies, les zones arides et même les milieux aquatiques temporaires (Hopkin, 1997). Leur écologie est profondément influencée par la composition du sol, l'humidité, la température et la végétation environnante (Berg *et al.*, 2004). Ils jouent un rôle crucial dans le recyclage des éléments nutritifs, en se nourrissant de débris organiques comme les feuilles mortes, les racines en décomposition et les matières végétales (Bardgett *et al.*, 2005). Cela contribue à la dégradation de la matière organique et à la formation de l'humus, enrichissant ainsi la structure du sol (Fiera *et al.*, 2007). Certains collemboles sont également herbivores et se nourrissent de champignons, tandis que d'autres se nourrissent principalement de bactéries et d'autres micro-organismes présents dans le sol (Feng *et al.*, 2013). Grâce à leur activité, les collemboles aident à améliorer la porosité du sol, favorisant l'aération et l'infiltration de l'eau (Hopkin, 1997).

8.1. Adaptation morphologique

Les collemboles ont développé une grande variété de caractéristiques morphologiques adaptées à leurs environnements spécifiques, ce qui leur permet de survivre dans une multitude de conditions écologiques (Hopkin, 1997). Par exemple, leur corps est souvent aplati

dorsoventralement, ce qui leur permet de se faufiler facilement dans les fissures du sol ou entre les débris végétaux (Berg *et al.*, 2004). En outre, de nombreuses espèces présentent des adaptations au niveau de leurs appendices, comme les antennes et les pattes, qui leur permettent de mieux se déplacer et de se nourrir dans des environnements complexes (Feng *et al.*, 2013). Le développement de l'organe de saut, le furca, est une autre caractéristique morphologique majeure qui leur permet de faire fuir rapidement les prédateurs en effectuant des sauts violents (Bardgett *et al.*, 2005). Ces adaptations leur offrent non seulement une mobilité accrue, mais aussi une meilleure capacité à exploiter différents types de substrats (Fiera *et al.*, 2007).

8.2. Influence des facteurs du milieu sur la vie des Collemboles

8.2.1. Les collemboles et l'humidité

Les collemboles sont fortement influencés par l'humidité, car ils vivent principalement dans des environnements où la rétention d'eau est essentielle à leur survie (Hartenstein, 1966). Ces organismes ont développé des stratégies pour maintenir une hydratation adéquate, comme l'absorption d'eau à travers leur cuticule (Deslippe *et al.*, 2002). Dans les environnements très secs, les collemboles peuvent réduire leur activité ou entrer en état de dormance pour éviter la déshydratation (Dunger, 1983). Les variations d'humidité peuvent ainsi influencer leur répartition géographique et leur comportement (Hopkin, 1997).

8.2.2. Les collemboles et la température

Les collemboles sont des ectothermes, ce qui signifie que leur température corporelle dépend directement de la température ambiante (Berg *et al.*, 2004). Dans les milieux froids, certaines espèces montrent des adaptations comme la production de glycérol, un antigel naturel qui leur permet de survivre à des températures négatives (Keller *et al.*, 2005). En revanche, dans les environnements chauds, ils ont développé des comportements tels que l'immobilisation pendant les périodes les plus chaudes pour éviter l'excès de chaleur (Fiera *et al.*, 2007).

8.2.3. Les collemboles et la lumière

Les collemboles présentent une sensibilité particulière à la lumière, et leur comportement peut être influencé par les variations lumineuses dans leur habitat (Van der Meulen, 1982). De nombreuses espèces préfèrent des environnements sombres, comme les sous-sols ou sous les roches, et se cachent pendant la journée pour éviter les effets néfastes de la lumière (Hopkin, 1997). Cependant, certaines espèces peuvent être plus tolérantes à la lumière et s'aventurer plus souvent en surface (Berg *et al.*, 2004).

8.2.4. L'adaptation à la sécheresse

L'adaptation à la sécheresse chez les collemboles est particulièrement importante dans les habitats arides ou péri-arides (Dunger, 1983). Ces organismes peuvent ajuster leur comportement en réduisant leur activité pendant les périodes sèches ou en entrant dans une phase de dormance appelée diapause (Hartenstein, 1966). Certaines espèces ont la capacité de produire des films de mucus pour limiter la perte d'eau, tandis que d'autres utilisent des stratégies d'absorption rapide des ressources en eau dès qu'elles sont disponibles (Deslippe *et al.*, 2002).

8.2.5. Adaptation aux environnements halophiles

Les collemboles vivant dans des environnements halophiles, tels que les zones côtières ou salines, ont développé des mécanismes physiologiques leur permettant de tolérer des concentrations élevées de sel (Berg *et al.*, 2004). Ces adaptations comprennent la sécrétion de sels à travers des glandes spécialisées ou l'ajustement de leur taux d'osmolarité interne pour maintenir un équilibre hydrique optimal (Dunger, 1983).

8.2.6. Adaptation mixte

8.2.6.1. Ecomorphose

Christiansen (1964) a été le premier à introduire le concept d'écomorphose pour désigner les changements morphologiques chez les collemboles selon les contraintes écologiques de leur habitat. La morphologie du corps, la pigmentation et la longueur des antennes varient considérablement selon le niveau d'enfouissement dans le sol (Hopkin, 1997). Par exemple, les espèces vivant à la surface présentent souvent un corps allongé, des pattes développées et une forte pigmentation, facilitant la mobilité et la reconnaissance visuelle (Thibaud *et al.*, 2004). À l'inverse, les formes souterraines sont peu pigmentées, presque aveugles, et possèdent un corps plus compact, ce qui les rend mieux adaptées à la vie dans les couches profondes du sol, comme l'a noté Petersen (2002). Cassagnau (1971) propose une gradation entre plusieurs écomorphotypes allant des espèces épigées aux formes strictement endogées. Cette diversité morphologique, loin d'être aléatoire, reflète une spécialisation écologique poussée (Bellinger *et al.*, 1996).

8.2.6.2. Cyclomorphose

La cyclomorphose, un phénomène observé chez de nombreuses espèces de collemboles, implique des changements morphologiques réguliers en fonction des saisons ou des cycles

écologiques (Dunger, 1980). Selon Pochon *et al.* (1997), ces adaptations sont particulièrement visibles lorsque les conditions environnementales varient, comme l'humidité ou la température, influençant la forme du corps et la taille des appendices. Au printemps et en été, les collemboles présentent souvent des formes corporelles allongées, optimisées pour la mobilité et la recherche de nourriture. En revanche, durant l'automne et l'hiver, des formes plus compactes et des structures plus robustes sont observées, leur permettant de résister aux conditions moins favorables (Gisin, 1960). Cette capacité à modifier la morphologie en réponse aux conditions environnementales offre un avantage sélectif majeur, en permettant aux collemboles de s'adapter à des habitats fluctuants (Jeanne, 1999). Des études, comme celle de Kromp (1996), soulignent l'importance de la cyclomorphose dans le maintien de la diversité écologique des collemboles à travers différents cycles.

8.3. Habitat

Les collemboles occupent une large gamme d'habitats, allant des sols forestiers aux milieux urbains, avec une préférence marquée pour les environnements humides et riches en matière organique (Kirk, 1997). Selon Thibaud (2007), ces micro-arthropodes sont particulièrement sensibles aux variations de température et d'humidité, ce qui les rend essentiels pour l'étude des changements environnementaux. Les sols forestiers, par exemple, offrent une riche biodiversité et une grande variété de microhabitats, allant de la litière humide aux couches plus profondes, adaptées à des espèces spécifiques (Benoit *et al.*, 2005). Dans les environnements urbains, en revanche, les collemboles sont souvent confinés aux zones plus ombragées et humides, comme les bords de cours d'eau ou les espaces verts, où ils peuvent survivre malgré les perturbations humaines (Hopkin, 1997). Des recherches récentes de Dunger (2010) montrent que certaines espèces de collemboles ont développé des stratégies de dispersion pour coloniser de nouveaux habitats, leur permettant de s'adapter aux perturbations continues des écosystèmes modernes. Cela souligne non seulement leur flexibilité écologique, mais aussi leur rôle clé dans la dégradation de la matière organique et le recyclage des nutriments dans divers types d'habitat (Gisin, 1960).

9. Le régime alimentaire

Les collemboles adoptent principalement un régime détritivore, se nourrissant de matières organiques en décomposition, comme les feuilles mortes et les débris végétaux (Wallwork, 1970). Selon Dunger *et al.* (2005), certains groupes de collemboles peuvent également consommer des micro-organismes, tels que des champignons et des bactéries, jouant ainsi un

rôle clé dans le recyclage des nutriments dans les sols. Ce régime est particulièrement important dans les écosystèmes forestiers où la dégradation de la matière organique est un processus fondamental pour maintenir la fertilité du sol (Hasegawa *et al.*, 2011). Des études de l'activité alimentaire des collemboles montrent que la composition du sol et l'humidité influencent fortement leurs préférences alimentaires (Jeanne, 1999). Par exemple, dans des sols plus secs, les collemboles montrent une tendance accrue à se nourrir de champignons, tandis que dans des environnements plus humides, les débris végétaux dominent leur régime (Lindberg *et al.*, 2000). Cette capacité à s'adapter à différentes sources alimentaires fait des collemboles des éléments clés pour maintenir l'équilibre écologique de leur habitat.

10. Les collemboles en Algérie

Les collemboles en Algérie représentent un groupe essentiel dans l'écosystème du sol, notamment dans des régions comme **Hamra Kroua**, où la biodiversité du sol est particulièrement riche. Cette région, caractérisée par un climat méditerranéen et une végétation variée, abrite des espèces de collemboles adaptées à des conditions environnementales parfois extrêmes, telles que de fortes températures et une faible humidité en été (Ait Hamou, 2013). Selon **Hamou *et al.* (2015)**, les collemboles de cette zone sont principalement trouvés dans les sols forestiers et les prairies sèches, où ils jouent un rôle crucial dans la dégradation des matières organiques et le maintien de la fertilité du sol.

La diversité des espèces dans cette région est élevée, avec des espèces caractéristiques de l'Afrique du Nord, mais aussi de nouvelles formes endémiques observées, en particulier dans les zones montagneuses de la région (Benabdellah *et al.*, 2017). **Hamra Kroua**, avec ses sols riches en matière organique et son climat modéré, constitue un habitat idéal pour ces micro-arthropodes. Les études menées par **Ziani (2019)** sur la faune du sol de cette région ont révélé la présence de plusieurs espèces rares et des comportements alimentaires diversifiés, allant des collemboles épigés se nourrissant de débris végétaux en surface, aux espèces endogées qui se nourrissent principalement de champignons souterrains.

Les recherches récentes sur les **collemboles de Hamra Kroua** (Haddad *et al.*, 2022) ont montré l'importance de ces espèces dans les processus écologiques locaux. Ces collemboles contribuent non seulement à la décomposition des matières organiques, mais aussi à la régulation des populations de micro-organismes du sol, favorisant ainsi un environnement propice à la croissance végétale. En outre, des études de **l'habitat** et du régime alimentaire des collemboles dans cette région montrent une grande adaptation à l'écosystème méditerranéen,

avec une dépendance particulière aux cycles saisonniers d'humidité et de température (Hamou *et al.*, 2018).

L'Algérie, et plus spécifiquement **Hamra Kroua**, se distingue donc par son rôle stratégique dans la compréhension de la biologie des collemboles dans des environnements semi-arides à méditerranéens. Les recherches dans cette région ont le potentiel d'éclairer des mécanismes d'adaptation uniques, qui pourraient avoir des implications importantes pour la gestion durable des sols dans des zones à climat similaire (Tazé, 2020).

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

1. Présentation des zones de travail

1.1. La situation géographique

La présente étude a été menée dans trois zones géographiques distinctes du nord-est de l'Algérie : **Béni Haroun**, située dans la wilaya de **Mila**, ainsi que **Tamanart** et **Ouled Attia**, toutes deux appartenant à la wilaya de **Skikda**. Ces sites ont été choisis en raison de leur diversité écologique, de leurs caractéristiques climatiques et pédologiques contrastées, offrant ainsi un cadre idéal pour analyser la distribution et l'adaptation des collemboles dans différents types d'habitats.

Béni Haroun : localisée dans une région à dominante agricole, présente un sol argileux favorable au développement d'une faune du sol riche et diversifiée.

Tamanart : plus rurale, est caractérisée par une végétation spontanée, offre un milieu contrasté, mêlant zones boisées et espaces ouverts, ce qui permet d'observer l'influence des différents habitats sur les populations étudiées.

Ouled Attia : se distingue par son relief plus accidenté et ses variations microclimatiques, influençant directement la distribution des collemboles.

Ces trois zones combinent ainsi des facteurs géographiques et écologiques variés, permettant une approche comparative approfondie dans le cadre de cette recherche.



Figure 24 : Barrage de Béni Haroun. (Photos Originaux)

La wilaya de Mila se situe au Nord-est de l'Algérie, elle occupe une superficie totale de 3480,45 Km² soit 0,14% de la superficie totale de l'Algérie (Bendjeddou, 2012) cité par Laggoune, 2022. Le chef-lieu de wilaya est distant de 50 km de Constantine, de 100 km de Jijel

et de 450 km de la capitale Alger (Dcpe, 2013) cité par Laggoune, 2022. Sur cette aire géographique se répartissent 13 daïras et 32 communes.

Administrativement, la wilaya de Mila est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Jijel ;
- À l'Est par la wilaya de Constantine ;
- Au Sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi ;
- À l'Ouest par la Wilaya de Sétif (Chettah, 2009) cité par Laggoune, 2022.

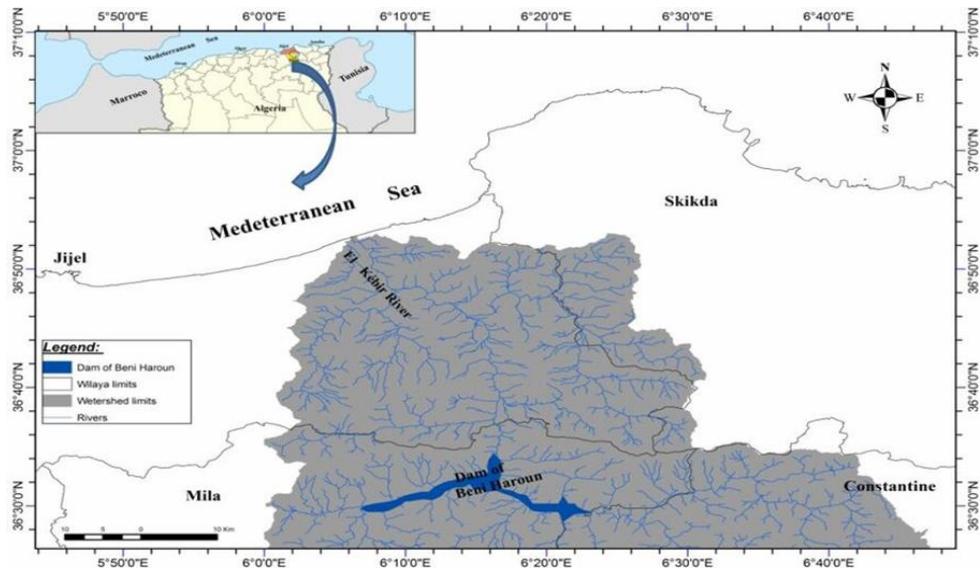


Figure 25 : Situation géographique de Beni Haroun (nord-est de l'Algérie) (Khelifi ,2015)

La région de Beni Haroun, située au nord de la wilaya de Mila, est particulièrement marquée par la richesse de ses ressources hydriques et de son paysage forestier typique de la petite Kabylie. Ce territoire, dominé par un climat subhumide à hiver frais, constitue un habitat favorable pour une biodiversité variée, ce qui en fait une zone d'intérêt écologique considérable (Belahlou, 2016). **Située à proximité immédiate du barrage éponyme, la région occupe une position stratégique, tant d'un point de vue environnemental qu'économique, ce qui en fait un choix pertinent pour notre étude portant sur les collemboles.**

Après l'exploration de la région de Beni Haroun, notre étude s'est étendue vers la côte nord-est de l'Algérie, précisément dans la wilaya de Skikda. Ce choix repose sur la complémentarité écologique et géographique entre ces régions, permettant une meilleure comparaison des écosystèmes étudiés et une évaluation plus globale de la diversité des collemboles en contexte semi-humide et méditerranéen.



Figure 26 : Région de Tamanart. (Photos originaux)

La wilaya de Skikda s'étend sur une superficie de 4 118 km² et se situe dans la partie Nord-est du pays, comprise entre 37°05'17" et 34°34'53" de latitude Nord et entre 06°14'33" et 7°22'31" Est des longitudes dans l'espace géographique compris entre l'Atlas Tellien et le littoral méditerranéen. Elle dispose de 140 km de côtes qui s'étalent de la Marsa à l'est jusqu'à Oued Zhor aux fins fonds du massif de Collo à l'ouest. La Wilaya de Skikda est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Ouest par la wilaya de Jijel, au sud par les Wilayas de Constantine, Mila et de Guelma et à l'Est par la Wilaya d'Annaba.

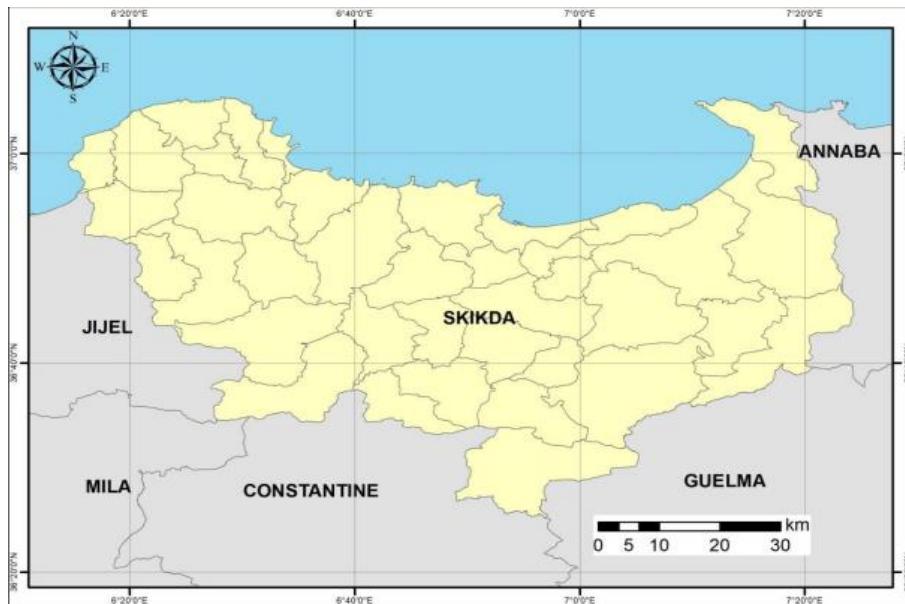


Figure 27 : Situation géographique et administrative de la Wilaya de Skikda

La région de Tamanart se situe dans la commune de Aïn Kechra, à l'ouest de la wilaya de Skikda, en bordure des monts de la Kabylie orientale. Elle se distingue par un relief accidenté et une couverture végétale dense, typique des zones subhumides de la façade méditerranéenne

(Bessaoud, 2015). Cette localité, à prédominance rurale, est caractérisée par un écosystème forestier relativement bien préservé, ce qui en fait un site d'intérêt écologique notable.

La région d'Ouled Attia est située au sud de la wilaya de Skikda, dans une zone de transition entre les reliefs montagneux de la petite Kabylie orientale et les hauts plateaux. Elle relève administrativement de la commune de Ouled Attia, rattachée à la daïra de Aïn Kechra. Cette région, encore relativement peu urbanisée, se caractérise par des formations forestières naturelles et une topographie vallonnée, ce qui lui confère un intérêt écologique et paysager non négligeable (Bendjeddou, 2012 cité par Laggoune, 2022).

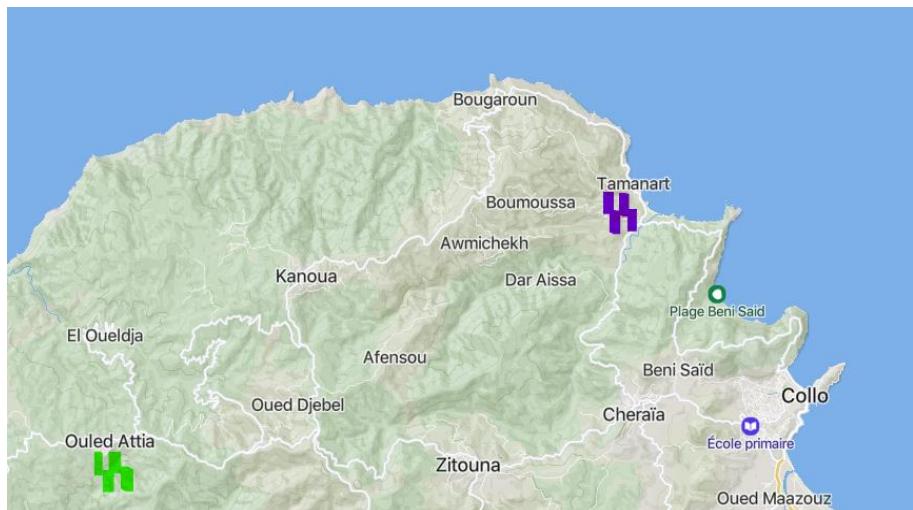


Figure 28 : Situation géographique de Tamanart en bleu et Ouled Attia en vert (les deux stations d'étude)

1.1.1 Le relief

Le relief de la wilaya de Mila est structuré en trois ensembles morphologiques. Au nord, un ensemble de hautes montagnes, caractérisé par les altitudes très élevées et des pentes excessivement marquées. Au centre, un ensemble associant vallées, collines et piémonts, voire même quelques hauts versants. Au sud, un ensemble de hautes plaines (plaines et collines).

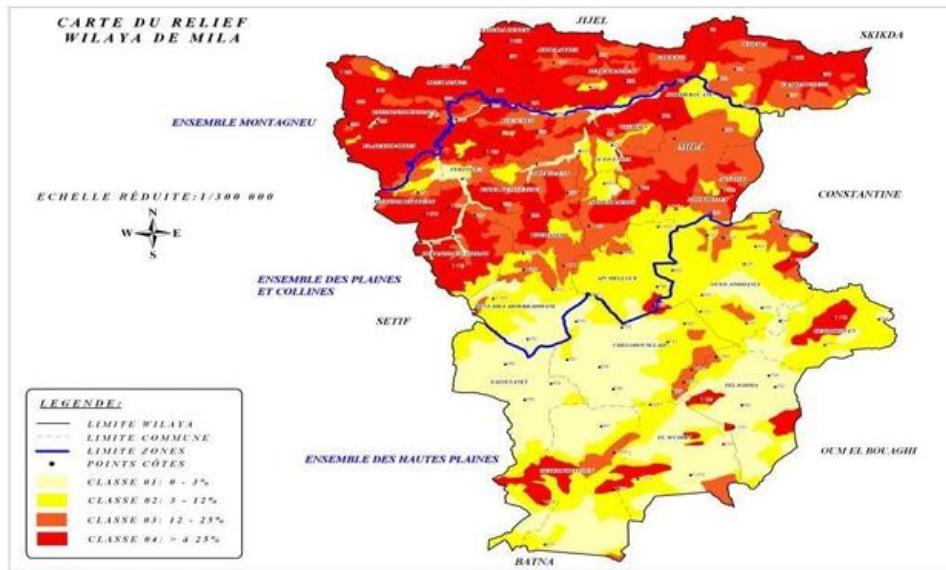


Figure 29 : Carte du relief de la wilaya de Mila (Belattar et Harimi, 2023)

Le relief de la wilaya de Skikda est très accidenté sur la frange littorale dans les massifs de Collo, Azzaba et la ville de la Marsa. Dans ce relief on distingue trois types de zones topographiques : les zones de montagnes, les zones de plaines et les zones de piémonts. La Wilaya de Skikda est localisée entre la presqu'île de Collo à l'ouest, la plaine de Guerbés, le cap de Fer et le massif de l'Edough à l'Est, la chaîne numidique, dont le djebel Sidi Driss et le col du Contour, au Sud et enfin, le golfe de Numidie au Nord. Outre les dépressions de Oued Saf-Saf, la plus importante, et celles de Tamalous et Azzaba. La wilaya de Skikda est une région montagneuse avec des pics dépassant les 1 000 m (djebel El Goufi, au-dessus de Collo, et djebel Sidi Driss, au-dessus d'Oum Toub). Elle fait partie de l'Atlas tellien qui, à partir de l'Algérois vers l'Est du pays, se scinde en deux chaînes montagneuses parallèles à la côte méditerranéenne : le bourrelet liminaire ancien du littoral et la chaîne du tertiaire, plus au Sud, représentant la chaîne numidique (Azzouzi, 2013).

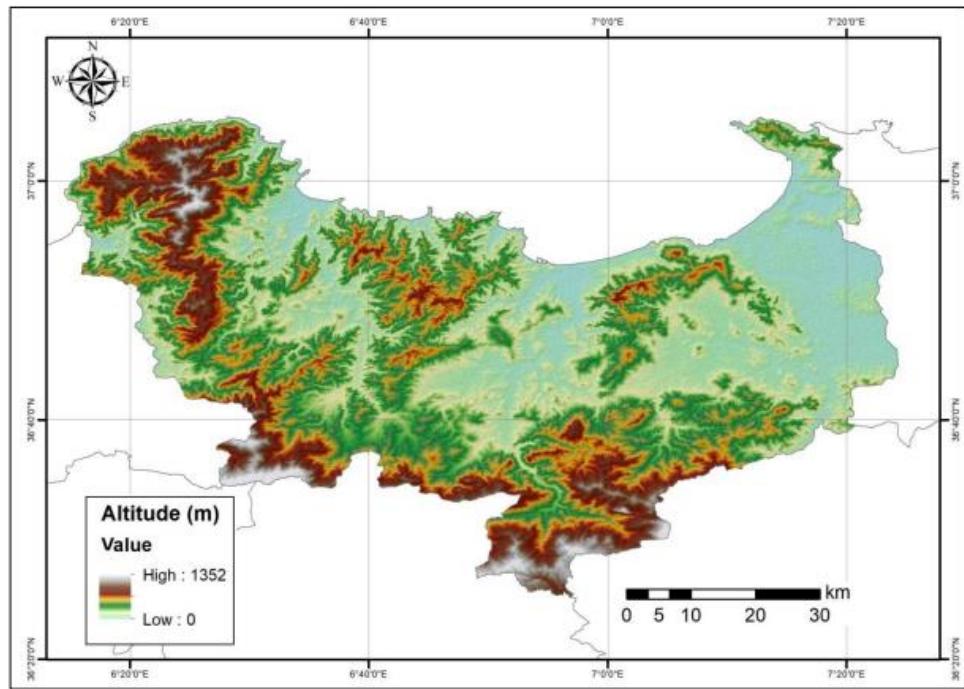


Figure 30 : Topographie de la Wilaya de Skikda. (Anonyme.2010)

1.1.2. Le climat

Les localités de récolte sont soumises à l'influence du climat méditerranéen caractérisé par des précipitations irrégulières, et une longue période de sécheresse estivale. Ce climat s'identifie par des hivers froids et des étés chauds, dus essentiellement à l'influence de la continentalité.

Le climat de la wilaya de Mila est caractérisé par des étés secs et chauds et des hivers froids et humides. La pluviométrie varie entre 700 mm/ an dans la zone montagneuse, 350 mm/ an au Sud et 400 à 600 mm/an dans la partie centrale. Mais d'une manière générale, les précipitations décroissent du Nord au Sud de la région.

- L'espace Nord appartient à l'étage bioclimatique subhumide. C'est la partie bien arrosée et caractérisée par un niveau de précipitations variant de 600 à 700 mm/an.
- L'espace de piedmonts et de collines est caractérisé par un climat favorable avec des précipitations qui varient entre 400 et 600 mm/an. Mais compte tenu des altitudes élevées, la gelée est généralement importante en hiver. Cet espace appartient à l'étage bioclimatique subhumide.
- L'espace Sud des hautes plaines se caractérise par une pluviométrie annuelle moyenne de 350 mm, bien répartie sur l'ensemble de l'année à l'exception de la période estivale qui s'étale de juin à septembre (Chettah, 2009).

La wilaya de Skikda se caractérise par un climat méditerranéen chaud et sec en été et doux et pluvieux en hiver (A.N.P.E., 1994). Elle appartient aux domaines bioclimatiques humides et subhumides à variante douce et tempérée au niveau du littoral et froid à l'intérieur. L'étage humide couvre la zone occidentale montagneuse ainsi que les sommets à l'Est et au Sud. Le domaine subhumide prévaut sur les 4/5^{ème} du territoire de la wilaya avec une pluviométrie comprise entre 1000 et 1500 mm/an. Pour les températures, elles sont douces en hiver (11°C) et chaude en été (24°C) sur le littoral, où les amplitudes thermiques sont faibles. Elles sont moins douces en hiver (9°C) et plus chaudes en été (27°C) au niveau du territoire intérieur où les amplitudes sont plus marquées.

L'humidité relative de la wilaya de Skikda enregistre une valeur très importante, elle atteint une moyenne de 65,5 % et fluctue entre une valeur minimale de 68,91 % et une valeur maximale de 75,34 %. La mer joue un rôle important dans le maintien d'une humidité élevée durant la saison estivale, diminuant ainsi la durée de sécheresse en été (O.N.M., 2012).

La zone littorale de la wilaya de Skikda, est particulièrement soumise à des vents très violents dont la vitesse peut atteindre les 130 km/h. Ces vents causent de multiples dommages aussi bien sur la côte que sur l'intérieur des terres. La direction des vents dominants est Sud-Ouest à Sud-Est (Touati et al., 2004).

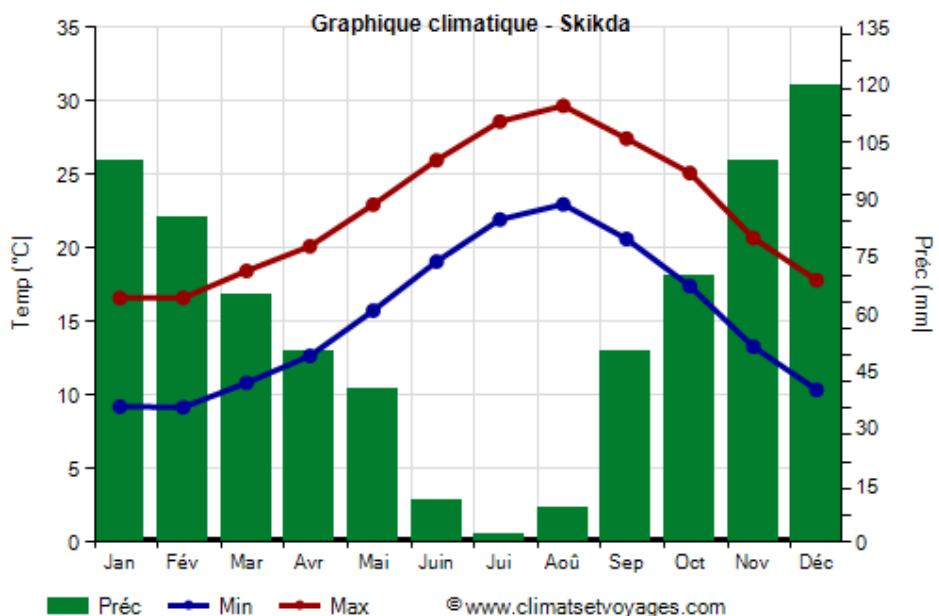


Figure 31 : Diagramme climatique de Skikda pendant l'année.

1.1.3. La Température

La température, en combinaison avec les précipitations, jouent un rôle crucial dans la détermination du climat régional et influencent significativement le calcul de l'évapotranspiration. Les écarts importants de température entre le jour et la nuit ont des répercussions négatives sur les propriétés des sols et des roches, favorisant leur désagrégation mécanique et augmentant les risques de gel et de dégel. Les données des tableaux 5, 6 et 7 démontrent que la température moyenne annuelle est d'environ 15,21°C à la station de Beni Haroun, avec les mois de juin, juillet, août et septembre enregistrant les températures les plus élevées (le maximum étant atteint en juillet à 27,40°C) (Chettah, 2009).

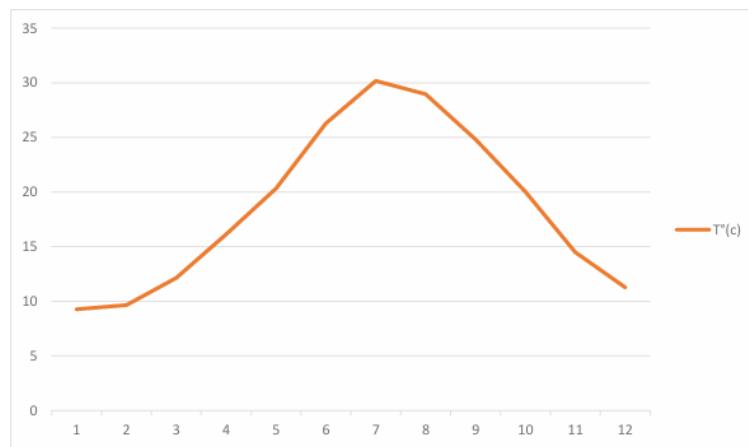


Figure 32 : Variations des moyennes de la température à Mila (2009 /2023).

Tableau 1 : Moyennes mensuelles des températures à Mila

	T	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
2009	Tm	6	4	6	8	15	21	25	23	17	14	10	9
	T	9	8	13	21	26	26	31	28	22	18	15	12
	TM	12	12	17	17	26	31	36	34	26	22	20	16
2010	Tm	7	7	8	11	13	18	23	21	16	12	7	5
	T	10	12	13	16	17	23	28	27	22	18	12	10
	TM	13	16	18	21	22	29	34	34	28	24	17	14
2011	Tm	4	3	6	11	14	19	22	23	23	13	9	6
	T	9	8	12	17	20	24	28	29	24	18	14	10
	TM	14	13	17	23	25	28	34	34	35	22	19	14
2012	Tm	4	1	6	10	15	23	23	25	19	15	10	6
	T	9	5	12	15	21	29	29	31	24	20	15	10
	TM	13	10	18	21	26	35	35	38	29	25	20	15

2013	Tm	4	3	7	10	13	17	23	21	18	17	9	6
	T	8	8	13	16	18	23	29	27	24	23	12	10
	TM	13	12	19	22	23	29	34	33	29	28	16	14
2014	Tm	5	5	5	10	14	19	22	23	21	15	11	12
	T	10	11	10	16	20	25	28	29	27	21	16	9
	TM	15	17	16	22	26	31	35	35	32	27	21	12
2015	Tm	4	3	6	11	17	20	26	23	18	14	8	5
	T	9	7	12	18	22	26	31	30	23	19	14	11
	TM	13	11	17	24	28	31	37	36	29	24	19	17
2016	Tm	5	6	5	11	15	21	24	21	17	15	9	6
	T	11	12	11	17	21	26	30	28	23	21	14	11
	TM	17	17	17	22	26	31	35	34	30	27	19	16
2017	Tm	3	5	6	10	18	23	25	26	20	15	10	6
	T	7	11	13	16	24	29	31	31	24	19	14	10
	TM	11	17	21	22	30	34	37	26	29	23	17	13
2018	Tm	7	4	8	12	15	20	26	23	22	16	11	8
	T	11	8	12	17	19	25	31	27	26	19	15	12
	TM	15	12	17	21	23	29	36	32	30	23	19	16
2019	Tm	5	5	7	11	14	23	25	25	21	16	16	9
	T	8	10	12	16	18	29	31	30	25	20	13	12
	TM	11	14	17	20	22	35	37	35	30	25	16	16
2020	Tm	6	8	6	12	17	21	24	25	20	14	12	7
	T	10	13	12	16	22	25	30	30	24	19	16	11
	TM	14	18	16	21	27	30	35	36	28	23	19	14
2021	Tm	6	7	7	11	16	23	26	26	21	14	11	7
	T	10	12	12	16	21	28	32	32	28	19	14	12
	TM	13	17	17	21	27	34	38	39	35	25	17	16
2022	Tm	5	6	8	9	15	22	23	23	22	18	12	11
	T	10	11	12	15	22	31	32	30	28	24	17	15
	TM	14	16	17	22	29	40	41	38	35	30	21	20

2023	Tm	5	5	8	9	12	19	26	21	20	17	11	9
	T	9	10	14	16	18	26	28	26	22	22	15	12
	TM	13	14	20	23	23	32	42	35	31	28	20	15
		9,266	9,644	12,13	16,13	20,33	26,28	30,17	28,95	24,82	20,02	14,48	11,26
		667	444	333	333	333	889	778	556	222	222	889	667

La wilaya de Skikda, située au nord-est de l'Algérie, bénéficie d'un **climat méditerranéen**, caractérisé par des **étés chauds et secs**, et des **hivers doux et humides** (Benkhaled, 2019). Ce climat joue un rôle déterminant dans la dynamique biologique des organismes édaphiques tels que les collemboles, qui sont des bioindicateurs très sensibles aux variations climatiques (ONM, 2020).

La **température annuelle moyenne** dans la région se situe entre **16°C et 19°C** (ONM, 2020). En été (de juin à août), la température peut atteindre **30°C ou plus** dans les zones comme Ouled Atia situées légèrement en altitude (Benkhaled, 2019). Tandis qu'en hiver (décembre à février), les températures minimales peuvent descendre jusqu'à **5°C à 7°C** dans les zones montagneuses comme Tamanart (ONM, 2020).

Ces contrastes thermiques, combinés à une humidité importante en hiver et une forte exposition solaire en été, créent des conditions écologiques spécifiques influençant la répartition et l'abondance des collemboles (Benkhaled, 2019).

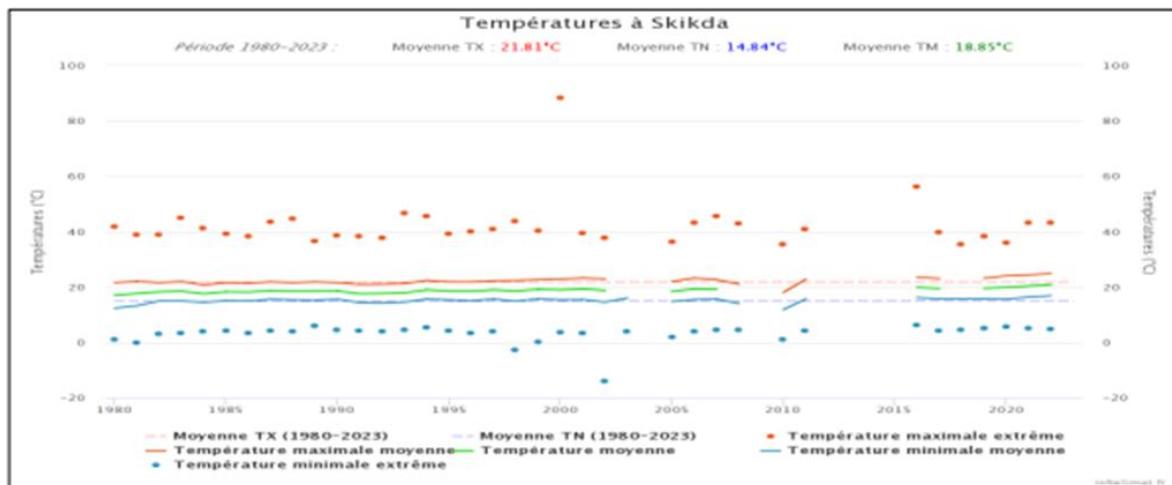


Figure 33 : Courbe des températures à Skikda pour la période (1982-2022).

1.1.4. Pluviométrie :

La wilaya de Mila bénéficie d'un climat de type méditerranéen semi-humide, caractérisé par une répartition irrégulière des précipitations au cours de l'année. En moyenne, la région

enregistre environ **792 mm de pluie par an**, avec une concentration notable durant la saison hivernale (Ou-et-Quand, 2024).

En se basant sur les données récentes de Beni Haroun, des graphiques des précipitations moyennes mensuelles sur une période de cinq ans (2003 à 2007) ont été élaborés. Ces données montrent que décembre est le mois le plus pluvieux avec une moyenne de 159,87 mm, tandis que juillet est le moins pluvieux avec une moyenne de 0,46mm. En général, les précipitations augmentent d'août à décembre. Les données des autres stations corroborent ces résultats. Les graphiques de la pluviométrie saisonnière dans le bassin versant de Mila indiquent que près de la moitié des précipitations se produisent en hiver (50,80% pour Beni Haroun, 49,88% pour Hamala Grarem et 38,10% pour Ain El Bey). Ces données suggèrent que les cours d'eau et les nappes phréatiques sont principalement alimentés par les précipitations hivernales. La pluviométrie moyenne annuelle dans la région de Mila est d'environ 612,75 mm (pour la station de Beni Haroun) et 674,78 mm (pour la station de Hamala Grarem).

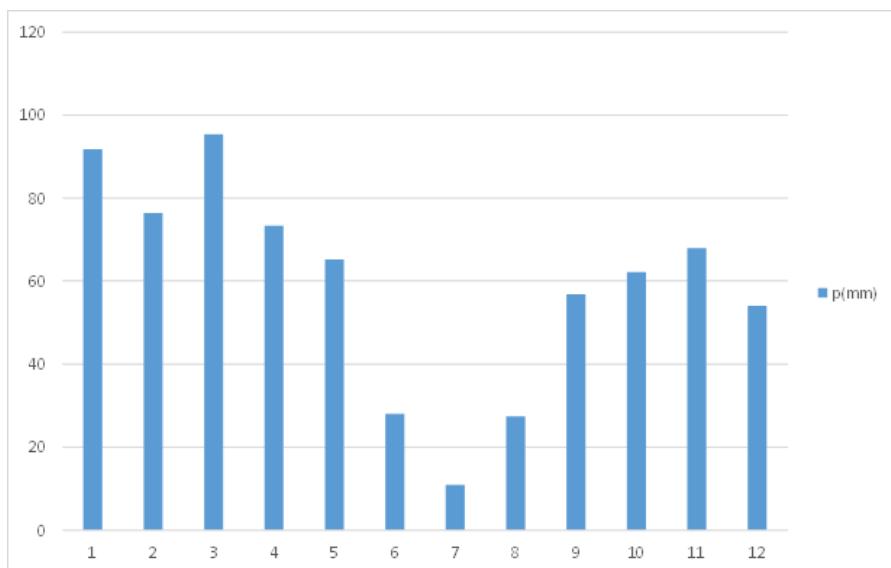


Figure 34 : Variations des moyennes de Précipitations à Mila (2009-2023).

Tableau 2 : Valeurs mensuelles de la pluviométrie dans la Wilaya de Mila

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
2009	261	78	76	239	48	1	9	30	188	68	93	102
2010	127	51	120	97	107	22	6	48	44	82	87	72
2011	75	186	81	134	131	133	33	19	100	153	61	111
2012	68	213	143	144	56	19	33	45	66	107	63	32
2013	144	163	101	87	126	9	28	44	78	104	167	67
2014	51	53	209	32	87	72	15	27	74	98	25	54
2015	189	139	95	16	28	23	7	56	39	74	64	5

2016	64	35	85	82	35	23	9	14	28	53	61	22
2017	109	45	3	28	37	32	2	24	11	31	96	72
2018	10	64	119	45	91	16	4	9	35	61	37	24
2019	136	41	153	60	56	7	9	76	86	68	115	67
2020	15	2	108	79	24	27	5	9	92	27	49	132
2021	82	62	106	41	98	16	1	5	3	3	45	15
2022	18	10	26	10	10	0	1	3	7	3	25	4
2023	27	4	5	6	44	20	1	2	1	0	31	31
	91,73	76,4	95,33	73,33	65,2	28	10,86	27,4	56,8	62,13	67,93	54

La région de Skikda connaît une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 796,82 mm, calculée sur une période de onze ans. Cette moyenne masque cependant une forte variabilité, avec des précipitations annuelles pouvant osciller entre 537,70 mm et 1 113 mm selon les années (Benkhelifa *et al.*, 2020).

Les précipitations sont distribuées de manière inégale tout au long de l'année. La saison pluvieuse s'étend généralement de septembre à mai, avec un pic de précipitations atteint en décembre, où la moyenne mensuelle peut atteindre jusqu'à 120 mm (Climats et voyages, 2024; Weatherspark, 2023). En contraste, les mois d'été, notamment juillet, sont quasiment secs, enregistrant parfois moins de 3,2 mm de pluie, illustrant ainsi la sécheresse estivale typique de la région (Weatherspark, 2023).

Cette variabilité interannuelle des précipitations est également influencée par des facteurs atmosphériques et géographiques. Par ailleurs, les oscillations atmosphériques méditerranéennes jouent un rôle important dans ces fluctuations d'une année à l'autre (Moussaoui & Ait Kaci, 2023). En somme, la pluviométrie de Skikda s'inscrit dans un climat méditerranéen typique, avec une saison humide marquée et des étés très secs. Cette distribution irrégulière des précipitations impacte fortement les activités agricoles et la gestion des ressources hydriques dans la région (Benkhelifa *et al.*, 2020 ; Moussaoui & Ait Kaci, 2023).

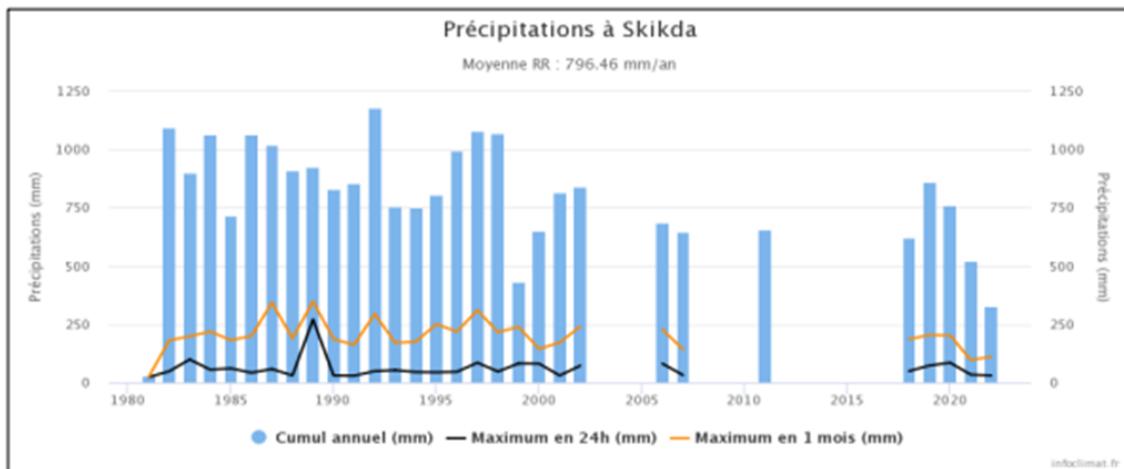


Figure 35 : Histogramme des précipitations à Skikda pour la période (1982-2022).

1.2. Végétation

1.2.1. Wilaya de Mila

La superficie des forêts dans la wilaya de Mila est estimée à 38 695 hectares (12% de la superficie totale). Elle est composée de :

- ✓ Forêts naturelles représentants, dont l'espèce dominante est le chêne liège ;
- ✓ Les reboisements, les principales essences sont le pin d'Alep et le cyprès ;
- ✓ Les maquis (maquis de chêne vert genévrier) ;
- ✓ Prairie naturelle de 23 040 hectares (8%) ;
- ✓ Terre improductive de 16 453 hectares soit 5%. (Belahlou.2016)

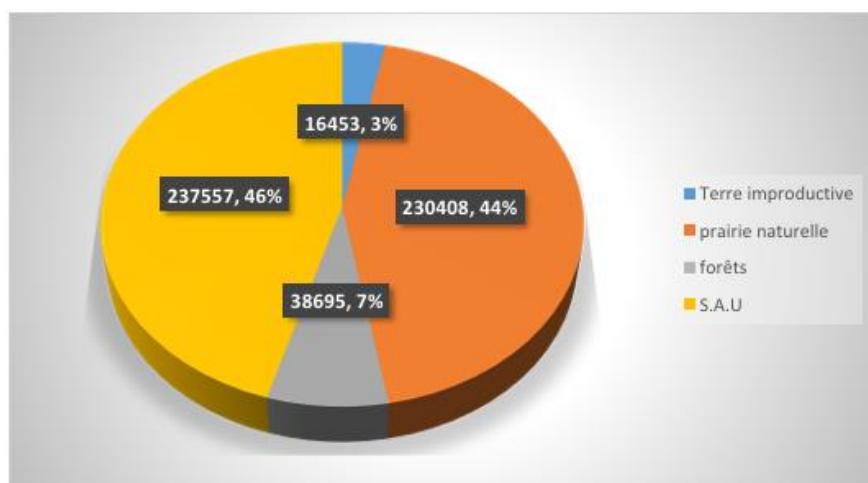


Figure 36 : Réparation de la superficie agricole totale dans la wilaya de Mila (Dsa, 2013 cités par Belahlou, 2016)

- **Commune de Béni Haroun**

Beni Haroune est un village situé à Hamala, dans la commune de Grarem Gouga, wilaya de Mila. Il se trouve à proximité du village de Mechtat Aïn El Kebira, ainsi que de Mechtat El Badsi limitée parallèlement au 36,60312° ou 36° 36' 11" de latitude Nord et au méridien 6,28296° ou 6° 16' 59" de longitude Est. Le climat de Beni Haroun varie entre Humide et Subhumide avec un hiver frais (2,15 °C).

1.2.2. Wilaya de Skikda

- **Végétation des zones humides**

La flore spécifique à la zone humide située à l'extrême Est de la wilaya de Skikda est de 234 espèces, soit près de 1/8^{ème} de la flore Algérienne composée au total de 1 800 espèces (C.F.S., 2006). Les espèces végétales aquatiques sont au nombre de 145. Le contact entre les dunes et les plaines alluviales a permis l'installation de forêts humides telles les aulnaies qui recouvrent 180 ha (Boumezbeur, 2001).

- **Végétation forestière**

La végétation forestière est représentée par l'ensemble du couvert végétal qui est constitué par des essences dont l'origine est soit naturelle ou soit artificielle. Elle est importante pour sa production en bois, en liège et en résine, de plus, son maintien permet de sauvegarder la biodiversité. Selon Trainer (1991) la répartition de différentes essences cartographiées dans la localité de Collo, met en évidence la dominance du *Quercus suber* (21 300 ha). Il se retrouve associé avec le *Quercus faginea* et le *Pinus pinaster*. D'autres espèces sont notées entre autres : *Alnus glutinosa*, *Fraxinus oxyphylla*, *Celtis australis*, *Castanea sativa*, *Ceratonia siliqua* et *Eucalyptus camaldulensis* (Trainer, 1991). Dans la dépression d'Azzaba la végétation est formée essentiellement de *Quercus suber*, *Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo*, *Erica sp.*, *Cistus sp.* et *Ampelodesma mauritanica* (Benderradj, 1999). D'autres essences sont faiblement représentées telles que *Crataegus oxyacantha* et le *Juniperus oxycedrus*.

- **Commune de Tamanart**

Tamanart est également située dans la **wilaya de Skikda**, au cœur d'une région vallonnée faisant partie intégrante du **massif forestier de Collo**, reconnu pour sa forte densité végétale et son rôle écologique majeur dans le maintien de la faune du sol (Bendjaballah, 2019).

La région bénéficie d'un **climat humide à influence méditerranéenne**, avec des hivers frais et des précipitations saisonnières significatives, propices à l'accumulation de litière organique (Khaldi *et al.*, 2021). Le **couvrement végétal** de Tamanart est similaire à celui de

Ouled Attia, marqué par une dominance de **forêts de feuillus**, essentiellement du **chêne zen**, et une présence abondante de **débris végétaux au sol**, créant un micro habitat idéal pour les collemboles (Meziane *et al.*, 2020).

- **Commune de Ouled Attia**

Ouled Attiah est une localité forestière située dans la **wilaya de Skikda**, au Nord-Est de l'Algérie. Elle est nichée dans le **massif montagneux de Collo**, connu pour sa couverture végétale dense et sa richesse en biodiversité (Bendjaballah, 2019).

Le **climat** de cette zone est de type **humide à subhumide**, marqué par des précipitations abondantes et régulières pendant l'année, favorisant une litière forestière riche et stable (Bendjaballah, 2019).

La présente étude est réalisée à Tamanart et Ouled Attia, Wilaya de Skikda, et Beni Haroun, Wilaya de Mila, entre les mois de janvier, février et mars 2025. Des échantillons de litière de chêne zen, bois morts et la mousse ont été prélevés à la main d'une façon aléatoire. Les régions où se trouvant à proximité d'une forêt riche en végétaux, est constitué de deux plages et d'un oued ceinturant une partie du grand massif de Collo.

Le tableau 03 regroupe les coordonnées géographiques des trois stations étudiées : Beni Haroun, Ouled Attia et Tamanart (voir Figure 32). Le choix de ces sites s'est fait de manière aléatoire stratifiée, en fonction de l'accessibilité du terrain et de la diversité écologique présente sur les lieux. Cette stratégie a permis d'assurer une couverture représentative des habitats forestiers ciblés, en vue d'un inventaire faunistique précis des collemboles.

Tableau 3 : Coordonnées géographiques des trois stations visitées.

	Latitude	Longitude	Altitude
Station A	36,596629°N	6,304644° E	604m
Station B	37,0336° N	6,3039°E	73.43m
Station C	36,5920°N	6,1915°E	667m



Figure 37 : Vue satellitaire sur Hamala (Stations d'échantillonnage A) (google earth, 2025)

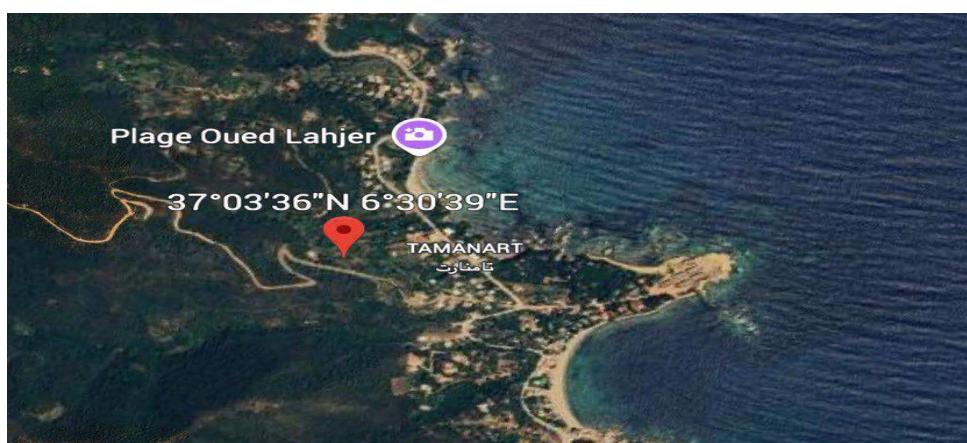


Figure 38 : Vue satellitaire sur Tamanart (Station d'échantillonnage B) (Google earth,2025)

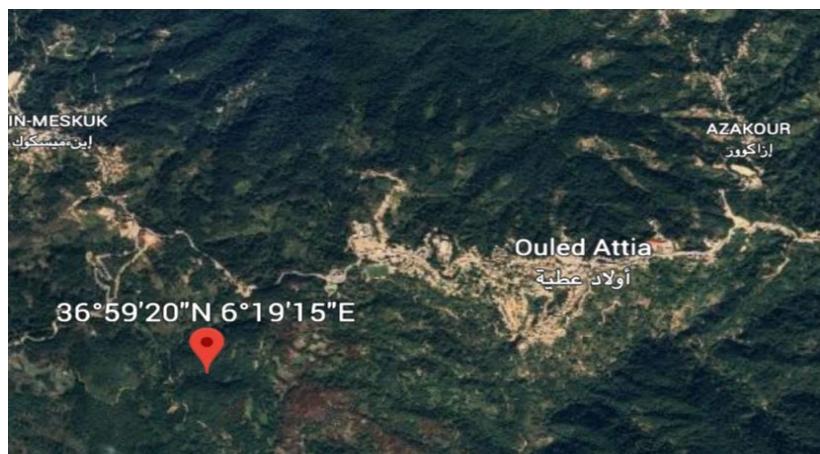


Figure 39 : Vue satellitaire sur Ouled Attia (Station d'échantillonnage C) (Google earth,2025)

L'analyse de la faune du sol, en particulier celle des collemboles, nécessite une collecte rigoureuse d'échantillons représentatifs sur le terrain. Ces échantillons doivent ensuite être traités en laboratoire à l'aide de méthodes adaptées permettant une extraction efficace des microarthropodes.

L'objectif de notre étude est d'établir un inventaire faunistique des collemboles présents dans différents types de litières forestières, afin de mieux comprendre leur diversité et leur rôle écologique au sein des sols étudiés.



Figure 40 : Station d'étude dans la localité de Hamala (S /A) (Photos originaux)

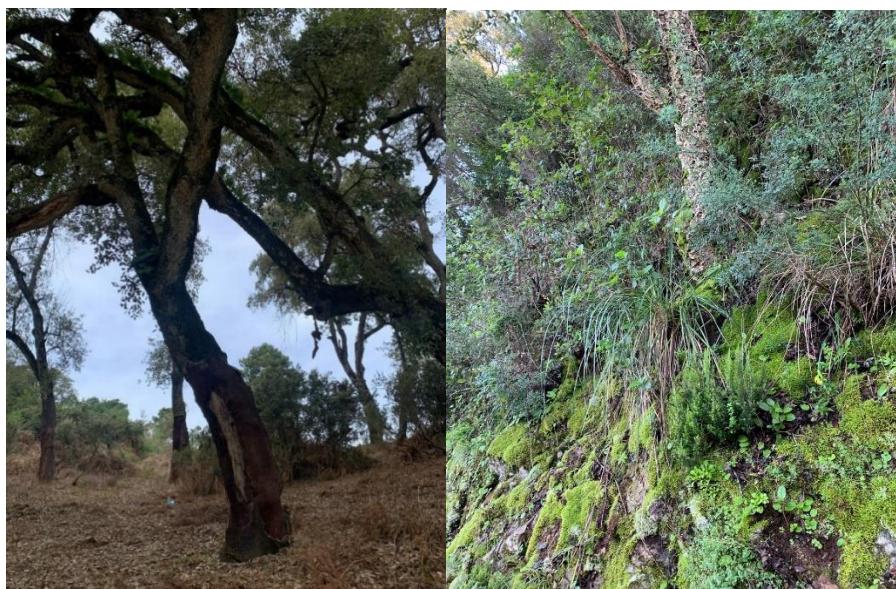


Figure 41 : Station d'étude dans la localité de Ouled Attia (Photos originaux)

2. Matériels & méthodes

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'un laboratoire spécialisé en biosystématique et écologie des collemboles, un groupe clé parmi les microarthropodes du sol. Ces organismes, discrets mais essentiels, jouent un rôle central dans le fonctionnement des écosystèmes édaphiques, notamment à travers la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments.



Figure 42 : Laboratoire de Biosystématique et Ecologie des Arthropodes (photo originale)

Le laboratoire est situé à Chaabat Erssas, sur le campus de l’Université Frères Mentouri - Constantine 1. Il dispose des équipements nécessaires pour effectuer des prélèvements, des observations morphologiques fines, ainsi que des analyses écologiques sur les populations de collemboles.

À travers cette étude, nous visons à explorer la diversité spécifique de ces organismes dans différents habitats, à analyser leur distribution selon les conditions environnementales, et à mieux comprendre leur rôle indicateur dans l’évaluation de la qualité des sols.

2.1. Techniques de prélèvement des échantillons

La collecte des échantillons de litière a été réalisée manuellement selon une stratégie d’échantillonnage aléatoire, en ciblant trois micro habitats distincts : la litière de chêne zen, les bois morts et les tapis de mousse. Cette diversité visait à maximiser la représentativité des conditions écologiques locales.

Par ailleurs, certains échantillons de sol ont été prélevés à l’aide d’une sonde pédologique conçue par Vannier et Vidal (in Bachelier, 1986), permettant l’extraction de cylindres de sol intacts. Cet outil s’est avéré particulièrement efficace pour préserver la structure des échantillons en vue d’analyses fines au laboratoire.

Une attention particulière a été portée aux conditions de conservation : les échantillons ont été placés dans des sacs ou boîtes en plastique hermétiques, afin de préserver l’humidité naturelle du substrat et d’éviter toute élévation de température durant le transport (Bendjaballah, 2019).



Figure 43 : Sacs d'échantillons
(Photo originale)



Figure 44 : La mousse (Photo
originale)



Figure 45 : Le sol (Photo originale)



Figure 46 : Le bois mort (Photo originale)



Figure 47 : La litière (Photo originale)

2.2. Extraction des Collemboles

Après le prélèvement, l'extraction de la faune édaphique nécessite des méthodes adaptées afin de séparer efficacement les microarthropodes de leur substrat. Parmi les techniques disponibles, l'extraction passive via l'entonnoir de Berlèse-Tullgren demeure la plus utilisée. Ce dispositif exploite la lumière et la chaleur pour inciter les organismes mobiles, comme les collemboles, à fuir vers le bas de l'échantillon, où ils sont récupérés dans un récipient contenant de l'alcool. Cette méthode permet une récupération ciblée et efficace, à condition de manipuler les échantillons avec soin pour éviter leur compaction, ce qui pourrait freiner la migration des individus.

Les échantillons collectés sont traités au Laboratoire de Biosystématique et d'Écologie des Arthropodes. Différentes méthodes d'extraction des collemboles et d'autres microarthropodes sont disponibles, notamment l'extraction par voie sèche, l'extraction par lavage (voie humide) et l'extraction par film graisseux de Aucamp. (Bendjaballah, 2019).



Figure 48 : Extraction des arthropodes par la méthode de Berlèse-Tullgren (Photo originale)

2.3. Tri et dénombrement

Les collemboles extraits sont transférés dans une boîte de Pétri pour être triés à l'aide d'une loupe binoculaire.

Cette observation à fort grossissement permet de les différencier précisément des autres microarthropodes. Le tri s'effectue à l'aide d'une brosse de Cassagnau, un outil fin et souple permettant une manipulation délicate des individus. Une fois isolés, les collemboles sont dénombrés afin d'évaluer leur abondance par échantillon.



Figure 49 : La brosse de Cassagnau (photo originale)

2.4. Identification des collemboles

La détermination des collemboles se fait initialement au niveau de l'ordre et de la famille en utilisant une loupe binoculaire et des clés d'identification fournissant les caractéristiques morphologiques générales. Pour une identification spécifique, un montage entre lame et lamelle est requis afin d'observer certains détails microscopiques tels que les pièces buccales ou la chaetotaxie antennaire. L'identification des espèces nécessite l'expertise d'un taxonomiste, notamment pour les espèces difficiles à classer (Brahim Bounab, 2016)



Figure 50 : Loupe binoculaire de marque « Leica » modèle « S8 AP0 ».

2.5. Conservation et étiquetage

Une fois extraits, les collemboles sont soigneusement transférés dans des tubes en plastique hermétiques contenant de l'alcool à 70 %, une solution permettant à la fois leur conservation à long terme et la préservation de leurs caractéristiques morphologiques. Chaque

tube est accompagné d'une étiquette manuscrite ou imprimée, placée à l'intérieur, contenant l'ensemble des données essentielles : la date de prélèvement, le lieu exact de collecte, le nom de la station, ainsi que le type de biotope associé (litière de chêne zen, bois mort, mousse, etc.). Cette standardisation des données vise à garantir une traçabilité rigoureuse des échantillons et à faciliter leur exploitation ultérieure en laboratoire.



Figure 51 : Conservation des spécimens dans des tubes Eppendorf étiquetés contenant de l'alcool 70% (photo originale).

2.6. Fixation

Pour être observés entre lame et lamelle, les collemboles doivent d'abord être fixés dans de l'alcool à 70 % ou 75 %. En raison de leur non-mouillabilité, ils flottent souvent à la surface : on utilise donc le liquide de Gisin, une solution spéciale qui permet de briser la tension superficielle et facilite leur immersion complète pour une observation optimale selon suit :

- Alcool éthylique à 95° 75 ml
- Ether éthylique 25 ml
- Acide acétique 3 ml
- Formol à 40% 0,3 ml

2.7. Eclaircissement

L'éclaircissement vise à éliminer les tissus internes des collemboles tout en conservant leur exosquelette chitino-protéique. Cette étape permet d'observer plus facilement certains détails morphologiques essentiels, comme la chétotaxie ou d'autres caractères utiles à la détermination systématique. Pour cela, quelques spécimens sont traités à l'acide lactique, à froid ou à chaud sur plaque chauffante, jusqu'à l'obtention d'une extension optimale sans

éclatement. Toutefois, cette méthode a pour inconvénient d'estomper les pigments naturels, ce qui peut limiter l'interprétation de certaines caractéristiques visuelles. D'autres milieux éclaircissants sont utilisés et leur utilisation a permis d'obtenir de meilleurs résultats (Jordana et al, 1997) cité par Hamra Kroua (2005).

* Milieu éclaircissant de Nesbit qui se compose de :

- Hydrate de chloral 40 g
- Acide chlorhydrique 2,5 ml
- Eau distillée 25 ml

**Milieu éclaircissant du Chloral Lactophénol (milieu dangereux, à utiliser avec précaution) :

- Hydrate de chloral 50 g
- Phénol cristallisé 50 g
- Acide lactique 25 ml

3. Montage

Selon Brahim Bounab (2016), une fois l'éclaircissement terminé, les collemboles deviennent transparents après élimination des graisses et des tissus internes. Ils sont ensuite lavés à l'eau distillée puis à l'alcool, afin de retirer les résidus de fixateur et les impuretés. Si les spécimens sont suffisamment propres, le montage entre lame et lamelle peut être réalisé directement dans le liquide de Hoyer, sans étape supplémentaire.

Le liquide de Hoyer se compose de :

- Gomme arabique 30 g
- Hydrate de chloral 200 g
- Glycérine 20 ml
- Eau distillée 50 ml

La préparation du liquide de Hoyer doit être réalisée plusieurs jours avant son utilisation selon l'ordre suivant :

- 1- Triturer la gomme arabique dans un mortier pour la réduire en poudre
- 2- Faire dissoudre à froid le chloral dans l'eau distillée
- 3- Ajouter la gomme arabique en petite quantité
- 4- Homogénéiser avec un agitateur
- 5- Ajouter la glycérine

6- Une fois le mélange est fait, filtrer le liquide obtenu dans un tamis à mailles de 50mm Lorsque le liquide de montage est prêt, réalisation d'un montage proprement dit de l'animal :

- On met une petite goutte de Hoyer au milieu de la lame pour qu'il ne déborde pas, et l'élimination de l'excès avec un bout de buvard.
- Placement l'animal éclairci et lavé au centre de la goutte du liquide et on l'enfonce jusqu'au contact de la lame.
- Recouvrement du liquide et l'animal dedans avec la lamelle en la posant par un côté et en la rabattant lentement pour ne pas écraser l'animal et pour ne pas former des bulles d'air.
- Exercer sur la lamelle de très faibles mouvements pour orienter l'animal pour obtenir un meilleur angle de vue.
- Sécher la préparation dans une étuve à 50 °C
- On ajoute parfois une petite goutte de liquide sur les bords de la lamelle pour compenser les rétractions (Brahim Bounab, 2016).

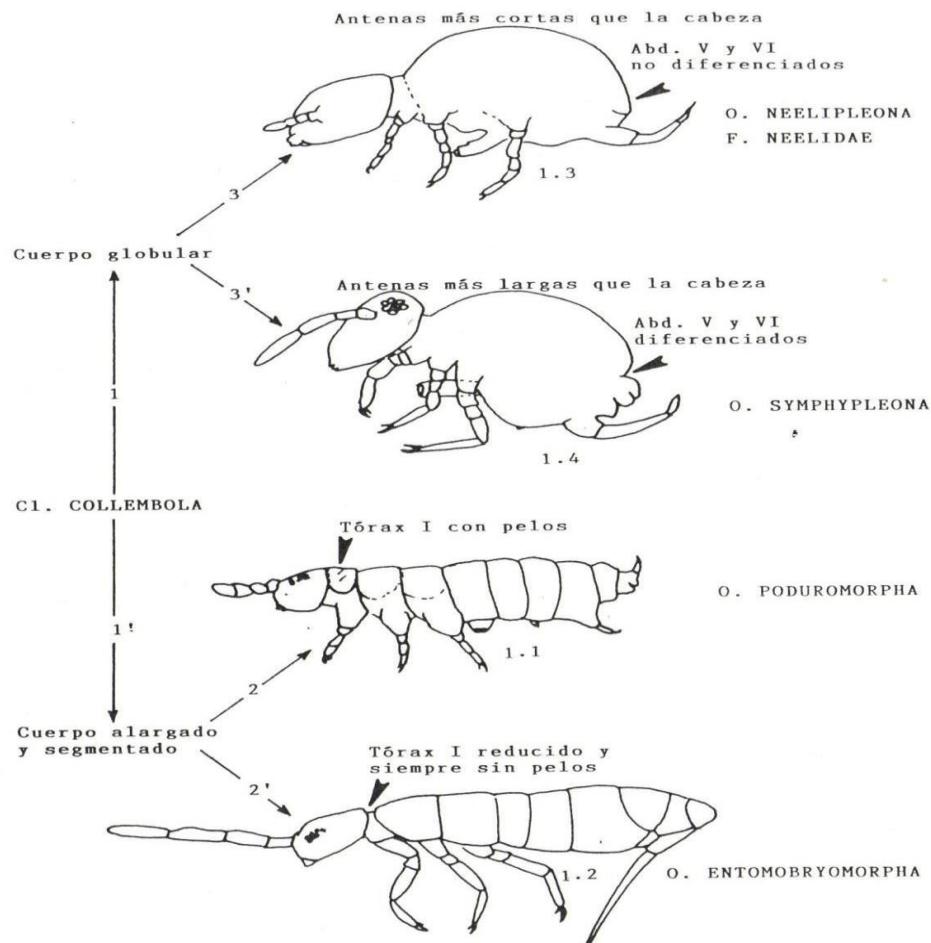
4. Identification

L'identification des collemboles débute sous loupe binoculaire, à l'aide de différentes clés morphologiques permettant de déterminer leur ordre et leur famille. Ces clés regroupent les principaux caractères visibles à faible grossissement. Pour affiner l'identification au niveau spécifique, un montage entre lame et lamelle est nécessaire, afin d'observer des structures plus fines comme les pièces buccales, la chétotaxie antennaire, ou d'autres détails microscopiques. Dans le cas d'espèces complexes ou atypiques, l'identification à l'espèce nécessite l'intervention d'un spécialiste en taxonomie.

Clé des ordres

Classe COLLEMBOLA Lubbock, 1862.

1.-Corps globuleux, segmentation du corps non apparente. Tout au plus les segments abdominaux V et VI sont segmenté.



1'. -Corps allongé. Segmentation du corps apparente.

2.- Prothorax (segment thoracique I) développé et avec soies dorsales. Corps avec trois segments thoraciques et six segments adnominaux, Ordre PODUROMORPHA BÖRNER, 1913.

2'. -Prothorax réduit et sans soies dorsaleOrdre
ENTOMOBRYOMORPHA BÖRNER, 1913.

3.-Animaux plus petits et sans pigments. Segments abdominaux V et VI non différenciés. Sans yeux. Tenaculum sans soies. Antennes plus courtes que la tête. Abdomen sans trichobothries Dorsales.....Ordre NEELIPLEONA, 1 seule famille NEELIDAE FOLSOM, 1896.

3'. -Animaux avec ou sans pigments. Segments abdominaux V et VI différenciés. 0 à 8 cornéules de chaque côté de la tête. Abdomen avec trichobothries.....Ordre SYMPHYPLEONA BÖRNER, 1901.

Clé des familles

Ordre PODUROMORPHA

- 1.- Pièces buccales broyeuses composées de maxilles et mandibules avec plaque Molaire
- 1'. - Pièces buccales modifiées ayant acquise des formes très ; mandibules sans plaque molaire absente.
- 2.- Corps avec pseudocelles. Au sommet du segment antennaire III il y a un organe sensoriel composé de soies sensorielles en forme de "masse", très apparentes et protégées par des papilles. Sans yeux. Corps sans pigmentation. F. ONYCHIURIDAE.
- 2'. - Corps sans pseudocelles. Organe sensoriel au sommet du 3ème article antennaire composé par deux soies sensorielles cylindriques. 0-8 cornéules de chaque côté de la tête. Corps avec ou sans pigmentation.
- 3.- Furca large, quand elle est rabattue sur le corps, dépasse-les coxas de la seconde paire de pattes. Les deux branches de la dens présentent une courbature vers l'intérieur. F. PODURIDAE.Lubbock,1873 : *Podura**Linneaeus*, 1758.
- 3'. - Furca très courte, quand elle est rebattue ne dépasse pas les coxas de la 3ème paire de pattes, ou absente. Les deux branches de la dens, quand elles sont présentes, sont parallèles ou d'ive. F.HYPOGASTRURIDAEBörner, 1913.
- 4.- Métathorax (3ème segment thoracique) généralement avec microsensilles latérales. Furca présente Mucron avec lames obliques ou en forme de gant. FODONTELLIDAE^{MASSOUD}, 1981.F. NEANURIDAE Cassagnau, 1955.

Ordre ENTOMOBRYOMORPHA

- 1.- Corps couvert de soies simples ou faiblement cilié
- 1'- Corps couvert de soies très pilosées, de gros cils. Avec ou sans écailles ou soies en forme d'écailles.
- 2-Segment abdominal III réduit, presque invisible en vue dorsale. Segments abdominaux IV et V fusionnés.Tibiotarse avec un éperon élargi en forme de feuillet. Tête relativement grosse. Antennes insérées vers le milieu de la tête. F. ACTALETIDAE.
- 2'- Segment abdominal III normal, non réduit. Segments abdominaux libres ou unis IV- V et V- VI. Tibiotarses sans éperon élargi en forme de feuillet mais porte une soie avec une pointe grossie. F. ISOTOMIDAE.
- 3-Mucron court, avec une ou deux dents, avec ou sans épine basale. Dens régulièrement annelé en son côté postérieur. F. ENTOMOBRYIDAE.
- 3'-Mucron d'autre forme, allongé.Dens non annelé.
- 4-Segments abdominaux III et IV de même longueur.
- 4'- Segment abdominal IV beaucoup plus large que le segment abdominal III.

5-Mucron falciforme ou allongé et avec de nombreuses dents, avec soies chez tous les individus adultes. Si la dens porte une épine, elle est située en position basale. **TOMOCERIDAE**.

5'- Mucron cylindrique et plus allongé, avec 4-7 dents, avec soies. Dens avec 2 sub- segments qui portent des soies plumeuses, épines ou écailles sur la partie postérieure, les épines sont grandes et apparentes à la partie distale. **F. ONCOPODURIDAE**.

6-Dens sans épines, avec deux rangs d'écailles ciliées. Mucron cylindrique et allongé (1/3 plus moins que la longueur de la dens), griffe et empodium avec dents aliformes. **F. CYPHODERIDAE**.

6'- Dens avec griffe ou deux rangs d'épines ciliées. Mucron de forme conique et relativement court. Griffe et empodium sans dents aliformes. **F. PARONELLIDAE**.

Ordre SYMPHYPLEONA

Tenaculum avec 4 dents depuis la phase juvénile II jusqu'à l'adulte (réellement avec 3 dents et un tubercule basal).

1'- Tenaculum avec 3 dents depuis la phase juvénile II jusqu'à l'adulte (réellement avec 2dents et un tubercule basal).

Femelles sans appendice anal. Mâles avec les articles antennaires II et III modifiés en un organe de fixation. Deux paires de trichobothries sur le segment abdominal V. Trichobothrie du grand abdominal A, B et C équidistants et forment un angle ouvert vers l'arrière ou vers l'avant. **F. SMINTHURIDAE**.

2'- Femelle avec appendice anal. Mâle avec antennes non modifiés. Au maximum 1 paire de trichobothries sur le segment abdominal V. Trichobothries du grand abdominal A, B et C en autre disposition.

3-Segment antennaire IV plus court que le III ème. Appendice anal dirigé vers l'anus. Trichobothries du grand abdominal forme un angle vers l'arrière, dun A nait une papille à segmentation apparente. **F. DICYRTOMIDAE**.

3'- Segment antennaire IV plus court que le III ème. Appendice anal dirigé vers l'orifice génital. Trichobothries A et B respectivement, proche et éloigné du C, formant un angle ouvert vers l'avant.

4-0-1 cornéules de chaque côté de la tête. Corps sans pigment. Tibiotarse sans éperons. Adultes avec épines sur toutes les dents. **F. ARRHOPALITIDAE**.

4'- 8 cornéules de chaque côté de la tête. Tibiotarse avec éperons fins et redressés. Dents sans Epines. **F. KATIANIDAE**.

5-Avec vésicules interoculaires. Appendices anaux dirigés vers l'orifice génital. Trichobothries du grand abdominal A, B et C équidistants et formant un angle ouvert vers l'avant
Genre:*Vesicephalus*.

5'- Sans vésicules interoculaires. Appendices anaux dirigés vers l'orifice anal.

6-Segment abdominal V avec une paire de trichobothries au maximum. Trichobothries A, B et C du grand abdominal équidistants et formant un angle ouvert vers l'arrière ; le B peut manquer. Les tibiotarses presque toujours sans éperons.**F. SMINTHURIDAE**.

6'- Segment abdominal V avec deux paires de trichobothries. Trichobothries A, B et C du grand abdominal formant une ligne droite oblique. Tibiotarse avec 2-4 éperons appliqués sur la largeur de la griffe. **BOURLETIELLIDAE**.

Ordre NEELIPLEONA

.1- Animaux plus petits et sans pigments. Segments abdominaux V et VI non différenciés. Sans yeux. Tenaculum sans soies. Antennes plus courtes que la tête. Abdomen sans trichobothries dorsales 1 seule famille **NEELIDAE** Folsom, 1896 (LACHI N, 2023).

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Composition faunistique

Le tableau 4 présente la liste complète des collemboles identifiés dans le cadre de ce travail, classés selon leur ordre, famille et sous-famille. Y sont également indiquées leur aire de distribution biogéographique ainsi que leur type d'adaptation morphoécologique.

Tableau 4 : Liste des collemboles identifiés dans les différentes localités d'étude, leur aire de distribution et leur type biologique.

Abréviations : **W** : large répartition, **C** : Cosmopolite, **Eu** : Européenne, **En** : Endémique, **N/A** : Non déterminée, **E** : Euedaphique, **H** : Hémiedaphique, **A** : Atmobiote ou Épiedaphique.

	Familles et espèces	Station A	Station B	Station C	Aire de distribution	Type biologique
	O. Poduromorpha					
	F. Hypogastruridae					
01	<i>Hypogastrura vernalis</i>	X	X	X	C	H
02	<i>Ceratophysella armata</i>	X	X	X	W	H
03	<i>Ceratophysella gibossa</i>		X		N/A	N/A
04	<i>Xenylla brevisimilis</i>		X		N/A	N/A
05	<i>Xenylla sp</i>		X		N/A	N/A
06	<i>Brachistomella</i>	X			N/A	N/A
	F. Neanuridae					
	SF. Frieseinae					
07	<i>Friesea acuminata</i>		X		N/A	N/A
08	<i>Friesea major</i>		X		N/A	N/A
09	<i>Friesea sp.</i>		X		N/A	N/A
10	<i>Friesea furculata</i>		X		N/A	N/A
11	<i>Friesea grandis</i>		X		N/A	N/A
	SF. Neanurinae					
12	<i>Bilobella aurantiaca</i>		X	X	N/A	N/A
13	<i>Deutonura sp</i>			X	N/A	N/A
14	<i>Deutonura adriani</i>			X	N/A	N/A
	SF. Pseudachorutinae					
15	<i>Pseudachorutella asigillata</i>	X	X		W	H
16	<i>Pseudachorutes parvulus</i>	X	X	X	N/A	N/A
17	<i>Pseudachorudina meridionalis</i>		X	X	N/A	N/A
	F. Odontellidae					
18	<i>Odontella</i>	X			N/A	N/A
	F. Onychiuridae					

19	<i>Protaphorura armata</i>	X		X	W	E
	F. Tullbergiidae					
20	<i>Mesaphorura sp</i>	X			N/A	N/A
	O. Entomobryomorpha					
	F. Isotomidae					
21	<i>Isotomurus palustris</i>	X		X	W	H
22	<i>Isotomurus sp</i>			X	N/A	N/A
23	<i>Isotomiella</i>	X	X	X	N/A	N/A
24	<i>Parisotoma notabilis</i>	X	X	X	W	H
25	<i>Proisotoma minuta</i>	X	X		N/A	N/A
26	<i>Tetracanthella pilosa</i>		X	X	N/A	N/A
27	<i>Falsomides marchicus</i>				N/A	N/A
	F. Entomobryidae					
28	<i>Entomobrya sp</i>		X	X	N/A	N/A
29	<i>Orchesella</i> <i>Quinquefasciata</i>	X		X	N/A	N/A
30	<i>Orchesella sp.</i>			X	N/A	N/A
31	<i>Orchesella multifasciata</i>			X	N/A	N/A
32	<i>Heteromurus major</i>	X	X	X	N/A	A
33	<i>Heteromurus sp</i>			X	N/A	N/A
34	<i>Heteromurus nitidus</i>			X	N/A	N/A
35	<i>Seira domestica</i>			X	N/A	N/A
	O. Symphypleona					
	F. Katiannidae					
36	<i>Sminthurinus niger</i>		X		N/A	N/A
	F. Sminthurididae					
37	<i>Sphaeridia pumilis</i>	X	X		W	H
	F. Dicyrtomidae					
38	<i>Dicyrtomina minuta</i>		X		Eu	A
	O. Neelipleona					
	F. Neelidae					
39	<i>Megalothorax minimus</i>		X	X	N/A	N/A
	Total	15	24	22		

On compte au total de **39** espèces réparties sur **4** ordres, **11** familles, (**3** sous-familles pour la famille des Neanuridae) et **27** genres.

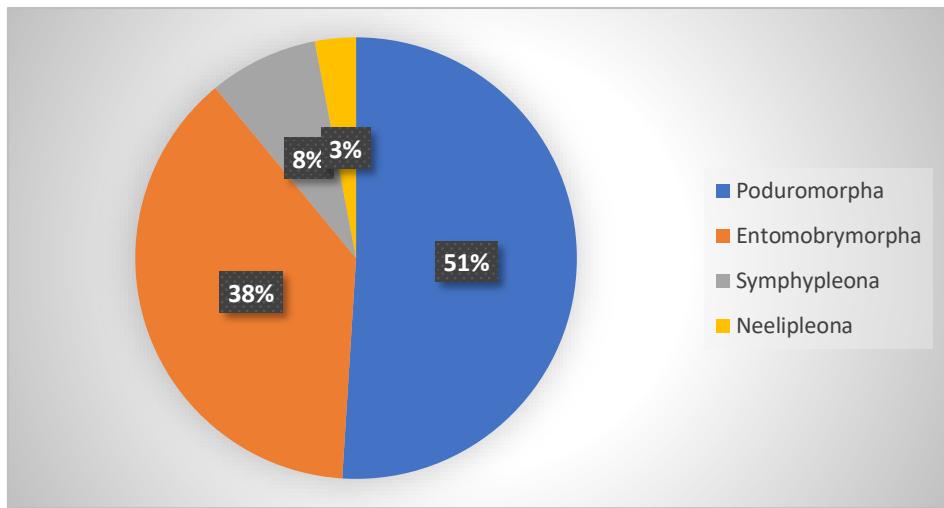


Figure 52 : Proportions (en %) des espèces récoltées par chaque ordre.

Sur un total de 39 espèces l'ordre **Poduromorpha** est le mieux représenté avec 20 espèces soit 51% du total identifié. Les Entomobryomorpha occupent la deuxième position avec 15 espèces ce qui représentent **38%**. Les **Symplypleona** représentent **8%** (3 espèces), et **Neelipleona** représente **3%** avec une seule espèce.

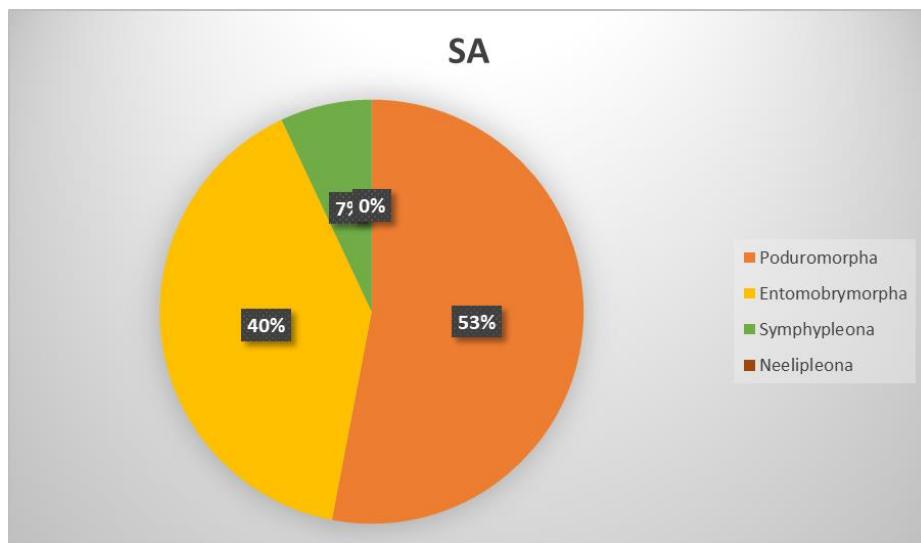


Figure 53 : Représentation de la proportion des espèces par ordre dans la station A.

La figure illustre la proportion en pourcentage des espèces identifiées dans la station A, la plus grande proportion des espèces de Station appartient à l'ordre des Poduromorpha avec 08 espèces soit 53%, les Entomobryomorpha avec 06 espèces soit 40%. L'ordre de Symplypleona est représenté par une seule espèce (7%).

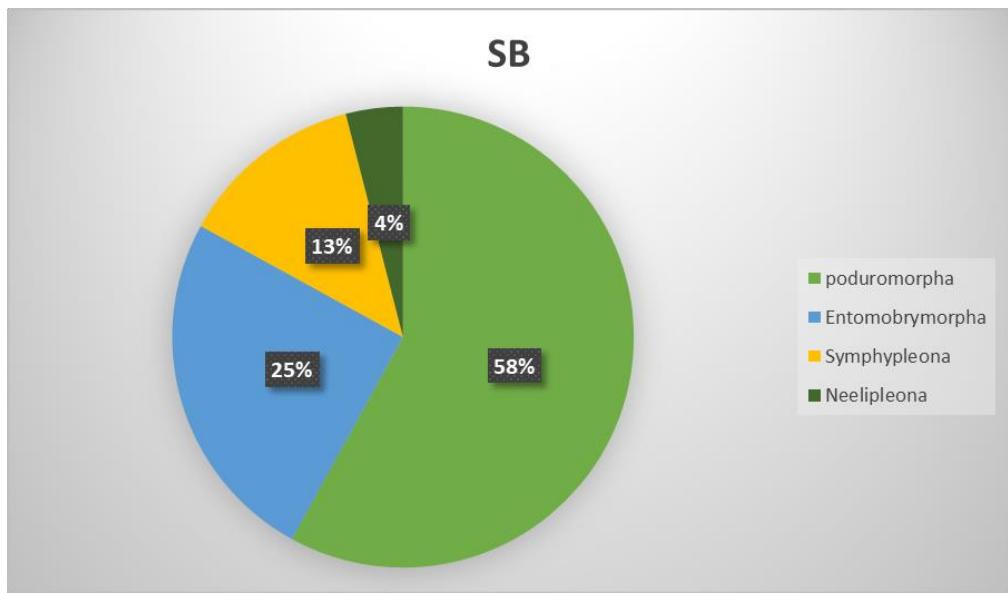


Figure 54 : Représentation de la proportion des espèces par ordre dans la station B.

La figure illustre la proportion en pourcentage des espèces identifiées à la station B, la plus grande proportion des espèces de Station appartient à l'ordre des Poduromorpha avec 14 espèces soit 58%, les Entomobryomorpha avec 06 espèces soit 25%. L'ordre de Symphypleona est représenté par 3 espèces (13%), les Neelipléones (Neelipleona) en dernier sont les moins diversifiés avec une seule espèce soit 4%.

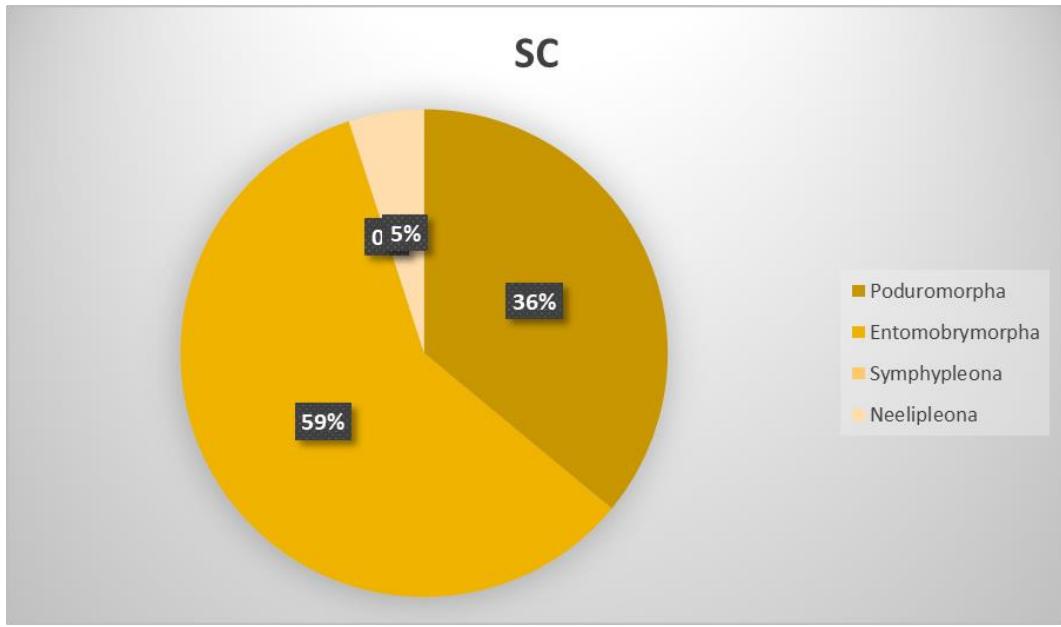


Figure 55 : Représentation de la proportion des espèces par ordre dans la station C.

La figure illustre la proportion en pourcentage des espèces identifiées à la station C, la plus grande proportion des espèces de la station appartient à l'ordre des Entomobryomorpha

avec 13 espèces soit 59%, les Poduromorpha avec 08espèces soit 36%. L'ordre de Neelipleona est représenté par une seule espèce (5%) et de Symphypleona avec 00 espèce.

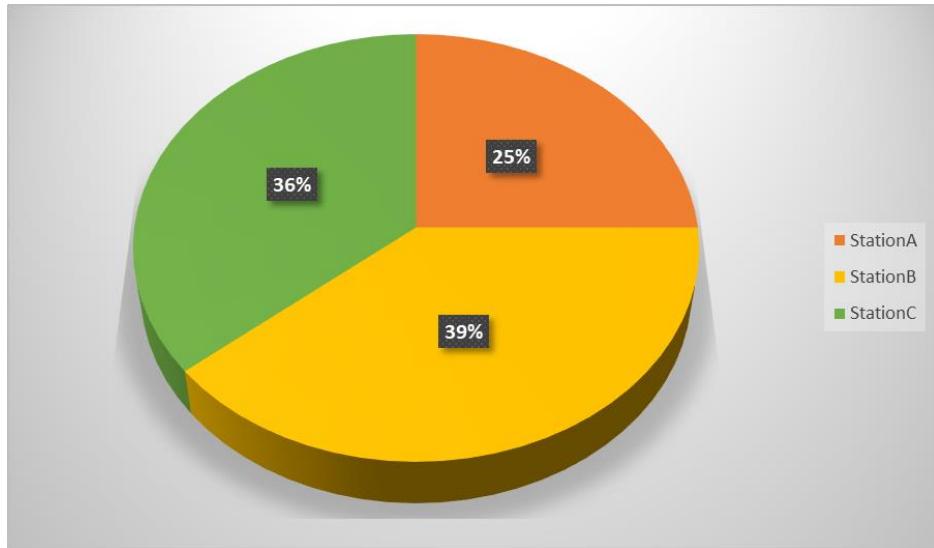


Figure 56 : Répartition des collembolans identifiés par localité.

La figure au dessus illustre la répartition des espèces de collembolans identifiées dans les trois stations d'étude. **La station B** est la plus diversifiée avec **24 espèces**, ce qui représente **39 %** du total identifié. **La station C** occupe le deuxième rang avec un taux de **36 % (22 espèces)**. et en fin **la station A** avec **15 espèces** ce qui représente **25%**.

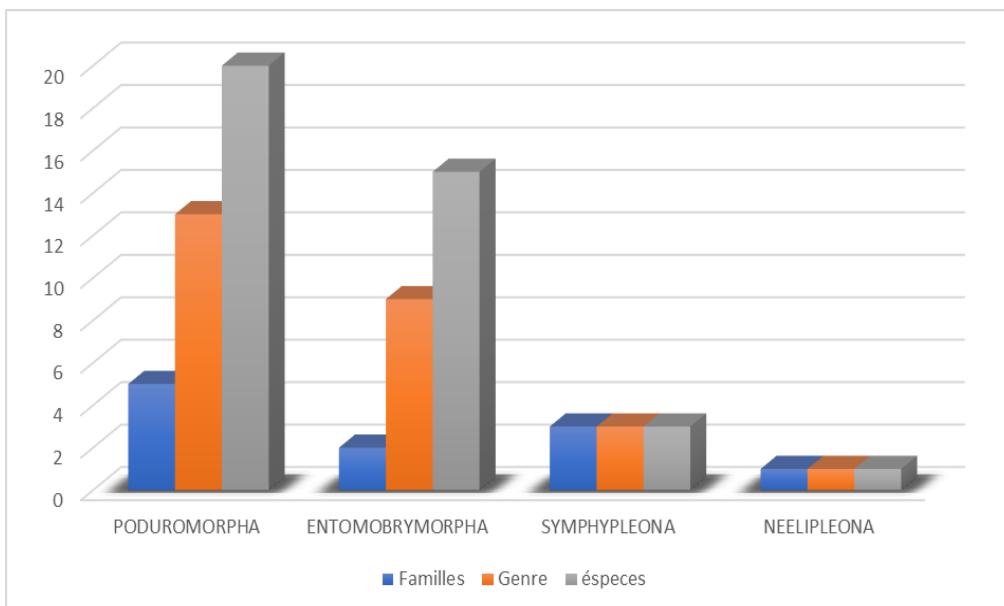


Figure 57 : Fréquences absolues des Familles, genres et espèces identifiées.

La figure 55 met en évidence la diversité taxonomique des collembolans identifiés à travers les quatre ordres rencontrés, en précisant pour chacun le nombre de familles, de genres et

d'espèces recensés. L'ordre des **Poduromorpha** se distingue par sa richesse, est représenté par **5 familles, 13 genres et 20 espèces**. Les **Entomobryomorpha** sont représentés par **2 familles, 10 genres et 15 espèces**, les **Sympypleona** sont plus modestement représentés, avec **3 familles, 3 genres et 3 espèces** et les **Neelipleona** ne comptent qu'**une seule famille, un genre, et une espèce unique**, soulignant leur présence très discrète dans les stations échantillonnées.

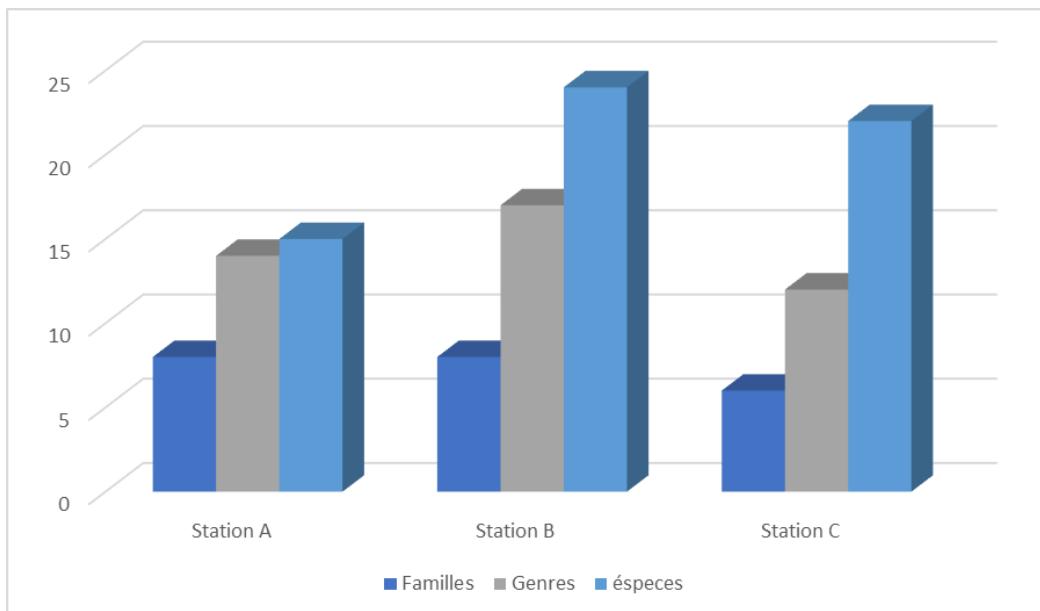


Figure 58 : Le nombre des familles, genres et espèces des collembolans

Identifiées dans les trois localités d'étude.

La figure montre que la station B est la plus diversifiées avec **8 familles et 14 genres et 24 espèces** de Collemboles, ensuite la Station C avec **6 familles, 16 genres et 22 espèces** de Collemboles. La Station A est moins diversifiés avec **8 familles et 14 genres et 15 espèces**.

Ces variations reflètent une hétérogénéité dans la composition faunistique des collemboles, probablement influencée par les différences écologiques locales et la diversité des microhabitats disponibles.

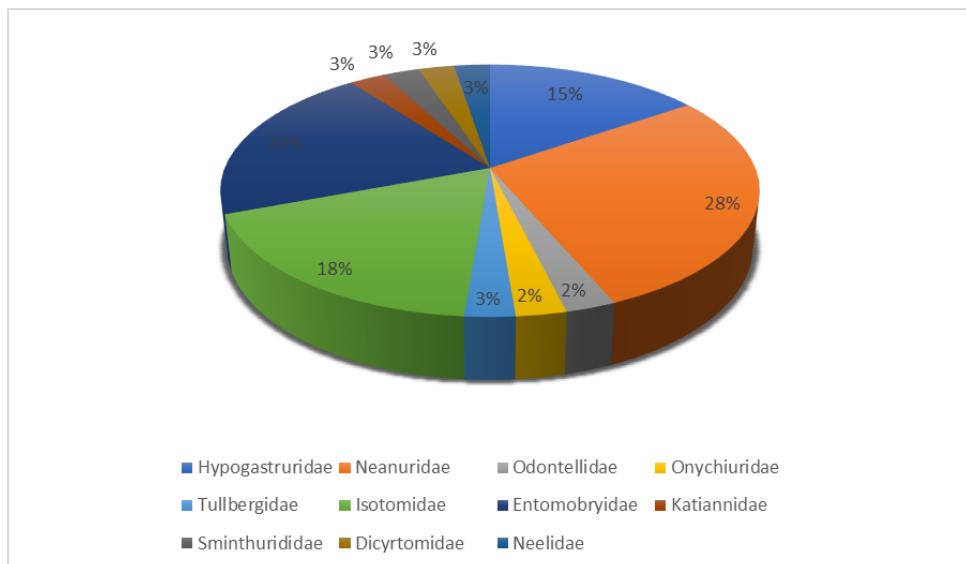


Figure 59 : Répartition des espèces récoltées sur les différentes familles.

La figure 57 met en évidence la répartition des espèces identifiées au sein des différentes familles de collemboles. Sur un total de **39 espèces réparties dans 11 familles**, les familles les plus diversifiées sont **Neanuridae** (10 espèces) soit **28%** du total identifié. Suivie par les **Entomobryidae** avec 8 espèces soit **20%**, **Isotomidae** (7 espèces) soit **18%**, et **Hypogastruridae** viens en quatrième place et est présentée avec 6 espèces soit **15%**. Les autres familles telles que **Tullbergiidae**, **Katiannidae**, **Sminthurididae**, **Dicyrtomidae** et **Neelidae** partagent la même proportion (3%) avec une seule espèce pour chacune. **Onychiuridae** et **Odontellidae** (2%), ce qui reflète leur présence plus discrète et probablement liée à des niches écologiques spécifiques.

Cette structure de répartition traduit une nette dominance de certaines familles écologiquement plastiques, capables de coloniser divers habitats, face à des familles plus spécialisées ou moins fréquentes dans les conditions locales.

2. Aire de distribution

La figure au-dessous montre le pourcentage des différents airs de distribution des espèces identifiées. Les espèces non encore identifiées prennent la première place avec 31 espèces soit 79,48% et puis les espèces à large répartition avec 6 espèces soit 15,38%, dans la Troisième place viennent les espèces cosmopolites et européennes avec 2,56 %.

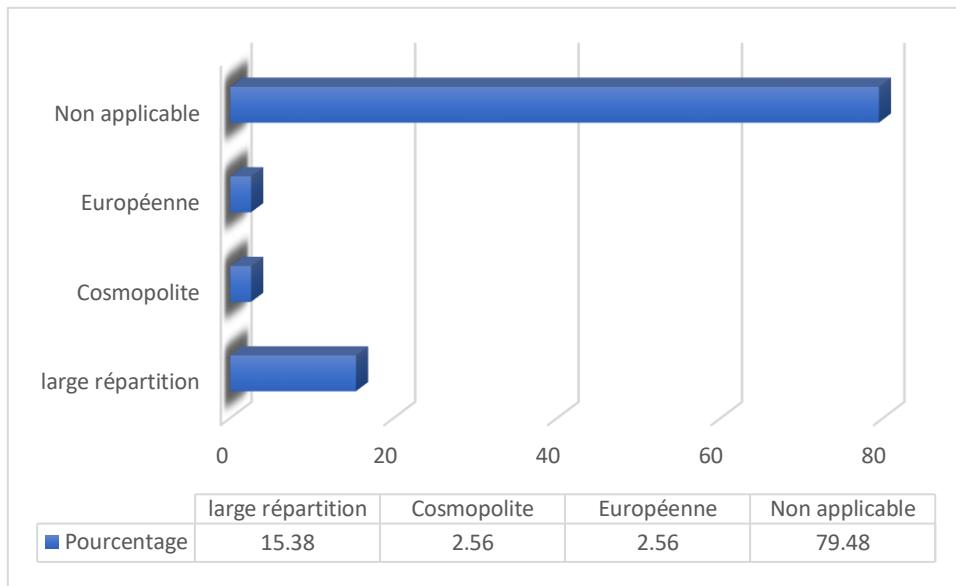


Figure 60 : Aire de distribution des espèces identifiées en pourcentage.

3. Classification morpho-écologique

La figure qui suit illustre la proportion en pourcentage des espèces identifiées dans les trois localités d'étude en fonction de leur forme biologique. Elle montre sur les formes non encore identifiées jusqu'au niveau de l'espèce avec 30 espèces soit 77%, une prédominance des hemiédaphons représentés par 6 espèces (15 %). Les atmobios avec 2 espèces, soit 5%. Les euédaphons sont les moins abondants avec une seule espèce, soit 3%.

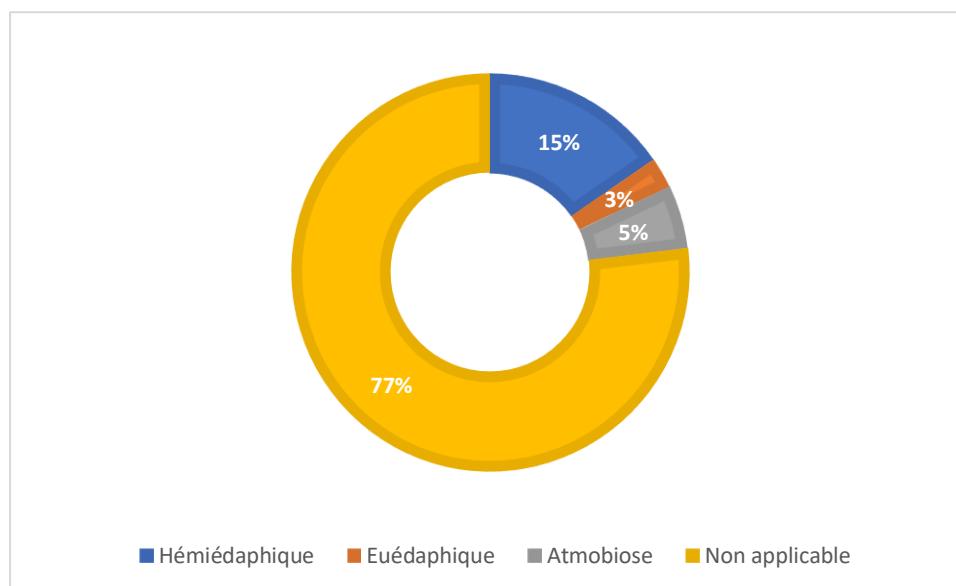


Figure 61 : La classification morpho-écologique des espèces.

4.Discussion

L'étude des collemboles en Algérie, bien que relativement récente, suscite un intérêt croissant en raison du rôle écologique majeur que jouent ces microarthropodes dans les écosystèmes édaphiques. Ces organismes, sensibles aux variations environnementales, sont de précieux bioindicateurs de la qualité des sols. Dans ce contexte, notre recherche vise à explorer la diversité et la distribution des collemboles dans différentes stations du nord-est algérien.

Les collemboles en Algérie ont fait l'objet de nombreuses études, notamment par Cassagnau (1963), Hamra Kroua (2005), Ait Mouloud (2007), Brahim Bounab (2016), Zoughailech (2017), Bendjaballah (2019) et Lachi (2023). Cependant, il subsiste un déficit de connaissances concernant leurs caractères taxonomiques, biologiques et écologiques. Le dernier inventaire national recense environ 230 espèces, réparties sur 19 familles et 76 genres.

Notre région d'étude, explorée ici pour la première fois, se situe dans les monts du nord-est algérien. L'échantillonnage de 12 365 individus a permis d'identifier 39 espèces réparties en 27 genres et 11 familles, appartenant aux quatre ordres de collemboles connus (Poduromorpha, Entomobryomorpha, Symphyleona, Neelipleona).

Par localité, la station B présente la plus grande diversité avec : 4 ordres, 8 familles, 14 genres et 24 espèces de collemboles.

La station C occupe le 2ème rang avec : 3 ordres, 6 familles, 16 genres et 22 espèces. La station A occupé la troisième position avec : 3 ordres, 8 familles, 14 genres et 15 espèces.

Étant donné que notre région est étudiée pour la première fois, et en raison de la proximité géographique et de la similitude du climat avec certaines autres régions, la comparaison sera basée sur les recherches et les résultats de nos prédecesseurs.

En ce qui concerne les ordres de collemboles forestiers, **les Poduromorpha** sont les plus diversifiés avec 20 espèces réparties sur 13 genres appartenant à 5 familles, ce qui représente 51 % du total des espèces identifiées. Tous les travaux réalisés confirment la diversité exceptionnelle de l'ordre des Poduromorpha. Hamra Kroua (2005) cite 57 espèces réparties sur 26 genres appartenant à 5 familles, récoltées dans sept localités (Edough, El-Kalla, Azzaba, Khroub, Djebel Ouahch, Sebkha (Lac salé d'Ain Mlila), Jijel). Brahim Bounab (2016) cite 49 espèces trouvées dans cinq localités du Nord-Est algérien. Elles appartiennent à 3 superfamilles, 5 familles, 4 sous-familles et 27 genres. Zoughailech (2017) cite 31 espèces réparties sur 21 genres appartenant à 6 familles, récolté dans 2 massifs de Collo. Bendjaballah (2019) cite 43

espèces réparties sur 20 genres appartenant à 6 familles trouvées dans 8 localités du Nord-Est algérien. Lachi (2023) cite 38 espèces réparties sur 25 genres appartenant à 6 familles, trouvées dans 13 localités du Nord-Est algérien, Et qui comprend El Graram Gouga la daïra de la zone que nous avons étudiée.

Les Entomobryomorpha sont représentés par 2 familles, 10 genres et 15 espèces, soit 38 %, regroupées en 8 genres et 2 familles. Hamra Kroua (2005) cite 41 espèces réparties sur 4 familles et 18 genres. Bendjaballah (2019) cite 5 familles, 20 genres et 33 espèces. Zoughailech (2017) cite 29 espèces. Lachi (2023) cite 4 familles, 20 genres et 37 espèces.

Les Symphyleona sont représentés par avec 2 familles, 2 genres et 2 espèces, soit 8 %. Le nombre d'espèces identifiées est faible et ces résultats sont incomparables avec ceux d'Hamra Kroua (2005) qui donne une liste de 12 espèces. Zoughailech (2017) cite 10 espèces et Bendjaballah (2018) cite 11 espèces. Lachi (2023) cite 4 familles, 6 genres et 8 espèces.

Les Neelipleona sont très discrets (3 %) avec une seule famille, un genre et une espèce. Hamra Kroua (2005) cite 3 espèces appartenant à 2 genres de la famille des Neelidae. Zoughailech (2017) cite 2 espèces. Lachi (2023) cite une seule famille, 2 genres et 2 espèces.

Station par station, la plus grande richesse spécifique est observée à Tamanart (station B) avec 24 espèces, suivie d'Ouled Attia (station C) avec 22 espèces, puis Beni Haroun (station A) avec 15 espèces. La diversité plus élevée en station B pourrait s'expliquer par la complexité du couvert végétal, la litière plus abondante, ou la stabilité microclimatique.

La famille des Hypogastruridae est représentée par 6 espèces réparties sur 4 genres, soit 15 % du total identifié. Selon le travail de Hamra Kroua (2005), toutes les espèces que nous avons trouvées figuraient sur sa liste (*Ceratophysella armata*, *Ceratophysella denticulata*, *Ceratophysella sp*, *Hypogastrura vernalis*, *Willemia intermedia*, *Xenylla mediterranea*, *Xenylla sp.*). Bendjaballah (2019) cite également la plupart de nos espèces, à l'exception de deux (*Hypogastrura vernalis*, *Xenylla mediterranea*). Brahim Bounab (2016) ne cite que trois espèces (*Ceratophysella denticulata*, *Ceratophysella sp*, *Willemia intermedia*). Lachi (2023) ne cite que trois espèces (*Ceratophysella armata*, *Ceratophysella sp*, *Hypogastrura vernalis*).

La famille des Neanuridae est représentée par 10 espèces réparties sur 6 genres et 3 sous-familles (Friesienae, Neanurinae, Pseudachorutinae), soit 28 % du total identifié. Selon Hamra Kroua (2005), toutes les espèces que nous avons trouvées figuraient sur sa liste (*Friesea laouina*, *Friesea sp*, *Bilobella aurantiaca*, *Protanura pseudomuscorum*, *Protonura sp.*,

Pseudachorutella asigillata, *Pseudachorutes sp*). Brahim Bouneb (2016) cite 22 espèces réparties sur 3 sous-familles et 12 genres, et Lachi (2023) cite 20 espèces. Toutes nos espèces figuraient sur leurs listes. Bendjaballah (2019) cite toutes nos espèces sauf *Friesea laouina*.

La famille des Odontellidae, avec *Odontella sp*, a été trouvée dans tous les travaux avec lesquels nous comparons nos résultats.

La famille des Onychiuridae est représentée par : *Protaiphorura armata*. A été trouvée dans tous les travaux avec lesquels nous comparons nos résultats.

La famille des Tullbergiidae est représentée par une seule espèce : *Mesaphorura sp*, trouvée dans tous les travaux avec lesquels nous comparons nos résultats, sauf chez Hamra Kroua (2005) qui ne cite pas cette famille.

Nous n'avons pas trouvé la famille des Brachystomellidae, bien qu'elle soit présente dans les résultats des thèses des docteurs précédents. Cela pourrait suggérer que ce type ne vit pas dans ce climat ou cet endroit.

La famille des Isotomidae avec 6 genres et 7 espèces, soit 18%. Hamra Kroua (2005) avait dans ses résultats 4 espèces semblables aux nôtres (*Folsomia candida*, *Isotomurus palustris*, *Parisotoma notabilis*, *Parisotoma sp*). Zoughailech (2017) avait dans ses résultats 3 espèces semblables aux nôtres (*Folsomia candida*, *Hemisotoma thermophila*, *Isotoma viridis*). Bendjaballah (2019) cite 3 espèces (*Isotoma viridis*, *Parisotoma notabilis*, *Parisotoma sp*). Enfin, Lachi (2023) avait dans ses résultats une seule espèce semblable aux nôtres : *Isotoma viridis*.

La famille des Entomobryidae est la mieux représentée parmi les familles des Entomobryomorpha dans ce travail est représentée par 4 genres et 8 espèces, soit 20%. Parmi les 17 espèces citées par Hamra Kroua (2005), une seule est semblable à la nôtre : *Orchesella cincta*. Le même cas se présente avec Bendjaballah (2019), qui cite 6 espèces et 3 genres, dont une seule est semblable à la nôtre : *Heteromurus major*. Quant au Lachi (2023), toutes nos espèces figuraient dans ses résultats, ce que nous attribuons à la proximité géographique entre notre zone d'étude et la sienne.

La famille des Katiannidae représentée par une seule espèce : *Sminthurinus niger*, le genre *Sminthurinus* signalées chez Hamra Kroua (2005), Zoughailech (2017), Bendjaballah (2019) et Lachi (2023).

Pour La famille des Sminthurididae on a trouvé une seule espèce : *Sphaeridia pumilis*. Nous avons remarqué qu'elle est mentionnée dans toutes les études avec lesquelles nous la comparons, Hamra Kroua (2005), Zoughailech(2017), Bendjaballah(2019) et Lachi (2023).

La famille des Dicyrtomidae représentée par une seule espèce : *Dicyrtomina minuta*, l'espèce que nous avons trouvée est présente chez Hamra Kroua (2005), Bendjaballah (2019) et Lachi (2023).

La famille des Neelidae représentée par une seule espèce : *Megalothorax minimus*, présente chez Hamra Kroua (2005), Bendjaballah (2019) et Lachi (2023).

Ces résultats sont cohérents avec ceux des travaux de Hamra Kroua (2005), Zoughailech (2017), et Lachi (2023), qui signalent une forte présence de ces familles dans des contextes forestiers et agricoles similaires. La famille des Hypogastruridae, représentée ici par 6 espèces dont *Hypogastrura vernalis* et *Ceratophysella armata*, figure dans la majorité des listes historiques de collemboles du Nord-Est.

Les conditions écologiques locales semblent jouer un rôle crucial dans la structuration des communautés : humidité, structure de la litière, pH du sol et type de couverture végétale. Ainsi, la dominance de Poduromorpha dans les stations A et B pourrait refléter une plus forte proportion de microhabitats humides, tandis que la prépondérance des Entomobryomorpha à la station C pourrait être liée à une structure de sol plus favorable à leur mobilité.

Sur le plan biogéographique, les espèces à large répartition et les formes non identifiées occupent une place importante, laissant entrevoir la possibilité de découvertes nouvelles et d'un endémisme potentiel dans cette zone encore peu étudiée.

La structure de la faune est liée aux différents types de milieux échantillonnés et à la méthode de récolte des relevés. Ainsi la proportion élevée elle montre sur les formes non encore identifiées jusqu'au niveau de l'espèce avec 30 espèces soit 77%. La proportion des hémédaphons 15 % (13 espèces) est due au nombre important d'échantillons de litière, mousse et bois mort. Les Épiedaphiques représentent 5 %, et les éléments euédaphiques sont représentés par 3%.

Les espèces non encore identifiées prennent la première place avec 79,48% soit 31 espèces et puis les espèces à large répartition avec 15,38% soit 6 espèces, dans la Troisième place viennent les espèces cosmopolites et européennes avec 2 ,56 % avec une seule espèce.

Dans l'ensemble, cette étude confirme la richesse de la faune collembologique du nord-est algérien et renforce l'hypothèse d'une similarité taxonomique importante entre les régions à climat comparable. Ces résultats constituent une base solide pour des recherches futures intégrant des analyses statistiques multivariées et des suivis saisonniers.

CONCLUSION

Conclusion

Ce travail original, mené pour la première fois dans les stations de Beni Haroun, Tamanart et Ouled Attia, a permis d'identifier 39 espèces de collemboles réparties en 27 genres et 11 familles, appartenant à quatre ordres (Poduromorpha, Entomobryomorpha, Symphyleona et Neelipleona). Cette richesse, obtenue à partir de plus de 12 365 individus récoltés, témoigne d'une biodiversité remarquable dans une région jusqu'ici inexplorée sur le plan collembologique.

Les résultats confirment la dominance des Poduromorpha et la diversité marquée des familles telles que les Neanuridae et les Hypogastruridae. La station B s'est distinguée par sa richesse spécifique, ce qui reflète probablement la diversité écologique des microhabitats présents. La comparaison avec les travaux antérieurs réalisés dans le nord-est algérien montre une grande cohérence taxonomique, renforçant l'idée que cette région constitue un réservoir important de biodiversité édaphique. La présence d'espèces endémiques et non encore identifiées laisse entrevoir la possibilité de découvertes futures.

Ce travail représente ainsi une contribution précieuse à l'inventaire des collemboles en Algérie. Il ouvre des perspectives prometteuses pour des recherches complémentaires plus approfondies, notamment à travers des analyses statistiques multivariées, des suivis saisonniers, et des études sur l'impact des facteurs anthropiques. Malgré certaines limites liées au temps d'échantillonnage et à la vastitude du terrain, ce mémoire constitue une base scientifique fiable et originale pour les études futures sur la microfaune du sol dans cette région du pays.

Références Bibliographiques

1. Anonyme (2024). Climat de Skikda – Algérie. Disponible sur : <https://www.climatsetvoyages.com>
2. Anonyme (2024). Météo à Skikda. Consulté en mai 2025 sur : <https://www.ou-et-quand.net>
3. Anonyme (2023). Climat moyen de Skikda. Consulté sur : <http://www.weatherspark.com>
4. Ait Hamou, F. (2013). Les collemboles dans les sols forestiers de la région Méditerranéenne d'Algérie. *Revue Ecologique*, 28(3), 211–219.
5. Azouzi, L. (2013). Impact de la pollution atmosphérique sur la qualité des sols Urbains à Sétif. Mémoire de Master, Université Ferhat Abbas, Sétif.
6. Bachelier, G. (1986). La faune du sol : son étude et son rôle. ORSTOM, Paris, 392 p.
7. Belahlou, A. (2016). Climat et agriculture en Algérie : Approche comparative Régionale. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 8(2), 112–125.
8. Benabdellah, M. & Ziani, D. (2017). Diversité et distribution des collemboles dans les sols des régions montagneuses du nord de l'Algérie. *Annales de la Recherche en Biologie*, 42(1), 47–55.
9. Benamria, F. (2017). Étude diachronique de l'évolution de la végétation forestière par télédétection : cas de la wilaya de Skikda. Mémoire de Master, Université de Jijel.
10. Benchaabane, B. & Nekaa, Kh. (2024). Contribution à l'étude des collemboles (Hexapoda ; Collembola) de Djebel Bou Naadja, El Garem Gouga (Mila). Mémoire de Master, Université de Mila.
11. Benderradji, A. (1999). La dynamique de la végétation forestière en région Méditerranéenne algérienne. Thèse de doctorat, Université de Tizi-Ouzou.
12. Bendjaballah, A. (2012). Étude de la faune édaphique dans les forêts du Nord-Est algérien. Mémoire de Master, Université Frères Mentouri - Constantine 1.
13. Bendjaballah, M. (2019). Biodiversité des microarthropodes litériques (Hexapoda; Collembola) de quelques localités du Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1.
14. Bendjaballah M., Zoughailech A., Brahim-Bounab H., Hamra-Kroua S., Bedos A. et Deharveng L., (2018). Annotated checklist of the springtails (Hexapoda : Collembola) of the Collo massif, northeastern Algeria. *Zoosystema*, 40 (16), p.389-414.
15. Bendjeddou, D. (2012). Caractérisation de la diversité biologique dans les zones forestières de l'Est algérien. Mémoire de Master, Université d'Annaba. Cité par Laggoune, 2022.
16. Benkhelifa, M., Bensalah, M., & Cherif, M. (2020). Analyse de la pluviométrie dans la région de Skikda sur 11 ans. Mémoire de Master, Université de Guelma.

17. Benoit, L., Dunger, W., & Moser, G. (2005). L'importance écologique des collemboles dans les sols forestiers européens. *Journal of Soil Ecology*, 30(1), 65–74.
18. Bessaoud, O. (2015). Agriculture, politiques publiques et développement rural en Algérie. Éditions CIHEAM-IAMM, Montpellier.
19. Brahim Bounab H., (2016). Contribution à l'étude taxonomique des collemboles dans les écosystèmes forestiers. Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar – Annaba.
20. Brahim Bounab H., Bendjaballah M. et Hamra Kroua S., (2017). Some Poduromorpha (Hexapoda: Collembola) of Northeastern Algeria. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5 (4), p.966-971.
21. Brahim Bounab H., Bendjaballah M., Hamra-kroua S., Lachi N., Bedos A. et Deharveng L., (2020). Checklist of the springtails (Hexapoda: Collembola) of the Edough massif, northeastern Algeria. *Zootaxa*, 4853 (1), p.51-78
22. Brahim Bounab H., Zoughailech A. et Hamra Kroua S., (2014). The Collembola Poduromorpha Families: Neanuridae and Odontellidae of some localities of Northeastern Algeria. *Sciences & Technologie C.*, 39. p.40-45
23. Boumezbeur, A. (2001). Approche géographique du climat et des ressources naturelles en Algérie. Office des publications universitaires.
24. Boursas, M. & Bouafia, S. (2023). Analyse des données climatiques dans l'Est Algérien : Cas de la wilaya de Sétif et Skikda (1998–2022). Mémoire de Master, Université de Sétif.
25. Chettah, M. (2009). Les ressources en eau et la variabilité climatique en Algérie. Mémoire de Magister, Université d'Alger. (Plusieurs fois cité par Laggoune, 2022).
26. Dunger, W. (1980). *Ecology of Collembola in Forest Ecosystems*. Springer, Berlin.
27. Dunger, W., et al. (2005). Biomasse et rôle des collemboles dans les sols forestiers d'Europe centrale. *Journal of Forest Soil Science*, 15(2), 98–104.
28. Gisin, H. (1960). La biologie des collemboles dans les sols forestiers suisses. *Schweiz. Z. Forstw.*, 111(5), 276–291.
29. Haddad, R., Kabbage, K., & Boudabous, A. (2022). Les collemboles dans la région de Hamra Kroua : Adaptation à un environnement méditerranéen semi-aride. *Revue des Sciences du Sol*, 47(2), 139–148.
30. Hamou, F., et al. (2015). Étude de la faune du sol dans la région de Hamra Kroua. *Journal of Algerian Ecosystem Studies*, 38(3), 122–130.
31. Hamou, F., Ziani, D., & Benabdellah, M. (2018). Régime alimentaire des collemboles dans les sols algériens. *Annales de la Recherche en Biologie*, 41(1), 87–93.
32. Hamra Kroua S., (2005) - Les Collemboles (Hexapoda, Arthropoda) du Nord-est algérien : Taxonomie, Biogéographie et Ecologie. Thèse de doctorat d'Etat en sciences naturelles. Université Mentouri, Constantine. 266 p.

33. Hamra Kroua S. et Allatou D., (2003) - Les Collemboles du Nord-est Constantinois. *Sciences & Technologie*, 20 : 21-24.
34. Hamra Kroua S. et Cancela da Fonseca J.P., (2009) - Dynamique saisonnière du peuplement de Collemboles d'un sol agricole de la ferme pilote d'El-Baaraouia (Wilaya de Constantine, Algérie). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 2009, n° 31 (1) : 33-43.
35. Hamra Kroua S. et Deharveng L., (2010) - Les Neanuridae (Collembola, Arthropoda) du massif forestier de l'Edough (Annaba, Algérie). In : *Actes de la VIème conférence internationale Francophone d'Entomologie. Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie*, Rabat, 47 (1) : 61-65.
36. Hamra Kroua S., Jordana R. et Deharveng L., (2009) - A new Friesea of the mirabilisgroup from Algeria (Collembola: Neanuridae, Friesinae). *Zootaxa*, 2074: 65-68.
37. Hopkin, S. P. (1997). *Collembola in Urban Environments: Ecological Significance and Adaptation to Urban Habitats*. *Environmental Entomology*, 19(3), 453–461.
38. Jeanne, R. L. (1999). Adaptations morphologiques et comportementales des collemboles face aux changements saisonniers. *Ecological Entomology*, 24(1), 1–8.
39. Khaldi, Z., et al. (2021). Influence du climat sur les écosystèmes forestiers de Skikda. *Revue Algérienne de Biologie Environnementale*, 14(2), 45–55.
40. Kirk, W. D. J. (1997). *Collembola in the ecological management of soil ecosystems*. Springer, Berlin.
41. Kromp, B. (1996). Ecology of soil Collembola and their role in decomposition processes. *Biology of Soil Invertebrates*, 8(4), 310–322.
42. Laggoune, S. (2022). Analyse environnementale des sols forestiers et bioindication par la faune édaphique. Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1.
43. Lindberg, T., et al. (2000). Influence of soil moisture on the feeding habits of Collemboles in temperate forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 32(4), 523–528.
44. Meziane, F., Bouchareb, A., & Saidi, A. (2020). Les collemboles des litières forestières : diversité et rôle écologique. *Revue Écologie et Environnement*, 22(1), 30–41.
45. Moussaoui, S. & Ait Kaci, L. (2023). Analyse des données climatiques dans l'Est Algérien – Cas de Skikda et Sétif (1998–2022). Université Mouloud Mammeri, Tizi- Ouzou.
46. O.N.M. (Office National de la Météorologie). (2012). *Bulletin climatique annuel : Données météorologiques de Skikda*. Algérie.
47. Pochon, M., Gauthier, J., & Dunger, W. (1997). Cyclomorphose des collemboles : Adaptation aux cycles écologiques. *Ecology of Soil Invertebrates*, 29(1), 73–85.
48. Tazé, L. (2020). Effets des changements climatiques sur les collemboles du nord de l'Algérie. *Journal of Environmental Research*, 11(2), 134–145.
49. Thibaud, J. M. (2007). Faune des collemboles en Afrique du Nord : Diversité et distribution. *Afrique Entomologique*, 36(3), 213–221.

50. Touati, A., Boudiaf, B., & Hadjoudj, R. (2004). Impact des changements Climatiques sur les écosystèmes nord-algériens. *Revue des Sciences Environnementales*, 10(1), 29–39.
51. Trainer, M. (1991). Climat et développement durable en Méditerranée. *Actes du Colloque EuroMed*, Paris.
52. Wallwork, J. A. (1970). *Ecology of soil organisms*. McGraw-Hill, London.
53. Ziani, D. (2019). Études écologiques des collemboles dans les sols forestiers de l'Algérie méditerranéenne. *Bulletin of Soil Ecology*, 16(2), 97–105.