



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

جامعة قسنطينة 1 الإخوة متواري
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 :

Biodiversité des Collemboles dans quelques localités de la wilaya de Mila : état des connaissances actuelles

Présenté par : CHEROUANA Oussama

Le : 28/06/2024

Jury d'évaluation :

Président : SAOUACHE Yasmina (MCA - UC3 Salah Boubnider).

Encadrant : BENDJABALLAH Mohamed (MCB - UC1 Frères Mentouri).

Examinateur(s) : BENKENANA Naima (Prof. - UC1 Frères Mentouri).

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



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

جامعة قسنطينة 1 الإخوة متواري
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 :

Biodiversité des Collemboles dans quelques localités de la wilaya de Mila : état des connaissances actuelles

Présenté par : CHERUANA Oussama

Le : 28/06/2024

Jury d'évaluation :

Président : SAOUACHE Yasmina (MCA - UC3 Salah Boubnider).

Encadrant : BENDJABALLAH Mohamed (MCB - UC1 Frères Mentouri).

Examinateur(s) : BENKENANA Naima (Prof. - UC1 Frères Mentouri).

**Année universitaire
2024 - 2025**

Remerciements et dédicace

Louange à Dieu qui m'a accordé la santé, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à **Monsieur BENDJABALLAH Mohamed**, Maître de Conférences à l'Université Constantine 1, pour avoir accepté de diriger ce mémoire. Sa disponibilité, sa rigueur scientifique, ses conseils avisés et son accompagnement constant ont été essentiels tout au long de cette recherche.

Mes remerciements s'adressent également à **Madame SAOUACHE Yasmina**, Maître de Conférences à l'Université Constantine 3, pour avoir présidé le jury d'évaluation, ainsi qu'à **Madame BAKIRI Esma**, Maître de Conférences à l'Université Constantine 1, pour ses remarques constructives et ses encouragements.

J'exprime aussi ma profonde gratitude à tous les enseignants de la spécialité « Entomologie » du Département de Biologie Animale qui ont contribué à ma formation durant ces années de Master.

Je remercie tous mes collègues et camarades de promotion pour leur soutien moral, leur esprit d'équipe et les moments de partage.

Enfin, je dédie ce travail à mes parents, à ma famille et à toutes les personnes qui ont cru en moi, pour leur amour, leurs prières et leur soutien indéfectible.

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciements

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Abstract

ملخص

Introduction

Chapitre 1 : Données générales sur les collemboles

1. Paléontologie des collemboles

2. Morphologie et anatomie générale des collemboles

2.1. La tête

2.1.1. Les antennes

2.1.2. L'organe post antennaire (OPA)

2.1.3. Plaque oculaire des collemboles

2.1.4. La région buccale

2.2. Le thorax

2.2.1 Les pattes

2.3. L'abdomen

2.3.1. Le collophore

2.3.2. Le rétinacle

2.3.3. La Furca

3. Anatomie interne

3.1. Le système nerveux

3.2. Le système digestif

3.3. Le système respiratoire

3.4. Le système circulatoire

3.5. Le système musculaire

3.6. Le système endocrinien

3.7. Le système excréteur

4. La reproduction

4.1. L'appareil génital des mâles

4.2. L'appareil génital des femelles

4.3. Spermatophore

4.4. La fécondation

4.5. La ponte

4.6. L'œuf

4.7. Parthénogénèse

5. Développement

5.1. Développement embryonnaire

5.2. Développement post-embryonnaire

6. Adaptations des Collemboles

6.1. Adaptation morphologique

6.1.1. L'écomorphose chez les collemboles

6.1.2. L'épitoquie chez les collemboles

6.1.3. La cyclomorphose chez les collemboles

6.2. Adaptations physiologiques aux facteurs du milieu

6.2.1. Adaptation au froid

6.2.2. Adaptation à la sécheresse

6.2.3. Adaptation à l'inondation

6.2.4. Adaptation aux milieux halophiles

6.2.5. Adaptation aux milieux humides

6.2.6. Adaptation aux milieux extrême le « cavernicole »

7. Ecologie des Collemboles

7.1. Habitats et formes de vie

7.2. Régime alimentaire

7.3. Rôles écologiques des collemboles

7.4. Prédateurs et parasites des Collemboles

8. Taxonomie et systématique

9. Historique des collemboles d'Algérie

Chapitre 2 : Présentation des localités de récoltes et méthodes d'études

1. Caractéristiques générales des localités d'études

1.1. Le relief et géologie de Mila

1.2. Le climat de la région de Mila

1.2.1. Les températures

1.2.2. Les précipitations

1.3. La végétation

2. Etude faunistique

2.1. Techniques de prélèvement des échantillons

2.2. Extraction des collemboles

2.3. Tris et dénombrement des collemboles

2.4. Identification des collemboles

Chapitre 3 : Résultats et discussion

I. Résultats

1. Dénombrement des collemboles

2. Composition faunistique des collemboles

3. Etude taxonomique

4. Discussion

Conclusion

Références bibliographiques

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la mise à jour des connaissances sur la biodiversité des collemboles (Hexapoda : Collembola) dans le Nord-Est algérien, en se concentrant sur plusieurs localités de la wilaya de Mila. Les collemboles, arthropodes du sol d'une grande ancienneté évolutive, jouent un rôle écologique majeur dans les écosystèmes terrestres, notamment dans le cycle de la matière organique.

L'étude repose sur une synthèse bibliographique des travaux réalisés sur cette région. Les méthodes d'inventaire utilisées incluent l'échantillonnage de la litière, l'extraction par la méthode de Berlese-Tullgren, ainsi que l'identification morphologique jusqu'au niveau spécifique quand cela est possible.

Les résultats révèlent un total de 36 espèces et morpho-espèces appartenant à 11 familles et 28 genres, réparties sur les quatre ordres classiques des collemboles : Poduromorpha (57 % des espèces), Entomobryomorpha (32 %), Symphypleona (8 %) et Neelipleona (3 %). La famille la mieux représentée est celle des Neanuridae (27 %), suivie des Entomobryidae et des Hypogastruridae.

Du point de vue biogéographique, 30 % des espèces sont largement distribuées, 24 % sont euro-méditerranéennes, 19 % sont cosmopolites, et une seule espèce est endémique (3 %). Sur le plan morpho-écologique, les hémiédaphons dominent (46 %), suivis par les euédaphons (24 %) et les atmobiotes (11 %). Enfin, 24 % des formes restent non identifiées au niveau spécifique.

Mots clés : Faune édaphique, Synthèse bibliographique, Biodiversité, Mila.

Abstract

This thesis is part of an effort to update knowledge on the biodiversity of springtails (Hexapoda: Collembola) in northeastern Algeria, focusing on several localities in the Mila province. Springtails, ancient soil arthropods, play a major ecological role in terrestrial ecosystems, particularly in the organic matter cycle.

The study is based on a bibliographic synthesis of previous research conducted in the region. Inventory methods included litter sampling, Berlese-Tullgren extraction, and morphological identification to the species level whenever possible.

The results reveal a total of 36 species and morphospecies belonging to 11 families and 28 genera, distributed among the four classical orders of springtails: Poduromorpha (57%), Entomobryomorpha (32%), Symphyleona (8%), and Neelipleona (3%). The most represented family is Neanuridae (27%), followed by Entomobryidae and Hypogastruridae.

From a biogeographical perspective, 30% of the species are widely distributed, 24% are Euro-Mediterranean, 19% are cosmopolitan, and one species (3%) is endemic. In terms of morpho-ecological types, hemi-edaphic species dominate (46%), followed by eu-edaphic (24%) and atmobiotic forms (11%). Finally, 24% of the forms remain unidentified at the species level.

Keywords: Soil fauna, Literature review, Biodiversity, Mila.

ملخص

يندرج هذا البحث ضمن إطار تحديث المعرف حول تنوع القافزات الذيلية (Hexapoda: Collembola) في شمال شرق الجزائر، مع التركيز على عدة مناطق من ولاية ميلة. وتُعد القافزات الذيلية من مفصليات الأرجل الأرضية القديمة التي تلعب دوراً بيئياً هاماً في الأنظمة البيئية الأرضية، لا سيما في دورة المادة العضوية.

يعتمد هذا العمل على تجميع ودراسة البحوث السابقة المنجزة في المنطقة. وشملت طرق الجرد جمع عينات من الفرشة الأرضية، والاستخلاص باستخدام جهاز بيرليزي-تلغرین، بالإضافة إلى التعرف المورفولوجي حتى المستوى النوعي كلما أمكن ذلك.

أظهرت النتائج وجود ما مجموعه 36 نوعاً وشبه نوع، تتنمي إلى 11 عائلة و28 جنساً، موزعة على الرتب الأربع الكلاسيكية للقافزات الذيلية (57% Symphyleona، 32% Poduromorpha، 3% Neanuridae و7% Entomobryidae)، و(8%) Hypogastruridae.

من الناحية البيوجغرافية، تبين أن 30% من الأنواع واسعة الانتشار، و24% تتنمي إلى النطاق الأورو-متوسطي، و19% كونية الانتشار، في حين أن نوعاً واحداً فقط (3%) يُعد موطناً. أما من حيث الأنماط المورفولوجية-البيئية، فإن الأنواع نصف الترابية (hémiédaphons) هي السائدة بنسبة 46%， تليها الأنواع الترابية (euédaphons) بـ24%， والأنواع الهوائية (atmobiotes) بـ11%. وأخيراً، لم يتم التعرف على 24% من الأشكال حتى المستوى النوعي.

الكلمات المفتاحية : الحيوانات تحت أرضية، مراجعة بيوجغرافية، التنوع الحيوي، ميلة

Introduction

Les collemboles constituent un groupe de petits arthropodes souvent sauteurs. Les plus vieux fossiles de ces arthropodes datent d'il y a 380 millions d'années, durant la période du Dévonien, bien avant l'apparition des dinosaures. Des spécimens fossilisés âgés de 33 millions d'années correspondent à des genres et même des espèces encore actives de nos jours.

Les études consacrées à la connaissance des Collemboles d'Algérie sont très limitées et anciennes. Les premiers travaux remontent à la fin de la deuxième moitié du 19ème siècle où quelques espèces difficiles à replacer dans la systématique actuelle sont citées. Les premières études taxonomiques valables ont vu le jour entre 1920 et 1950 grâce aux travaux de Denis (1922 à 1937) et d'autres. Ce n'est qu'en 1963 que l'une des études les plus approfondies sur les Collemboles d'Algérie est réalisée par Cassagnau dans la région de Bône (Annaba).

A la fin du dernier millénaire et au début du présent, le professeur Hamra Kroua relève le défi d'être le premier algérien à étudier la biodiversité de ce groupe d'hexapode au Nord-est algérien. Pendant les 15 dernières années le professeur Hamra Kroua et son équipe ont pu décrire 10 nouvelles espèces dont trois d'entre elles appartiennent au même genre *Pseudachorutes*, deux au genre *Deutonura*, deux au genre *Friesea* plus la redescription d'une espèce du genre *Isotominella*.

Notre travail s'insère dans le cadre de la poursuite des efforts consentis par tous les auteurs précités, l'objectif de ce travail est de réactualiser nos connaissances sur la biodiversité des Collemboles du Nord-est Algérien.

L'objectif principal de ce travail est de réaliser une synthèse des connaissances sur les collemboles présents dans différentes localités de la wilaya de Mila. Pour cela, nous avons analysés les données recueilli dans la littérature afin de dresser une liste exhaustive des espèces signalée dans cette wilaya.

Chapitre I :

Données

bibliographiques

1. La paléontologie des collemboles

Les collemboles sont des hexapodes extrêmement anciens dont l'origine remonte au Dévonien précoce, il y a environ 400 millions d'années. Le plus ancien fossile connu est *Rhyniella praecursor*, découvert dans le Rhynie Chert, en Écosse, et décrit par (Hirst et Maulik , 1926). Ce fossile, considéré comme l'un des plus anciens représentants des hexapodes, a vu son attribution taxonomique évoluer au fil des décennies : d'abord placé dans les Rhyniellidae par (Paclet ,1956), il a ensuite été reclassé parmi les Neanuridae par (Massoud ,1967a), puis dans les Protentomobryidae par (Scourfield , 1940a, 1940b).

Cependant, (Greenslade et Whalley ,1986) ont démontré que cette dernière famille était probablement un synonyme des Isotomidae, qui restent aujourd'hui parmi les collemboles les plus diversifiés. En raison de leur petite taille et de leur corps mou, les collemboles sont rarement conservés sous forme fossile, à l'exception de ceux piégés dans l'ambre, qui permet une préservation exceptionnelle de leur morphologie. Les fossiles de collemboles bien conservés sont principalement retrouvés dans les ambres du Crétacé et des périodes plus récentes.

Selon (Christiansen et Nascimbene ,2006), les Isotomidae représentent plus de 50 % des spécimens trouvés dans l'ambre canadien du Crétacé tardif et plus d'un tiers de ceux de l'ambre birman du Crétacé moyen. Plus récemment, (Sánchez-García et Engel ,2016) ont documenté la plus ancienne faune fossile bien conservée de collemboles dans l'ambre espagnol du Crétacé précoce (Albien supérieur), en particulier dans la province de Burgos, en Espagne. Leur étude a révélé trois nouvelles espèces : *Burmisotoma spinulifera*, *Protoisotoma autrigoniensis* et *Proisotoma communis*. Cette dernière espèce est particulièrement notable car elle appartient à un genre encore existant aujourd'hui, témoignant d'une stabilité morphologique remarquable sur plus de 100 millions d'années.

Les fossiles espagnols indiquent que ces collemboles vivaient probablement dans un environnement humide, près de la litière forestière ou de zones semi-aquatiques, et qu'ils ont été piégés dans la résine alors qu'elle s'accumulait au pied des arbres. Cette hypothèse est soutenue par la présence d'autres fossiles d'organismes adaptés aux milieux humides, notamment des crustacés tanaïdaciés (Sánchez-García et al., 2015) et des cloportes. De manière générale, la comparaison des collemboles fossiles de l'ambre espagnol avec ceux de l'ambre canadien et birman montre des similitudes frappantes, ce qui suggère une large distribution des Isotomidae au Crétacé (Sánchez-García et Engel, 2016).

Ces résultats confirment que les collemboles ont joué un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres depuis des centaines de millions d'années et que leur évolution a été marquée par une grande stabilité morphologique.

1. Généralités sur les collemboles

Les collemboles, du grec « Kolla » qui veut dire « colle » et « embolon » qui signifie «toupie», sont des arthropodes aptérygotes (sans ailes) de petite taille (0,5 à 8mm) formant une classe au sein du sous-embranchement des hexapodes. Ce sont des invertébrés qui possèdent trois 03 paires de pattes (Thibaud et D'haese, 2010, in Lachi.N ,2023)

Les Collemboles sont apparus très tôt au cours de l'histoire évolutive du vivant, il y a 400 millions d'années (la période dévonienne), donc avant les insectes

Les collemboles font parties des animaux les plus variés et les plus représentés sur la terre , On les rencontre sous toutes les latitudes et les altitudes et sont aussi colonisé dans tous les milieux terrestres et aquatiques (Quentin Hubert,2012)

Hopkin, S. P. (1997) Indique que Le corps des collemboles est bien divisé en trois parties principales :

1. Une tête
2. Un thorax composé de trois segments, chacun portant une paire de pattes
3. Un abdomen composé de six segments

2. La morphologie des collemboles

Les collemboles sont de petits arthropodes aptères, mesurant généralement entre (1 et 5 mm). Possèdent une morphologie adaptée à leur mode de vie terrestre. Leur corps est divisé en trois régions principales : la tête, le thorax et l'abdomen. La tête porte des antennes segmentées et des pièces buccales de type entognathie, repliées dans la tête.

Le thorax est composé de trois segments, chacun avec une paire de pattes, et l'abdomen de six segments, dont les derniers sont responsables de la mobilité grâce à la présence de la furca, un appendice qui permet leur propulsion. Le collophore, situé sur le premier segment abdominal, aide à l'adhésion et la régulation de l'humidité. Les collemboles se divisent en quatre grands ordres : Entomobryomorphes, Poduromorphes, Symphypléones et Neelipléones,

chacun ayant des adaptations spécifiques à des habitats variés, allant de la litière forestière aux environnements aquatiques (Thibaud et al., 2004; Dallai et al., 2016).

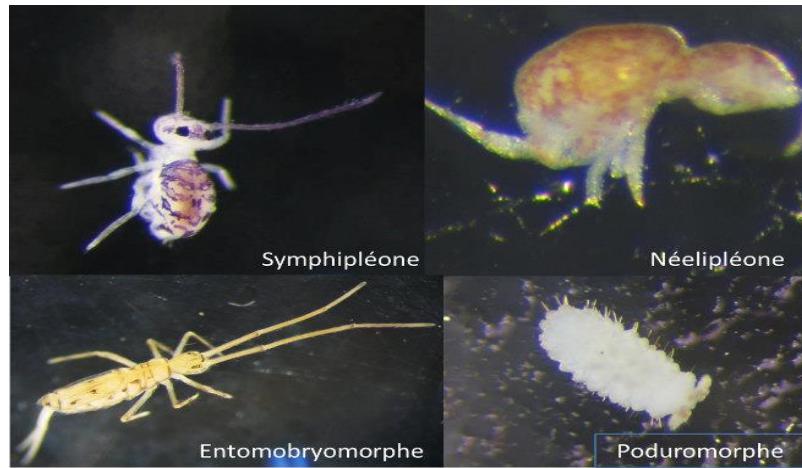


Figure 01. Les quatre ordres des collemboles (Hopkin ,1997)

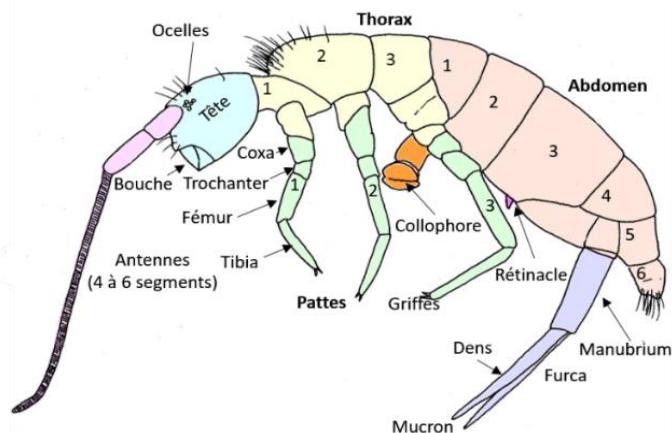


Figure 2. Morphologie externe des Entomobryomorphes (Anonyme, 2014)

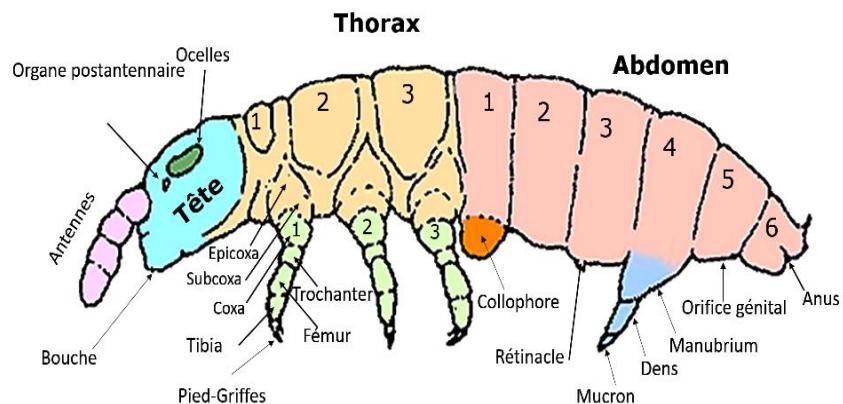


Figure 3. Morphologie externe des Poduromorphes (Anonyme, 2014)

2.1. La tête

La morphologie de la tête des collemboles a été largement étudiée en raison de sa diversité et de ses adaptations fonctionnelles. Elle est généralement caractérisée par une petite taille et une structure complexe, adaptée à leur mode de vie. Selon Chahartaghi et al. (2004), la tête des collemboles présente une configuration distincte avec une paire d'antennes qui jouent un rôle essentiel dans la détection des stimuli environnementaux.

Les mandibules sont souvent réduites ou absentes chez certaines espèces, et les maxilles sont modifiées pour remplir diverses fonctions alimentaires et sensorielles. Le système sensoriel est bien développé, notamment par la présence d'organes sensoriels situés sur les antennes et la bouche, facilitant les interactions avec leur environnement (D'Haese, 2003). En outre, l'œil, souvent simple et situé latéralement, participe à la perception des variations lumineuses (Zeppelini et al., 2015).



Figure 4. Tête de Dicyrtomina ornata, vue frontale (Valentine, 2006)

2.1.1. Les antennes

Les antennes des collemboles sont des organes sensoriels complexes constitués généralement de 4 à 8 segments, bien que leur nombre et leur forme puissent varier selon les espèces (Scheu & Schulz, 1996). Ces antennes sont dotées de diverses sensilles, telles que des sensilles chimioreceptrices et mécanosensibles, qui leur permettent de détecter des stimuli chimiques et vibratoires (Fountain et al., 1975). Leur structure segmentée, avec une base large et une extrémité plus fine, est adaptée à la détection des substances chimiques émanant de la matière organique en décomposition ou des phéromones (Scheu & Schulz, 1996).

Les antennes jouent également un rôle crucial dans la perception tactile, permettant aux collemboles de détecter les vibrations du sol, ce qui est particulièrement important dans les environnements souterrains où les stimuli visuels sont absents (Fountain et al., 1975). Selon l'écologie de l'espèce, la longueur et la sensibilité des antennes peuvent varier ; par exemple, les collemboles vivant dans des environnements secs peuvent développer des antennes plus longues pour maximiser la détection chimique, tandis que ceux vivant dans des environnements aquatiques peuvent avoir des antennes plus courtes et adaptées à la détection de vibrations dans des sols saturés d'eau (Rusek, 1998).

Les antennes jouent également un rôle dans la communication chimique, essentielle pour les comportements sociaux et reproductifs des collemboles, facilitant la détection des partenaires sexuels par les phéromones (Rusek, 1998).



Figure 5. Exemple d'antennes d'entomobryomorphes de gauche à droite :

Isotomurus plumosus, Tomocerus minor, Orchesella villosa (Anonyme)

2.1.2. L'organe post antennaire (OPA)

L'organe post-antennal (OPA) est une structure sensorielle spécifique aux collemboles, située sur la tête, derrière les antennes. Il est impliqué dans la détection de stimuli environnementaux,

jouant un rôle crucial dans la perception sensorielle de ces arthropodes. Selon Deharveng (1981), l'OPA est une caractéristique morphologique distinctive utilisée pour la classification des collemboles. De plus, Massoud (1971) a décrit l'OPA comme un organe sensoriel essentiel pour l'adaptation des collemboles à leur habitat.



Figure 6. *Morulina multatuberculata* (Roffler, D, 2009)

2.1.3. Les plaques oculaires

Chez les Collemboles, la zone oculaire se caractérise par la présence de cornéules disposées de manière spécifique selon les groupes taxonomiques (Symphyleona, Poduromorpha, Entomobryomorpha). Jordana et al. (1997) décrivent ces plaques oculaires comme un élément clé de l'identification des espèces, soulignant leur agencement distinct et leur rôle fonctionnel dans la perception de l'environnement.

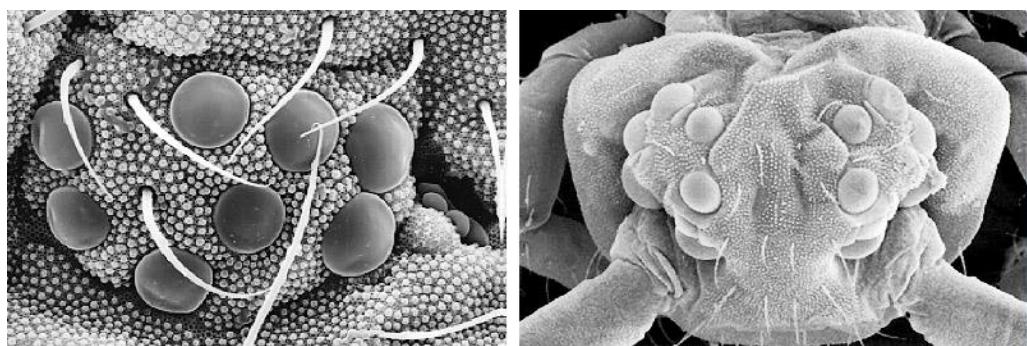


Figure 7. Plaques oculaires des collemboles (Anonyme, 2017)

2.1.4. La région buccale

La région buccale des collemboles est une structure interne située au sein de la tête, caractéristique des entognathes. Contrairement aux insectes dont les pièces buccales sont

externes (ectognathes), celles des collemboles sont enclavées dans une cavité buccale, protégées par le labre dorsalement, le labium ventralement et des replis latéraux de la cuticule. Cette adaptation morphologique permet de protéger les pièces buccales de la dessiccation et des agressions mécaniques, tout en favorisant leur efficacité dans l'acquisition de nourriture (D'Haese, 2003).

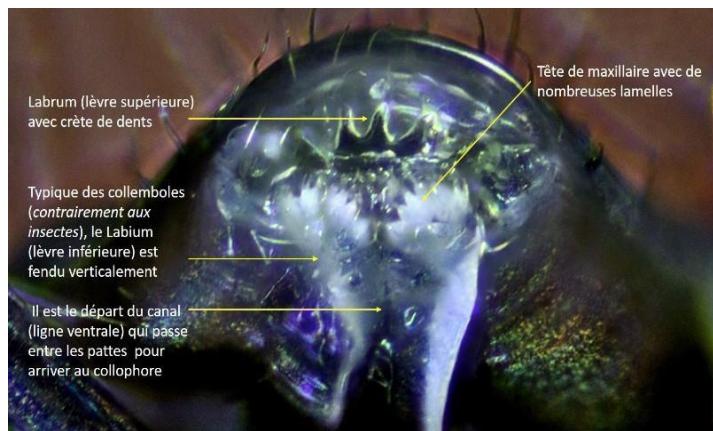


Figure 8. La région buccale d'un collembole (Anonyme, 2018)

a. Composition de l'appareil buccal

L'appareil buccal des collemboles est de type broyeur ou piqueur-suceur, selon les espèces, et se compose des éléments suivants :

Le labre (lèvre supérieure) : structure chitineuse qui recouvre partiellement les mandibules et aide à guider les particules alimentaires vers la bouche (Hopkin, 1997).

Les mandibules : paires d'appendices symétriques, mobiles et fortement scléritifiées .

Elles possèdent deux parties distinctes :

- La partie molaire, composée de dents ou de structures denticulées, servant à broyer la nourriture.
- La partie incisive, plus effilée, permettant soit la découpe des particules solides, soit la perforation des substrats pour certaines espèces piqueuses (Panina et al., 2019).

Les maxilles : appendices plus souples que les mandibules, dotés de lobes et de palpes sensoriels. Elles jouent un rôle essentiel dans la manipulation des aliments et la stabilisation du processus de mastication. Les maxilles sont parfois modifiées pour permettre une action de succion dans certaines espèces (D'Haese, 2003).

L'hypopharynx : structure médiane jouant un rôle d'organe interne, facilitant le mélange de la nourriture avec la salive avant ingestion. Il contribue également à la lubrification du bol alimentaire, optimisant ainsi la digestion (Hopkin, 1997).

Le labium (lèvre inférieure) : structure souvent fusionnée avec les maxilles, formant un ensemble fonctionnel servant à manipuler et transporter la nourriture jusqu'à l'entrée du pharynx (D'Haese, 2003).

b. Fonction et adaptation à l'alimentation :

L'agencement de ces structures buccales conditionne le mode d'alimentation des collemboles. Ils présentent ainsi deux types principaux d'appareils buccaux, directement liés à leur régime alimentaire et leur rôle écologique :

➤ **Les formes masticatrices (broyeuses)** : présentes chez les espèces se nourrissant de débris végétaux, de champignons et de matière organique en décomposition .

Les mandibules : sont robustes et dotées de plaques molaires bien développées, permettant un broyage efficace des particules (Panina et al., 2019) .

Les maxilles : facilitent la manipulation des débris, tandis que le labre et le labium aident à maintenir les particules en place (Hopkin, 1997).

Exemples : espèces du genre *Folsomia*, *Isotoma*, *Tomocerus*.

➤ **Les formes piqueuses-suceuses** : caractéristiques des espèces capables d'aspirer des fluides (sève végétale, sucs fongiques ou cytoplasme de microorganismes).

Les mandibules et maxilles sont allongées et modifiées en stylets, capables de perforez les parois cellulaires (D'Haese, 2003).

L'hypopharynx joue un rôle fondamental en facilitant l'aspiration des liquides vers l'œsophage (Hopkin, 1997).

Exemples : certaines espèces du genre *Neelipleona* ou *Sminthuridae*.

Cette diversité morphologique et fonctionnelle témoigne de l'adaptation des collemboles aux écosystèmes du sol, où ils jouent un rôle clé dans la dégradation de la matière organique, la régulation des populations microbiennes et l'équilibre trophique (D'Haese, 2003 ; Panina et al., 2019).

2.1.5. La région céphalique des Collemboles

La face dorsale de la tête des Collemboles, en particulier chez les Neanuridae, est divisée en quatre aires distinctes : une aire centrale, une aire postérieure et deux aires latérales symétriques. Chacune de ces zones porte un ensemble de soies dont le nombre et la disposition jouent un rôle fondamental dans l'identification systématique des espèces (Deharveng, 1983).

Des études menées par Yosii (1956), Da Gama (1969), Cassagnau (1974) et Deharveng (1983), citées par Hamra-Kroua (2005), ont établi une nomenclature précise pour ces soies, Les désignant par une combinaison de lettres et de numéros selon leur position :

Série des soies dorsales (d) : regroupe les soies situées de part et d'autre de la ligne médiane dorsale.

Soies subdorsales (sd) : présentes dans la partie subdorsale, en position postérieure.

Soies ventrales (v) : une ou deux soies sont situées dans la région postérieure.

Lignes transversales (c et p) : disposées en travers de la tête, contribuant aux repères morphologiques.

Soies latérales : réparties en deux catégories :

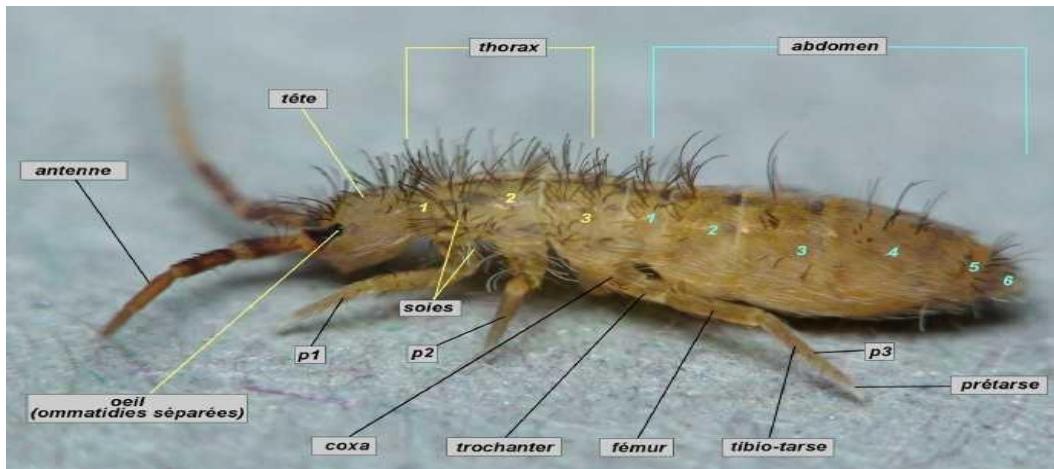
Soies générales (g) : situées sur les côtés de la tête.

Soies latérales (l) : disposées en périphérie de la capsule céphalique.

Soies oculaires (oc) : généralement au nombre de trois, situées dans la région oculaire.

2.2. Le thorax

Le thorax des Collemboles est la région médiane du corps, située entre la tête et l'abdomen, et constituée de trois segments successifs : le prothorax (T1), le mésothorax (T2) et le métathorax (T3). Contrairement aux insectes, le thorax des Collemboles ne porte pas d'ailes et se distingue par des adaptations morphologiques spécifiques liées à la locomotion et au saut. Chaque segment thoracique supporte une paire de pattes, contribuant aux déplacements au sol, tandis que certains muscles thoraciques sont impliqués dans l'activation de la furca, un organe de saut situé sur l'abdomen (Hopkin, 1997 ; Deharveng, 1983).



Figur 9. *Orchesella quinquefasciata* : juvénile (montage-photo P.Falatico)

(Anonyme, 2018)

2.2.1. Les pattes

Les pattes des Collemboles sont des appendices locomoteurs situés sur les trois segments thoraciques (prothorax, mésothorax et métathorax). Elles sont constituées de cinq articles : la coxa, le trochanter, le fémur, le tibia et le tarse, ce dernier étant souvent fusionné avec un prétaire portant une ou deux griffes. Ces structures jouent un rôle essentiel dans la locomotion au sol et dans l'adhérence aux surfaces, notamment grâce à la présence d'une structure adhésive appelée empodium, située entre les griffes. Chez certaines espèces, la morphologie des pattes varie en fonction du mode de vie, les formes fouisseuses présentant des pattes plus courtes et robustes, tandis que les formes arboricoles ou épigées possèdent des pattes plus longues et flexibles (Hopkin, 1997 ; Deharveng, 1983).

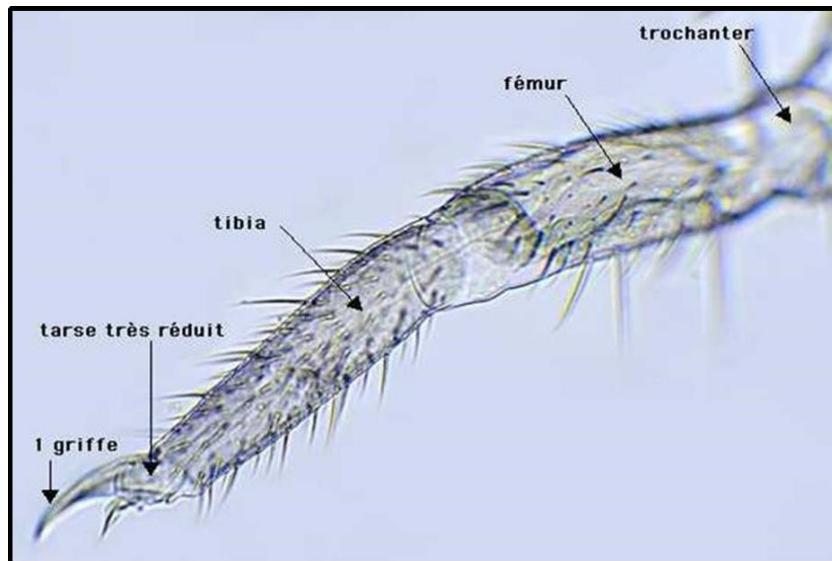


Figure 10. Patte des Collemboles (*Isotoma*) (Bellinger & al., 2014)

2.3. L'abdomen

L'abdomen des collemboles est la troisième et dernière section du corps, située en arrière du thorax. Il est constitué de six segments visibles, bien que leur différenciation varie selon les familles et les genres. Cette région abrite plusieurs structures essentielles à la physiologie et à la locomotion de l'animal, telles que le tube ventral (collophore) impliqué dans l'absorption d'eau et l'adhérence au substrat, ainsi que l'organe génital situé sur le cinquième segment (Hopkin, 1997 ; Deharveng, 1983).

2.3.1. Le collophore

Le collophore, ou tube ventral, est un organe tubulaire situé sur le premier segment abdominal des collemboles (Eisenbeis, 1982). Il joue un rôle essentiel dans la régulation de l'équilibre hydrique et ionique de l'organisme, notamment en permettant l'absorption de l'eau liquide à différentes salinités (Eisenbeis, 1982).

De plus, il participe à l'adhérence de l'animal aux substrats, facilitant ainsi sa locomotion et son interaction avec l'environnement (Favret et al., 2015). Chez certaines espèces, le collophore peut se dévaginer et atteindre une longueur considérable, suggérant une fonction supplémentaire dans le nettoyage du corps (Didier, 2017).



Figure 11. Détail du tube ventral ou colophore.

(Photo M.Blaise) (Anonyme, 2017)

2.3.2. Le rétinacle

Le rétinacle, ou tenaculum, est un organe situé sur le troisième segment abdominal des collemboles, composé de deux branches dentées qui assurent le maintien de la furca en position repliée sous l'abdomen. Il joue un rôle clé dans la mécanique du saut, en maintenant la furca en place jusqu'à ce que l'animal décide de l'utiliser pour sauter, un mécanisme crucial pour échapper aux prédateurs (Hubert, 2012; Christiansen & Bellinger, 1998).

Des recherches ont également montré que le rétinacle participe à la régulation de l'équilibre hydrique et ionique des collemboles, en facilitant leur interaction avec l'environnement et en contribuant à la survie des espèces dans des conditions variées (Eisenbeis, 1982; Hopkin, 1997). Ce mécanisme est particulièrement bien développé chez certaines espèces, où il permet à la furca de se déployer rapidement, propulsant l'animal en avant et en hauteur (Favret et al., 2015).

2.3.3. Le furca

La furca est un appendice abdominal sauteur situé sur le quatrième segment abdominal des collemboles (Hubert, 2012). Elle est composée de trois parties principales : le manubrium, qui la rattache à l'abdomen ; les dentes, qui sont les branches de la furca ; et les mucrons, qui sont les extrémités des dentes en forme de

petits crochets (Eisenbeis, 1982). En position de repos, la furca est repliée sous l'abdomen et maintenue en place par le rétinacle (Hubert, 2012).

Lorsqu'elle est libérée, la furca se déploie brusquement, propulsant l'animal en avant et en hauteur sur plusieurs centimètres (Hopkin, 1997). Ce mécanisme de saut est principalement utilisé comme moyen de fuite face aux prédateurs ou pour se déplacer rapidement (Favret et al., 2015).

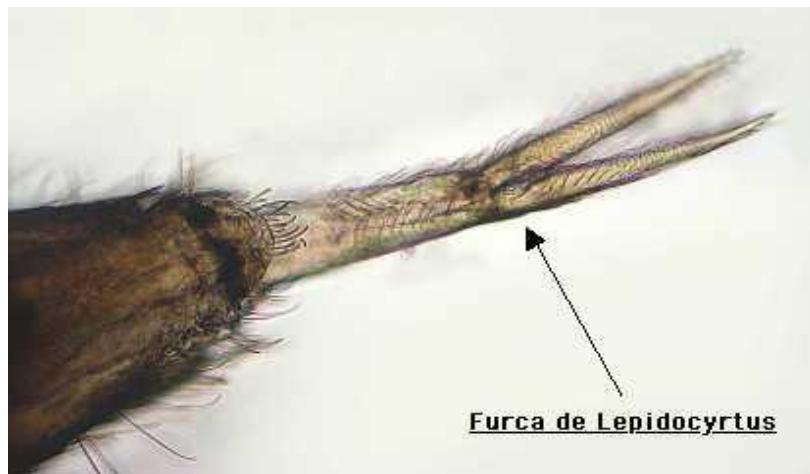


Figure 12. Détail de la furca de Lepidocyrtus...(photos M.Blaise)

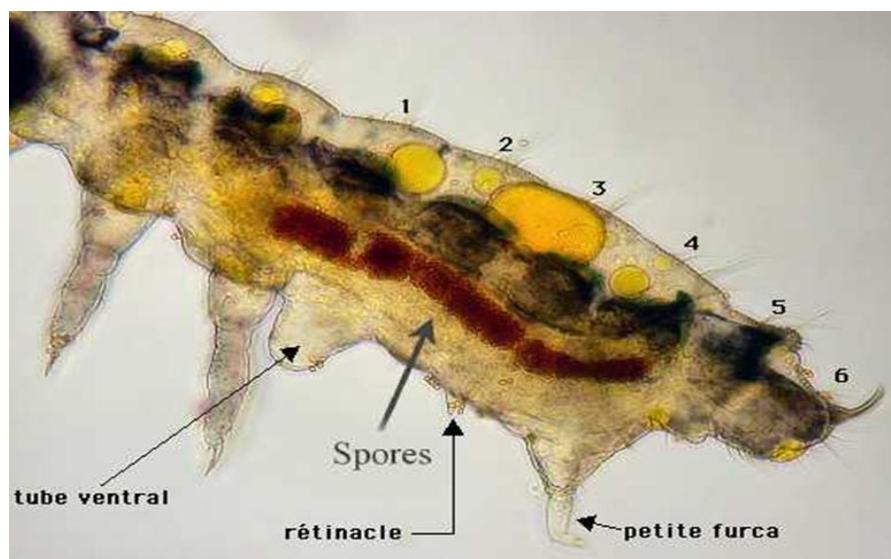


Figure 13. Les attributs abdominaux ventraux d'un Collembole Poduromorphe

Hypogastruride : tube ventral-rétinacle-furca...(photos M.Blaise, 2017)

2.4. Anatomie externe

2.4.1. Le tégument

Le tégument chez les collemboles constitue l'[']enveloppe externe de leur corps, qui est composée d'[']une cuticule. Cette cuticule est formée de plusieurs couches, dont une couche épidermique et une couche d'[']exosquelette. Il est flexible, et sa rigidité varie selon les conditions environnementales et le stade de développement de l'[']animal. Ce tégument protège contre la déshydratation, les agents pathogènes et joue un rôle important dans la locomotion et la perception sensorielle (Jaffuel et al., 2013).

2.4.2. Le soie

Les soies des collemboles sont des formations cuticulaires correspondant à la partie externe d'un organe sensillaire. Elles comportent une embase, une courte partie basale et une partie distale constituant la plus grande longueur. Les soies sont de différentes formes et densités, et leur disposition est d'une importance systématique fondamentale pour l'identification des espèces (Dunger & Fiedler, 2005).

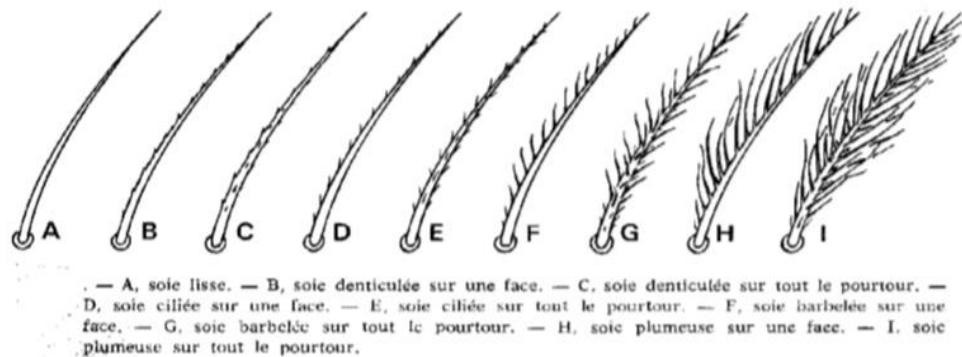


Figure 14(a). Les soies selon la structure (Massoud et Ellis (1977)).

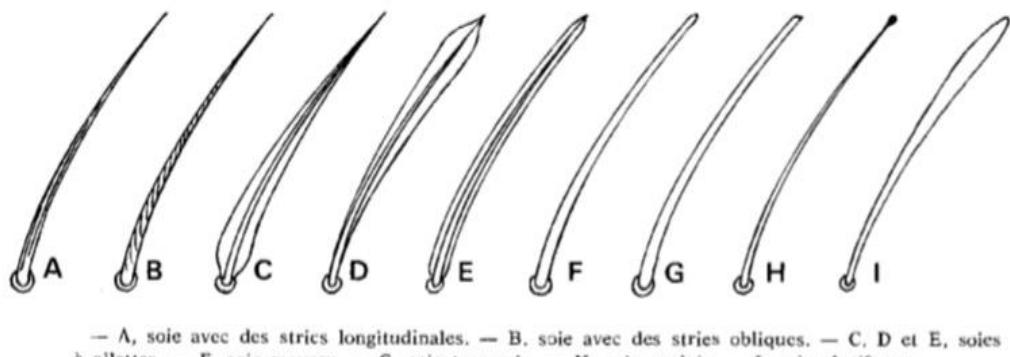
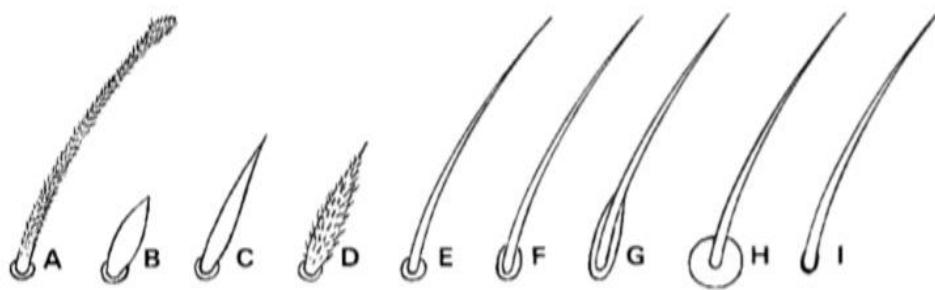


Figure 14(b). Les soies selon la forme (Massoud et Ellis (1977)).

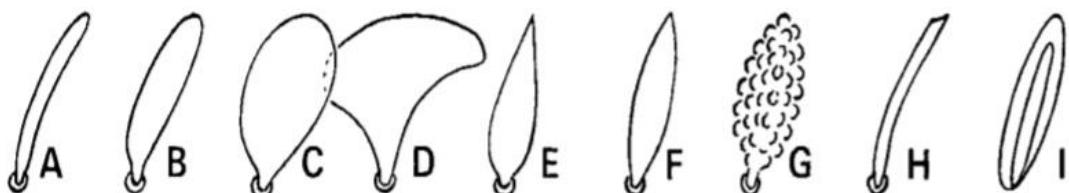


— A, soie en crosse. — B, épine. — C, soie spiniforme lisse. — D, soie spiniforme ciliée. — E, soie à embase elliptique. — G, soie à embase allongée. — H, soie à embase très large. — I, embase de même dimension que la base de la soie.

Figure 14(c). Les soies selon la forme (Massoud et Ellis (1977)

2.4.3. Les sensille

Les sensilles chez les collemboles sont de petites structures sensorielles situées sur la surface de leur tégument. Elles permettent la détection de divers types de stimuli environnementaux tels que les odeurs, les vibrations, et les changements de température. Elles sont associées à des récepteurs sensoriels spécialisés et sont essentielles pour la communication et la navigation des collemboles dans leur habitat (Palacios-Vargas et al., 2009).



— A, sensille typique. — B, sensille gonflée. — C, sensille en ballon. — D, sensille en francisque. — E, sensille en flamme de bougie. — F, sensille en lancette. — G, sensille en grappe. — H, sensille tronquée. — I, sensille en logette.

Figure 14 (d). Les sensilles (Massoud et Ellis, 1977).

2.4.4. Les écailles

Les écailles sont des structures minces, en forme de plaques, présentes sur le corps de certaines espèces de collemboles.

Elles sont souvent recouvertes de petites dents ou de cils et peuvent être associées à des processus de défense. Les écailles permettent également de réfléchir la lumière et d'améliorer

la visibilité dans l'obscurité, ce qui est particulièrement utile pour les collemboles vivant dans des environnements souterrains (Kottelat & Smit, 2006).

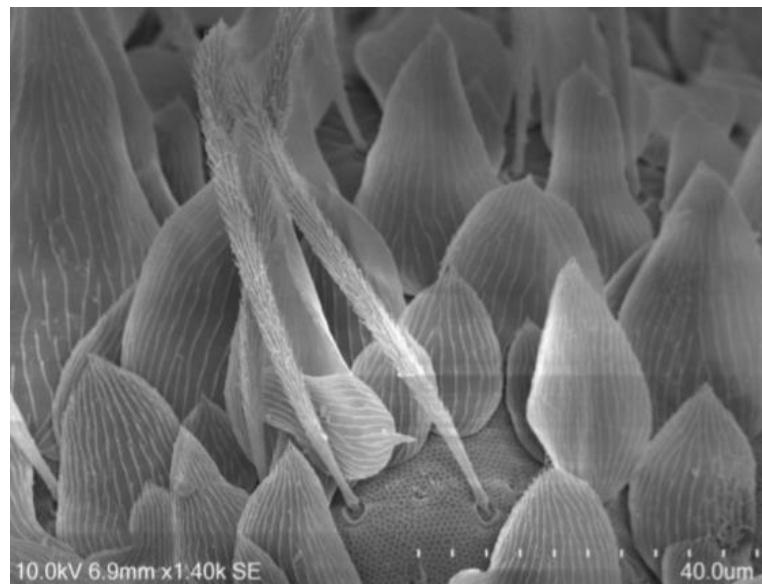


Figure 15. Ecailles et soies d'*Heteromurus major* (Moniez, 1889)

2.4.5. Les trichobothries

Les trichobothries sont des structures sensorielles spécialisées en forme de poils fins, souvent présentes sur le tégument des collemboles. Ces organes sont sensibles aux vibrations et aux mouvements de l'air, ce qui leur permet de détecter les prédateurs ou d'autres perturbations dans leur environnement. Ils jouent également un rôle dans la navigation et la recherche de nourriture (Lissner et al., 2018).

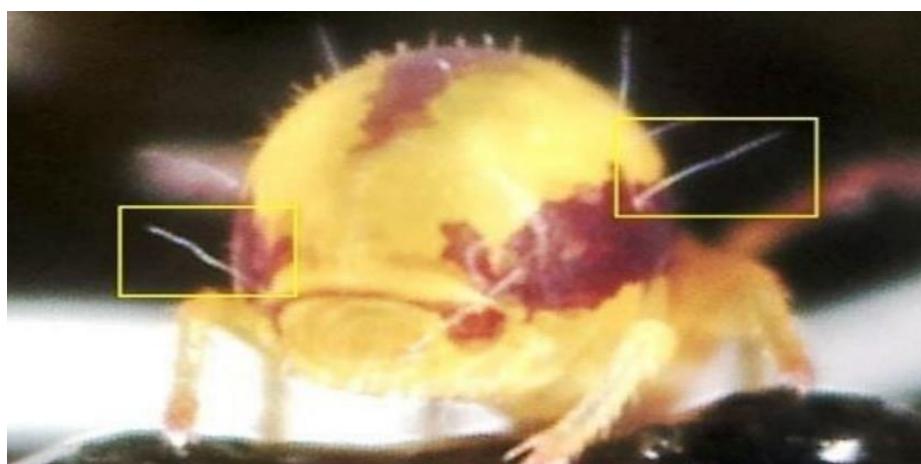


Figure 16. Photo des trichobothries sur la face dorsale de *Symphypléona* (Garcelon, 2018)

2.4.6. Les épines

Chez les collemboles sont des structures rigides et pointues qui peuvent être présentes sur diverses parties du tégument. Elles sont souvent utilisées comme mécanisme de défense pour décourager les prédateurs. Les épines peuvent également être impliquées dans la locomotion en facilitant le mouvement des collemboles sur des surfaces rugueuses ou dans des milieux denses (Jenkins & Harrison, 2014).

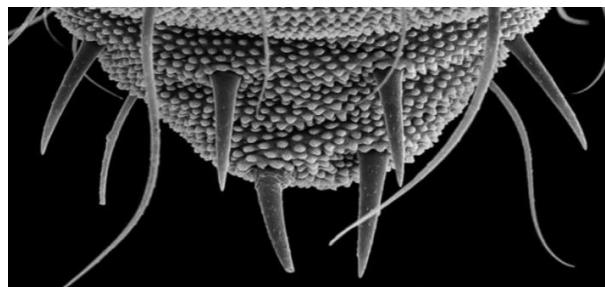


Figure 17. Six épines sur le 6eme segment abdominal de *Friesea najtae*. Bar = 50 µm
(D'haese et al., 2017)

2.4.7. Les pseudocelles

Selon (Thibaud & Bedos, 2016), les pseudocelles sont des structures sensorielles semblables à de petites poches ou vésicules situées sur le tégument. Elles sont souvent associées à des récepteurs sensoriels et jouent un rôle important dans la perception des stimuli mécaniques et chimiques. Ces structures permettent aux collemboles de détecter les changements dans leur environnement immédiat et d'adapter leur comportement en conséquence .

2.5. Anatomie interne

Dans cette partie nous allons aborder les différents appareils et systèmes dont le fonctionnement assure la survie des collemboles.

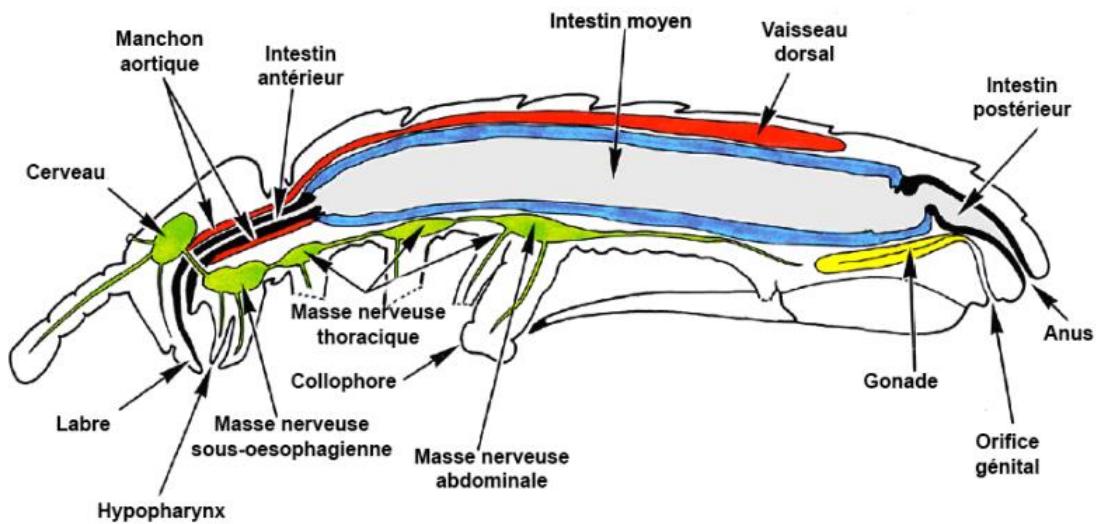


Figure 18. Coupe anatomique schématique d'un Collembole (Thibaud et D'haese, 2010).

2.5.1. Le système nerveux

Le système nerveux (figure) comprend un complexe d'un ganglion céphalique supérooesophageal(b) combiné avec les lobes optiques et un ganglion suboesophageal(c), formant le cerveau, et plusieurs noyaux ventral, dont trois ganglions thoraciques; dans le Symphypleona pro thoracique et les ganglions méso thoracique sont fusionnés(d) (Nicolet, 1842). Les ganglions abdominaux sont fusionnés au ganglion méta thoraciques(e) (Cassagnau&Juberthie dans Vandel, 1970), qui s'étend habituellement dans le premier segment abdominal (Brauner 1981 cité à partir Hopkin1997). Les noyaux sont reliés entre eux longitudinalement par une paire de connecteurs latéraux; la dissocier, nerf médian de Leydig relie un ganglion ventral de l'autre entre les connecteurs latéraux (Cassagnau et Juberthie dans Vandel, 1970). Intercalaire nerf; névralgique de Hoffmann. Pour être terminée.

Organes sensoriels: antennaires structures sensorielles, orgue post antennule, les yeux, sétiformes les organes, les organes ovales, des propriocepteurs. Pour être terminée.
(Derradj.L ,2014)

2.5.2. Le système digestif

Le début du tube digestif s'ouvre dans la cavité buccale de la capsule céphalique (Nicolet, 1842). Le canal tubulaire intestinale passe directement à travers le corps sans circonvolutions de la fin antérieure à postérieure (Nicolet, 1842). Alors que Nicolet (1842) identifie cinq

régions intestinales, ils se divisent en trois grandes divisions (Olfers Von cité de Lubbock, 1873).

Le tube digestif est constitué d'un intestin antérieur assez longue et étroite ou stomodeum, une grande capacité en forme de sac, intestin moyen (estomac, ventricule, de l'intestin) ou mésentéron, et un intestin postérieur étroit (caecum, du rectum) ou proctodéum (Nicolet, 1842; Lubbock, 1873; Thibaud, 1970; Adams & Salmon, 1972).

L'intestin antérieur comprend au moins le pharynx et l'œsophage (Thibaud, 1970).

Une dilatation locale temporaire de l'œsophage peut être présente à la suite du processus d'alimentation (Nicolet, 1842). Adams & Salmon (1972) font la distinction dans l'intestin antérieur: pharynx, œsophage, du jabot et le gésier. L'intestin antérieur et postérieur sont bordées de cuticule qui se renouvelle à chaque mue (Thibaud, 1970).

L'intestin moyen est bordé de microvillosités épithéliales en contact direct avec une membrane péri trophique qui est sécrétée par un anneau de cellules postérieures à la jonction entre l'intestin antérieur et l'intestin moyen (Hopkin, 1997). À la jonction entre l'intestin moyen et postérieur, un sphincter musculaire, connu sous le nom de la région du pylore "intestin grêle" (Nicolet, 1842; Hopkin 1997) ou la valve rectale.

De minuscules papilles malpighiennes sont présentes à l'extrémité antérieure de l'intestin postérieur (Hopkin, 1997).

L'intestin moyen est entouré par un réseau de muscles circulaires et longitudinaux qui mélangent la nourriture dans les résidus de lumen et la force de la digestion dans l'intestin par le mouvement péristaltique (Dallai et al. 1989 cité par Hopkin, 1997).

Le rectum fortement musclé, étant prévu sur toute sa longueur avec des muscles transversaux forme des boulettes fécales (Hopkin 1997). La fin du tube digestif par l'anus s'ouvre sur le sixième segment abdominal qui porte trois sacs anaux de fonction inconnue (Hopkin 1997);

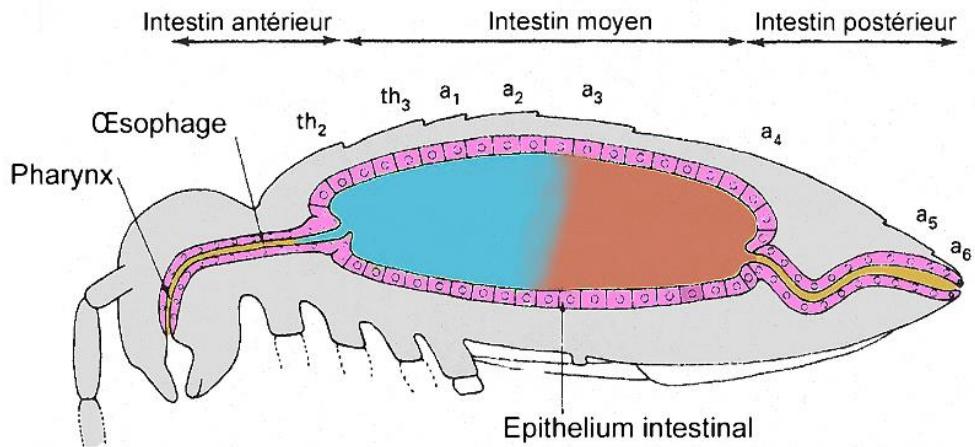


Figure 20. Schéma du système digestif des collemboles (Anonyme, 2014)

2.5.3. Le système respiratoire

Les collemboles respirent par diffusion, sans système trachéen comme d'autres arthropodes. L'oxygène traverse la cuticule par des pores appelés stigmates. Cette méthode de respiration est suffisante pour les collemboles, étant donné leur petite taille et leur mode de vie souvent souterrain, où l'échange de gaz est plus facile grâce à des espaces poreux dans le sol (Maurer, G., & Bonar, D., 2001).

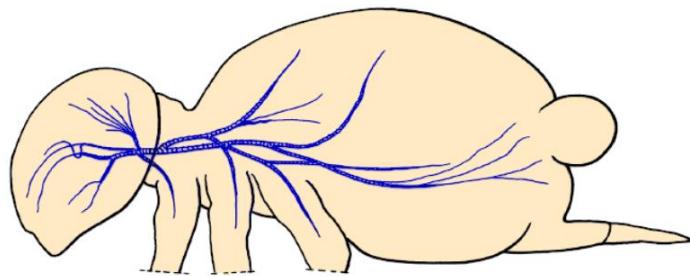


Figure 21. Le système respiratoire (Bellinger &al, 2014).

2.5.4. Le système circulatoire

Les collemboles possèdent un système circulatoire ouvert, dans lequel l'hémolymphé (le fluide corporel) circule librement autour des organes internes sans être contenu dans des vaisseaux spécifiques. Le cœur est un vaisseau dorsal tubulaire qui propulse l'hémolymphé à travers le corps. Ce système transporte les nutriments, les hormones et les déchets.

métaboliques, mais il n'est pas impliqué dans le transport de l'oxygène (Bergström, K., & Weber, A., 2004).

2.5.5. Le système musculaire

Le système musculaire des collemboles est composé de muscles striés et lisses qui permettent la flexion et l'extension des segments corporels ainsi que la locomotion des appendices. Les muscles striés sont responsables des mouvements rapides, tandis que les muscles lisses assurent la contraction lente et soutenue. Les collemboles utilisent principalement leurs muscles pour sauter et se déplacer efficacement dans leur habitat (Pugh, S. L., & Rickers, C., 2010).

2.5.6. Le système endocrinien

Le système endocrinien des collemboles est constitué de glandes endocrines qui sécrètent des hormones contrôlant la croissance, la reproduction et la réponse aux stimuli environnementaux. Les principales glandes endocrines comprennent les corps X, qui sont responsables de la régulation de la mue et du développement. Les hormones produites influencent le métabolisme, la reproduction et le comportement (Breen, S. M., & Goldstein, M. A., 2008).

2.5.7. Le système excréteur

Les collemboles utilisent des structures appelées néphridies pour l'excration des déchets azotés. Ces néphridies sont des tubes présents dans l'abdomen qui filtrent les déchets métaboliques. Ils jouent un rôle clé dans la régulation de l'eau et des sels dans le corps des collemboles, ce qui est essentiel pour leur survie dans des environnements variés, y compris ceux avec des niveaux d'humidité fluctuants (Dunger, W., & Fiedler, H.-J., 2005).

3. La reproduction

Les collemboles ont des sexes séparés, bien qu'il n'y ait généralement pas de différences morphologiques marquées entre les mâles et les femelles, à l'exception de la forme des orifices génitaux (Massoud, 1971). Cependant, chez certaines espèces de Symphypléones, les mâles présentent des caractères sexuels secondaires, notamment au niveau des antennes et de l'abdomen. Les femelles, quant à elles, possèdent des appendices anaux et des soies élargies. La reproduction se déroule sans accouplement direct.

3.1. Parthénogénèse

La parthénogénèse, mode de reproduction asexuée où les femelles engendrent des descendants sans fécondation mâle, est observée chez certaines espèces de collemboles. Ce mécanisme est particulièrement avantageux dans des environnements où les partenaires sexuels sont rares ou les conditions environnementales défavorables, permettant une reproduction rapide et efficace, et favorisant ainsi la colonisation de nouveaux habitats, y compris des milieux perturbés ou pollués. Par exemple, la parthénogénèse est courante chez de nombreuses espèces de collemboles, contribuant à leur succès écologique dans divers environnements (Petersen, 1971). De plus, certaines bactéries endosymbiotiques, telles que Wolbachia, peuvent influencer ce mode de reproduction en induisant la parthénogénèse chez leurs hôtes, ce qui permet aux collemboles de s'adapter rapidement à des environnements changeants en maintenant des lignées clonales stables (Petersen, 1971).

4. Développement

5.1. Développement embryonnaire

Se déroule à l'intérieur de l'œuf, depuis la fécondation jusqu'à l'éclosion ,Après la fécondation, les femelles pondent généralement des œufs en groupes de 8 à 80, bien que certaines espèces les déposent individuellement. Les œufs sont sphériques, mesurant entre 0,1 et 0,3 mm de diamètre, avec une surface lisse ou ornée selon les espèces. Chez certaines espèces, les œufs sont enrobés de matières, comme des excréments, pour les protéger de la dessiccation. Le développement embryonnaire est influencé par la température : par exemple, chez *Entomobrya nivalis*, ce développement dure 25 jours à 9°C, 15 jours à 13°C et seulement une semaine à 20°C. (Fjellberg, A ,1998)

5.2. Développement post-embryonnaire

Commence après l'éclosion, lorsque le jeune collembole quitte l'œuf Il est amétabole, c'est-à-dire sans métamorphose. (Thibaud et D'Haese, 2010).

Après l'éclosion, le jeune collembole ressemble morphologiquement à l'adulte, bien que de taille plus petite et sexuellement immature (Thibaud, J.-M. 2017). La maturation sexuelle est atteinte après une série de mues, dont le nombre varie selon les espèces et les conditions environnementales. Fait notable, les collemboles continuent de muer tout au long de leur vie

adulte, un trait considéré comme primitif parmi les hexapodes. La durée du développement post-embryonnaire est influencée par des facteurs tels que la température et l'humidité, pouvant s'étendre de quelques jours à plusieurs mois. Par exemple, chez *Entomobrya nivalis*, le développement embryonnaire dure 25 jours à 9°C, 15 jours à 13°C et seulement une semaine à 20°C. Cette plasticité développementale permet aux collemboles de s'adapter à une variété de conditions environnementales (Garcelon, P).

5.3. Cycle vital, longévité

le cycle vital c'est-à-dire la durée de vie allant de l'oeuf à l'oeuf et selon les espèces de deux mois à un an, la longévité est selon les espèces de trois mois à trois an. (Derradj.L ,2014)

Le cycle vital des collemboles comprend plusieurs stades : œuf, stades juvéniles et adulte. Après la ponte, les œufs éclosent en une à quatre semaines, selon les conditions environnementales. Les jeunes collemboles ressemblent aux adultes et atteignent la maturité sexuelle après plusieurs mues. Leur cycle de vie complet, de l'œuf à l'adulte, peut varier de deux mois à un an, en fonction des espèces et des conditions environnementales

La durée de vie des collemboles varie également selon les espèces et les conditions environnementales. Certaines espèces ont une longévité d'environ un an, tandis que d'autres peuvent vivre jusqu'à trois ans. Les espèces vivant en surface ont généralement une durée de vie plus courte que celles vivant en profondeur dans le sol ou dans des environnements souterrains (Massoud, Z ,1971).

5.4. Cycle d'intermue des adultes

Un collembole peut muer d'une vingtaine à une soixantaine de fois selon les espèces et les conditions du milieu , chaque intermue peut se diviser en trois périodes (Derradj.L ,2014):

Première période de jeûne (pré-exuviation) : Juste avant la mue, les collemboles cessent de s'alimenter. Cette phase est relativement courte et précède l'exuviation, c'est-à-dire la perte de l'ancienne cuticule.

Période d'alimentation : Après la mue, une nouvelle cuticule est formée, et le collembole reprend son alimentation. Cette phase est la plus longue du cycle, durant laquelle le mésentéron (partie médiane de l'intestin) est pleinement fonctionnel.

Deuxième période de jeûne : Au cours de cette phase, le vieux mésentéron dégénère, et une nouvelle cuticule ainsi qu'un nouveau mésentéron se développent en préparation de la prochaine mue. Cette période est également caractérisée par une absence d'alimentation.

Adaptations physiologiques aux facteurs du milieu

4.1.1. Adaptation au froid chez les collemboles :

Les collemboles ont développé plusieurs stratégies physiologiques pour survivre dans des environnements froids. Certaines espèces sont capables d'entrer en diapause, un état de dormance où leur métabolisme est considérablement ralenti. Cette adaptation leur permet de survivre à des températures extrêmement basses en réduisant leur consommation d'énergie. De plus, certaines espèces produisent des antigels, des molécules qui empêchent la formation de cristaux de glace dans leurs cellules et tissus. Ces substances sont essentielles pour protéger les collemboles contre les dommages cellulaires causés par le gel. Ces mécanismes permettent aux collemboles de survivre dans des habitats tels que les montagnes ou les régions polaires (Zhang et al., 2012).

4.1.2. Adaptation à la sécheresse chez les collemboles

Les collemboles vivant dans des environnements secs ont développé des stratégies physiologiques pour minimiser la perte d'eau. Certaines espèces ont une cuticule plus épaisse et plus résistante, ce qui réduit l'évaporation de l'eau. De plus, ces collemboles sont souvent capables de réguler leur activité en fonction de l'humidité ambiante, devenant moins actives pendant les périodes de sécheresse pour économiser de l'eau. Certaines espèces, comme celles vivant dans des déserts, peuvent également se nourrir de matières organiques sèches, ce qui leur permet de survivre dans des environnements extrêmement arides (Rusek, 1998).

4.1.3. Adaptation à la dessiccation chez les collemboles

La dessiccation est un problème majeur pour de nombreuses espèces de collemboles vivant dans des habitats où l'humidité fluctue rapidement. Certaines espèces ont développé des mécanismes de résistance à la dessiccation, tels que la production de protéines de choc thermique, qui aident à maintenir l'intégrité cellulaire en cas de perte d'eau. D'autres, comme les collemboles du sol, peuvent se réfugier dans des microhabitats plus humides, comme les couches profondes du sol

ou les litières de feuilles, où l'humidité est plus stable. Les collemboles peuvent également accumuler des substances osmotiques, telles que le glycérol, qui aident à maintenir l'équilibre hydrique en période de dessiccation (Baker et al., 2006).

4.1.4. Adaptation à l'inondation chez les collemboles

Certaines espèces de collemboles vivant dans des habitats aquatiques ou proches de l'eau, comme les bords de rivières, ont développé des adaptations leur permettant de survivre aux inondations. Ces adaptations incluent la capacité de survivre dans des conditions de faible oxygénation en produisant des structures spécialisées, telles que des trachéides (canaux respiratoires) plus larges pour augmenter l'absorption d'oxygène. De plus, certaines espèces sont capables de se déplacer activement sur l'eau en utilisant des structures hydrophobes, ce qui leur permet de flotter et de se déplacer dans des environnements inondés sans se noyer (Baker et al., 2008).

4.1.5. Adaptation aux milieux halophiles chez les collemboles

Les collemboles vivant dans des milieux halophiles, tels que les zones côtières ou les sols salins, ont développé des adaptations pour survivre à la forte salinité. Ces adaptations comprennent la capacité à excréter l'excès de sel via des glandes spécialisées ou des structures excrétoires. Certaines espèces de collemboles produisent également des composés osmoregulateurs qui aident à maintenir l'équilibre osmotique interne en dépit de l'environnement salin extérieur. Ces adaptations sont cruciales pour survivre dans des milieux où les conditions osmotiques peuvent changer rapidement (Rusek, 1998).

4.1.6. Adaptation aux milieux humides chez les collemboles

Les collemboles vivant dans des milieux humides, tels que les marais ou les forêts tropicales, ont développé des adaptations physiologiques pour gérer l'excès d'humidité. Ces espèces possèdent des structures spécialisées pour évacuer l'eau excédentaire, telles que des canaux de drainage sous la cuticule. De plus, certaines espèces ont des mécanismes de régulation de l'humidité interne, leur permettant de maintenir un équilibre hydrique stable malgré les conditions ambiantes très humides. Ces adaptations permettent aux collemboles de prospérer dans des environnements où l'humidité relative est constamment élevée (Feng et al., 2010).

4.1.7. Adaptation aux milieux extrêmes « cavernicoles » chez les collemboles

Les collemboles cavernicoles, vivant dans des environnements souterrains extrêmes, ont développé des adaptations spécifiques à la vie dans l'obscurité totale et dans des conditions d'humidité et de température constantes. Ces espèces sont souvent dépigmentées, ce qui est une adaptation à l'absence de lumière, et ont des yeux très réduits ou complètement atrophiés. Leur physiologie est également adaptée à la faible disponibilité en nourriture, avec des métabolismes lents et une capacité à survivre avec peu de nutriments. En outre, ces collemboles ont développé des organes sensoriels très sensibles aux stimuli chimiques, comme l'organe post-antennaire, qui leur permet de détecter les traces de matière organique ou d'autres individus dans leur habitat souterrain (Rusek, 2003).

5. Ecologie des Collemboles

5.1. Habitats et formes de vie

Les collemboles sont des microarthropodes ubiquitaires qui colonisent divers habitats terrestres, avec une préférence marquée pour les milieux riches en matière organique et humides. Ils sont particulièrement abondants dans les sols forestiers et les litières, où ils participent activement à la décomposition de la matière organique et à la régulation des communautés microbiennes (Hopkin, 1997).

Ces organismes sont surtout présents dans la litière des feuilles, le sol, les mousses et sous les écorces des arbres, où ils jouent un rôle essentiel dans le cycle des nutriments (Ponge, 2000). Leur répartition verticale dans le sol varie en fonction des conditions abiotiques telles que l'humidité et la température. Ainsi, certaines espèces se concentrent dans les horizons supérieurs riches en matière organique, tandis que d'autres colonisent les couches plus profondes du sol (Rusek, 1998).

Les collemboles sont particulièrement abondants dans les écosystèmes tempérés et tropicaux, mais ils sont également présents dans des environnements extrêmes tels que les déserts, les hautes montagnes et les régions arctiques. Certaines espèces ont développé des adaptations spécifiques pour survivre à des conditions hostiles, comme la cryoprotection dans les milieux froids (Cassagnau, 1991).

5.2. Régime alimentaire

Le régime alimentaire chez les collemboles n'est pas stricte lié à un type de nourriture. Les collemboles sont, pour la plupart, polyphages en se nourrissant de débris organiques : parenchyme foliaire, bois, excréments et cadavres d'animaux, et surtout de pollens, d'algues, mycelium, spores de champignons et de bactéries, ce sont donc des détritivores. Ils peuvent se nourrir de racines de plantes vivantes et plantules. (Coleman,2004) .

Selon (Jeffery et al., 2010), les collemboles sont principalement fongivores, se nourrissant principalement des hyphes des champignons, et saprophytes, consommant de la matière organique en décomposition. Ils représentent une part significative des organismes vivant dans les matières en décomposition et jouent un rôle essentiel dans la fragmentation de la matière organique, influençant ainsi indirectement le cycle des nutriments du sol et régulant les populations microbiennes.

le régime alimentaire chez certains groupes des collemboles, où il rapporte que le squelette externe des microalgues était trouvé dans le tube digestif des Isotomidae des mousses humides, certaines espèces appartenant de ce groupe sont des prédatrices (*Metisotoma grandiceps*), elles ont des pièces buccales bien développées, c'est le cas des *Friesea* qui se nourrissent des protoures, des nématodes. Concernant la famille des Neanuridae, ils ont des pièces buccales de type suceur, adaptées à l'absorption de liquide (Hoskins et al. 2015).

Influence des facteurs du milieu sur la vie des Collemboles

5.3. Température

Les collemboles ont une large gamme de tolérance thermique selon l'espèce et l'environnement. La température optimale pour la plupart des espèces se situe entre 10°C et 30°C (Fisher et al., 2012). Certaines espèces comme *Isotoma saltans* survivent à des températures proches de 0°C sur les glaciers (Rusek, 1998), tandis que d'autres, comme *Folsomia candida*, résistent à des températures élevées, atteignant 40°C, en adaptant leur métabolisme et leur comportement (Baker et al., 2006). La capacité d'adaptation thermique des collemboles leur permet de survivre dans une variété de microhabitats à travers différentes zones climatiques (Zhang et al., 2012).

5.4. Humidité

L'humidité est essentielle à la survie des collemboles, car ils dépendent d'environnements humides pour éviter la déshydratation. En général, ils ont besoin d'une humidité relative supérieure à 90 % pour survivre longtemps, et la durée de vie diminue de manière significative lorsque l'humidité descend en dessous de ce seuil (Feng et al., 2010). À une humidité de 95 %, la durée de vie peut augmenter à 48 heures, ce qui reflète leur capacité d'adaptation à des conditions relativement sèches (Rusek, 1998). Les collemboles trouvent leur habitat principalement dans des microhabitats humides, comme les sols forestiers et les litières de feuilles, où l'humidité est stable (Baker et al., 2008).

5.5. Lumière

Les collemboles sont photophobes, ce qui signifie qu'ils évitent la lumière directe. Cette adaptation est cruciale pour leur survie dans des environnements sombres tels que les sols, la litière de feuilles et les grottes. En laboratoire, des études montrent que l'exposition à la lumière intense perturbe leur comportement alimentaire et reproductif, en les forçant à chercher des zones plus ombragées pour s'abriter (Feng et al., 2010). La lumière peut également influencer la distribution des collemboles dans les sols, car ils se déplacent vers des zones plus sombres pour éviter le stress causé par la lumière intense (Rusek, 2003).

5.6. Vie subaquatique

Les collemboles peuvent également survivre dans des environnements subaquatiques temporaires, tels que les étangs ou les marais. Ces espèces ont développé des adaptations morphologiques et physiologiques spécifiques pour vivre sous l'eau, comme des structures corporelles hydrophobes et des mécanismes respiratoires qui leur permettent de capter de l'oxygène dissous. Par exemple, des collemboles aquatiques comme *Podura aquatica* sont capables de survivre dans des habitats aquatiques où ils jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments (Baker et al., 2006).

6. Densité de population, biomasse et distribution

La densité des Collemboles est très variable selon les biotopes. Quand ils sont présents, cette densité varie de 1 000 à 1 000 000 d'individus au m² avec des moyennes de 10 000 à 100 000 (Massoud, 1971) . Selon les espèces, le poids frais d'un Collembole adulte varie de 0,2 à 1,5 mg.

Selon (Thibaud 2017) le poids sec varie de 0,05 à 0,3 mg. La biomasse, pour 50 000 individus/m², varie de 10 à 75 g / poids frais, et de 2,5 à 15 g / poids sec. La biomasse des Collemboles du sol représenterait ainsi de 1 à 10% de la biomasse de la faune du sol. Le métabolisme de leurs populations serait, lui aussi, de 1 à 10% du métabolisme de la faune édaphique. Ils représenteraient de 0,4 à 3% de l'énergie des écosystèmes terrestres.

6.1. Systématique actuelle des collemboles

Les collemboles ne sont plus considérés comme insectes mais plutôt un groupe de même rang (classe). Il faut noter aussi que les protoures et les diploures sont actuellement considérés comme classes séparées l'une de l'autre.

La hiérarchie taxonomique est principalement basée sur celle de Bretfeld (1994, 1999), D'Haese (2002) et Deharveng (2004). La systématique des taxons supérieurs présentée ci-dessous correspond à certaines des opinions les plus «récentes» (Tableau).

Tableau 1 . Classification actuelle des collemboles modifiée d'après Bellinger et al. (2021)

Super-règne	Eucarya Woese et al. 1990
Règne	Animalia Linnæus, 1758
Sous-règne	Eumetazoa Butschli, 1910
Super-phylum	Ecdysozoa Aguinaldo et al., 1997
Phylum	Arthropoda Latreille, 1829
Sous-phylum	Pancrustacea Zrzavy et Stys, 1997

Chapitre II :

Matériel et

méthodes

1. Présentation générale de la Wilaya de Mila

La wilaya de Mila est située dans le Nord-Est de l'Algérie, entre les latitudes 36°10' et 36°40' Nord et les longitudes 6°00' et 6°45' Est. Elle s'étend sur une superficie d'environ 3 486 km² et se trouve à la jonction entre les régions telliennes au nord et les Hautes Plaines au sud. Elle est limitée au nord par la wilaya de Jijel, à l'est par Constantine et Guelma, à l'ouest par Sétif, et au sud par Oum El Bouaghi. L'altitude moyenne varie entre 340 mètres et 1 400 mètres au-dessus du niveau de la mer, conférant à la région une grande diversité topographique.

Les études consacrées aux collemboles de la Wilaya de Mila sont réalisées dans plusieurs localités. Différentes zones de la wilaya de Mila ont été sélectionnées pour l'échantillonnage des collemboles. Ces sites présentent une diversité de conditions écologiques (altitude, végétation, humidité), ce qui permet de comparer les communautés édaphiques en fonction des caractéristiques locales.



Figure 22 : carte de la wilaya de Mila

1.1. Relief et géologie de la Wilaya de Mila

La wilaya de Mila possède un relief varié, divisé en plusieurs zones distinctes : **Au nord** : Présence de massifs montagneux avec une altitude atteignant jusqu'à 1600 mètres, surtout dans les zones proches des frontières avec la wilaya de Jijel. **Zones de collines et piémonts** : Situées en dessous des communes limitrophes avec Jijel, ces zones présentent un

relief modéré. **Au centre** : On trouve des hautes plaines, relativement étendues. **Au sud** : Présence de massifs montagneux, mais avec une altitude légèrement inférieure, atteignant environ 1400 mètres.

1.2. Le climat de la région de Mila

La wilaya de Mila bénéficie d'un climat méditerranéen à tendance semi-continentale. Les hivers sont froids et humides, avec des températures pouvant descendre en dessous de 0°C, notamment dans les zones montagneuses. Les étés sont chauds et secs, avec des températures pouvant dépasser 40 °C dans les régions les plus basses. La pluviométrie annuelle est irrégulière et varie considérablement selon les localités : elle est généralement supérieure à 800 mm dans les régions nordiques, tandis qu'elle peut être inférieure à 400 mm dans les zones méridionales.

1.2.1. Les températures

Le tableau (Tab. 03) et la figure (Fig. 23) montrent la température moyenne mensuelle (**T**), la température maximale mensuelle (**TM**) et la température minimale mensuelle (**Tm**) (toutes en °C) dans une période de 10 ans (2015-2024) pour les régions d'étude (Mila). On remarque que le mois le plus froid est Janvier température moyenne de 9°C, tandis que le mois le plus chaud est celui de Juillet avec une température moyenne de 30°C.

Tableau 03 : Températures de la wilaya de Mila (2015-2024).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2015	TM	13	11	17	24	28	31	37	36	29	24	19	17
	T	9	7	12	18	22	26	31	30	23	19	14	11
	Tm	4	3	6	11	17	20	26	23	18	14	8	5
2016	TM	17	17	17	22	26	13	35	34	30	27	19	16
	T	11	12	11	17	21	26	30	28	23	21	14	11
	Tm	5	6	5	11	15	21	24	21	17	15	9	6
2017	TM	11	17	21	22	30	34	37	36	29	23	17	13
	T	7	11	13	16	24	29	31	31	24	19	14	10
	Tm	3	5	6	10	18	23	25	26	20	15	10	6
2018	TM	15	12	17	21	23	29	36	32	30	23	19	16
	T	11	8	12	17	19	25	31	27	26	19	15	12
	Tm	7	4	8	12	15	20	26	23	22	16	11	8
2019	TM	11	14	17	20	22	35	37	35	30	25	16	16
	T	8	10	12	16	18	29	31	30	26	20	13	12
	Tm	5	5	7	11	14	23	25	25	21	16	10	9

	TM	14	18	16	21	27	30	35	36	28	23	19	14
2020	T	10	13	12	16	22	25	30	30	24	19	16	11
	Tm	6	8	8	12	17	21	24	25	20	14	12	7
2021	TM	13	17	17	21	27	34	38	25	35	25	17	16
	T	10	12	12	16	21	28	32	19	28	19	14	12
	Tm	6	7	7	11	16	23	26	14	21	14	11	7
2022	TM	14	16	17	22	29	40	41	38	25	30	21	20
	T	10	11	12	15	22	31	32	30	28	24	17	15
	Tm	5	6	8	9	15	22	23	23	22	18	12	11
2023	TM	13	14	20	23	23	32	42	35	31	28	20	20
	T	9	10	14	16	18	26	34	28	26	22	15	15
	Tm	5	5	8	9	12	19	26	21	20	17	11	11
2024	TM	16	16	20	21	27	35	38	36	36	27	22	13
	T	12	12	14	15	21	27	30	30	30	22	18	10
	Tm	8	8	9	9	15	20	23	23	23	18	13	7

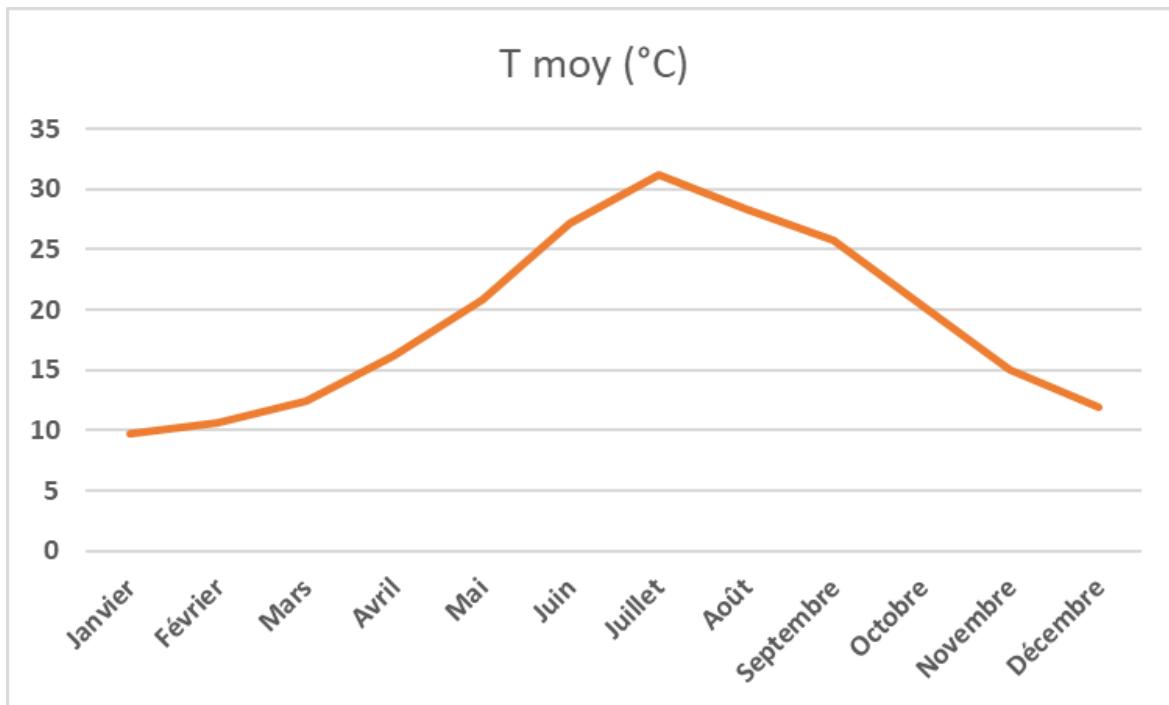


Figure 23 : Températures moyenne mensuelles pour la wilaya de Mila au courants des années (2015-2024).

1.2.2 Les précipitations

Les valeurs des précipitations totales sur le mois (en mm) de la région toujours pendant les 10 dernières années (2015-2024) sont notées dans le tableau. On remarque que L'année 2019 a été la plus pluvieuse (874 mm), tandis que 2022 et 2023 ont connu des

précipitations très faibles, indiquant une tendance à l'aridification. Les pluies se concentrent principalement entre mars et décembre, avec un minimum en été.

Tableau 04 : Précipitations de la wilaya de Mila (2015-2024).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
2015	189	139	95	16	28	23	7	56	39	74	64	5	735
2016	64	35	85	82	35	23	9	14	28	53	61	22	511
2017	109	45	3	28	37	32	2	24	11	31	96	72	490
2018	10	64	119	91	16	16	4	9	35	61	37	24	486
2019	136	41	153	60	56	7	9	76	86	68	115	67	874
2020	15	2	108	79	24	27	5	9	92	27	49	132	569
2021	82	62	106	41	98	16	1	5	3	3	45	15	477
2022	18	10	26	10	10	0	1	3	7	3	25	4	117
2023	27	4	5	6	44	20	1	2	1	0	31	31	172
2024	22	52	14	8	12	5	0	3	10	21	27	24	198
Moy.	67,2	45,4	71,4	42,1	36	16,9	3,9	20,1	31,2	34,1	55	39,6	/

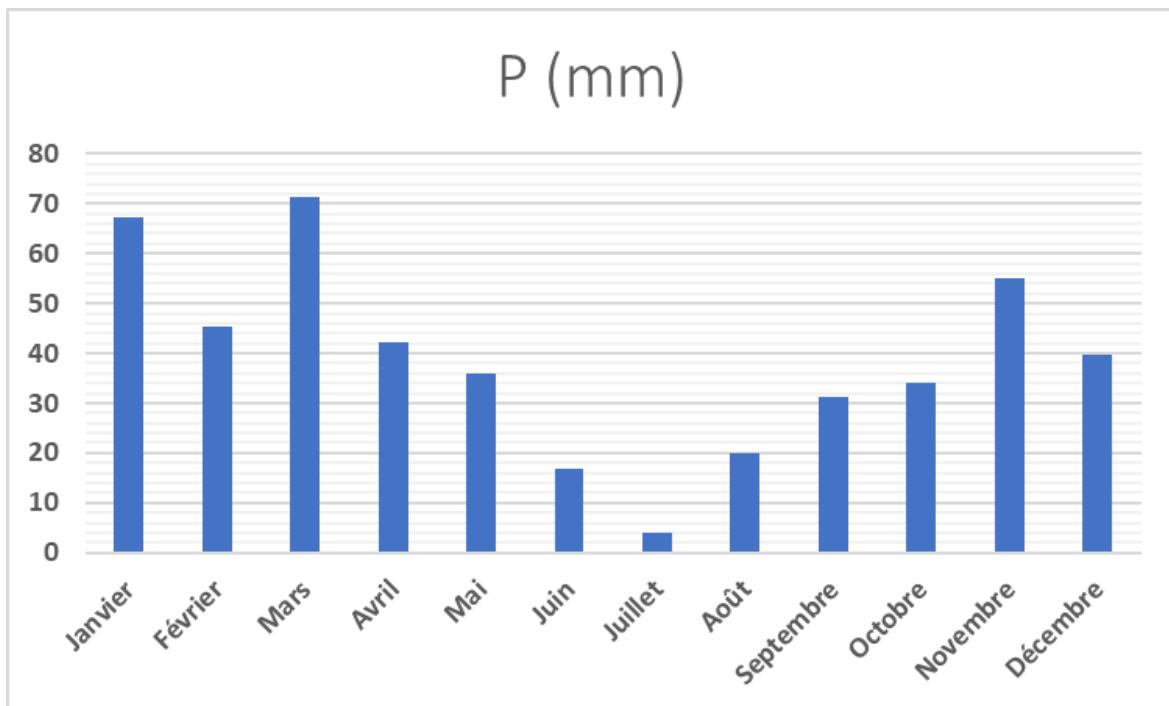


Figure 24 : Variations des moyennes de Précipitations à Mila (2015-2024).

1.3. La végétation

La wilaya de Mila, située dans le nord-est de l'Algérie, présente une végétation variée influencée par la diversité de son relief et de son climat. Au nord, dans les zones montagneuses, la végétation est de type forestier avec la présence de chênes zéens (*Quercus canariensis*), de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) et de maquis méditerranéen composé de lentisque, romarin et ciste. Vers le centre et le sud de la wilaya, le paysage devient plus steppique, dominé par des espèces adaptées à la sécheresse comme l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) et l'alfa (*Stipa tenacissima*). Les zones agricoles sont également bien développées, avec des cultures de céréales, des oliviers, des figuiers et d'autres arbres fruitiers. Enfin, la végétation ripicole bordant les oueds et les retenues d'eau comprend des roseaux (*Phragmites australis*), des joncs et des saules. Cette diversité végétale crée une mosaïque d'habitats favorables à une faune variée, y compris les collemboles présents dans la litière et les sols.

2. Etude faunistique

Pour réaliser une étude de la faune du sol "faunistique", il est nécessaire de prélever de nombreux échantillons bien représentatifs et de ramener ces échantillons au laboratoire en vue d'une extraction massive des microarthropodes par des techniques appropriées. Le nombre et le volume d'échantillons prélevés est en fonction du type d'étude (écologique ou faunistique), de l'abondance du peuplement, de la dominance et la rareté des espèces, de la dimension et du type de distribution spatiale des individus, (Cancela da Fonseca et Vannier, 1969 cités par Hamra Kroua, 2005).

2.2. Extraction des collemboles

Il existe plusieurs méthodes d'extraction des collemboles et d'autres microarthropodes ; Extraction par voie sèche, extraction par lavage (extraction par voie humide) et extraction par film graisseux de Aucamp (Pesson, 1971 ; Concela da Fonseca et Vannier, 1969 cité par Hamra Kroua 2005).

L'extraction par voie sèche ou méthode de Bérlèse-Tullgren, c'est une méthode sélective ou dynamique, par laquelle les microarthropodes sont récoltés intactes sans l'intervention d'un opérateur. Il se compose d'un entonnoir équipé d'une grille sur laquelle est déposé l'échantillon à analyser. Une lampe à incandescence, placée au-dessus de l'échantillon, génère de la chaleur et de la lumière, entraînant un assèchement progressif de

la litière. Sous l'effet de cette chaleur, les organismes fuient vers le bas, traversent la grille, puis tombent dans un flacon récepteur contenant de l'alcool méthylique à 70 %, utilisé pour leur conservation. La durée d'extraction varie entre 4 et 5 jours, en fonction de l'humidité de l'échantillon.



Figure 28 : Appareil de Berlese.

2.3. Tri et dénombrement des collemboles

Les Collemboles extraits d'un échantillon sont placés dans une boite de Pétri pour entamer le tri. Le tri s'effectue sous la loupe binoculaire à grossissement suffisant pour pouvoir séparer les Collemboles des autres groupes faunistiques tels que les acariens, les araignées, Les pseudoscorpions, les larves et adultes de petits insectes, à l'aide d'une brosse appelée (la brosse de Cassagnau): une tige en matière plastique très fine (0,5mm) montée sur un mandrin métallique. Une fois tous les Collemboles sont séparés des autres Microarthropodes, on procède au dénombrement qui permet de déterminer le nombre total d'individus de Collemboles présents dans chaque échantillon. Les collemboles sont conservés dans des tubes étiquetés contenant de l'alcool à 70%.



Figure 29 : Loupe binoculaire à grossissement X32.

2.4. Identification des collemboles

L'identification au niveau de l'ordre et de la famille est réalisée sous loupe binoculaire à l'aide de clés d'identification qui donne les caractéristiques morphologiques générales des ordres, familles et quelques genres de collemboles. Plusieurs clés d'identification ont été utilisées. L'identification au niveau spécifique est différente à celle des ordres et familles, un montage entre lame et lamelle est nécessaire pour pouvoir visualiser certains détails microscopiques (Pièces buccales, chaetotaxie antennaire, ...etc.). L'identification au niveau de l'espèce doit être réalisée par un spécialiste en taxonomie dans le cas d'espèces difficiles à classer.

2.5 Clé des ordres des Collemboles

- 1(0). A- Segmentation tergale abdominale distincte (Fig.1a); tronc allongé (Fig.2a) 2
B- Segmentation tergale abdominale indistincte (Fig.1b); tronc subglobulaire (Fig.2b) 3



Fig.1.

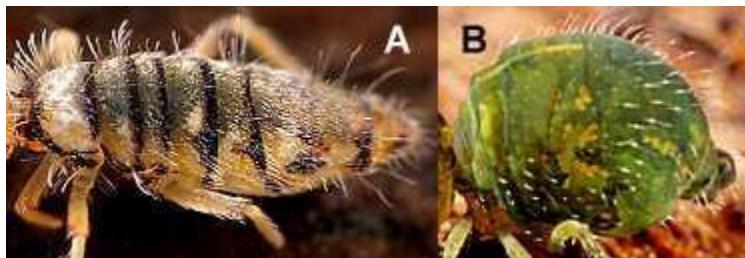


Fig.2.

2(1). A- Tergite prothoracique distinct (Fig.3a) **Poduromorpha**

B- Tergite prothoracique indistinct (Fig.3b) **Entomobryomorpha**



Fig.3.

3(1). A- Antennes aussi longues ou plus longues que la tête (Fig.4b) **Sympypleona**

B- Antennes plus courtes que la tête (Fig.4a) **Neelipleona**

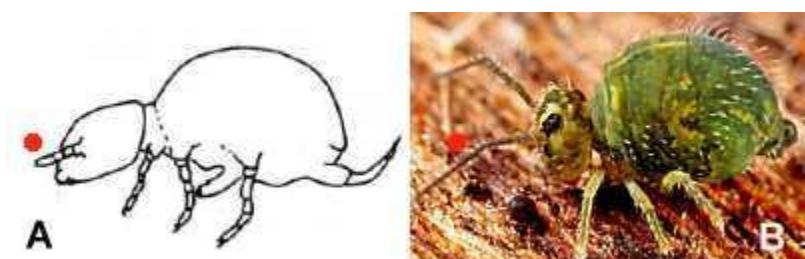


Fig.4.

Chapitre III :

Résultats et

Discussion

I. Résultats

Nous présentons dans le tableau la liste des espèces signalé dans les travaux réalisés sur la wilaya de Mila. Les espèces sont classées selon l'ordre, la famille et la sous famille. Le tableau défini ainsi le type d'adaptation biologique et l'aire de distribution.

Tableau 6. Liste des espèces de collemboles identifiées.

Abréviations : **A** : Atmobios ; **E** : Euédaphon ; **H** : Hémiédaphon ; **C** : Cosmopolite ; **W** : Large distribution ; **Eu** : Européenne/Euroméditerranéenne ; **En** : Endémique ; **N/A** : Non applicable (forme non identifiée à l'espèce).

		Type biologique	Aire de distribution
Ordre I : PODUROMORPHA			
01. Hypogastruridae			
01	<i>Ceratophysella denticulata</i>	H	C
02	<i>Ceratophysella gibbosa</i>	H	C
03	<i>Ceratophysella tergilobata</i>	H	W
04	<i>Hypogastrura H. pityusica</i>	H	Eu
05	<i>Xenyllogastrura afurcata</i>		
02. Brachystomellidae			
06	<i>Brachystomella curvula</i>	E	Eu
07	<i>Brachystomella sp.</i>	N/A	N/A
03. Neanuridae			
a. Frieseinae			
08	<i>Friesea afurcata</i>	H	Eu
	<i>Friesea ladeiroi</i>		
09	<i>Friesea mirabilis</i>	H	C
10	<i>Friesea sp.</i>	N/A	N/A
b. Neanurinae			
11	<i>Bilobella aurantiaca</i>	E	W
12	<i>Endonura sp.</i>		
13	<i>Protanura pseudomuscorum</i>	H	W
14	<i>Protanura sp.</i>	N/A	N/A
c. Pseudachorutinae			
15	<i>Pseudachorutella asigillata</i>	H	W
16	<i>Pseudachorutes sp.</i>	N/A	N/A

		Type biologique	Aire de distribution
	Ordre I : PODUROMORPHA (suite)		
	04. Onychiuridae		
17	<i>Protaphorura armata</i>	E	W
18	<i>Deuteraphorura sp.</i>	E	N/A
19	<i>Onychiurus sp.</i>		
	05. Tullbergiidae		
20	<i>Mesaphorura sp.</i>	E	N/A
	Ordre II : ENTOMOBRYOMORPHA		
	06. Isotomidae		
21	<i>Hemisotoma thermophila</i>	H	C
22	<i>Isotomiella minor</i>	E	W
23	<i>Parisotoma notabilis</i>	H	W
24	<i>Proisotoma minuta</i>	H	C
	07. Entomobryidae		
25	<i>Entomobrya numidica</i>	A	En
26	<i>Heteromurus major</i>	A	N/A
27	<i>Lepidocyrtus sp.</i>	N/A	N/A
28	<i>Orchesella cincta</i>	H	W
29	<i>Orchesella quinquefasciata</i>	A	Eu
30	<i>Orchesella sp.</i>	N/A	N/A
31	<i>Seira domestica</i>	H	C
32	<i>Tomocerus vulgaris</i>		
	Ordre III : SYMPHYPLEONA		
	11. Dicyrtomidae		
33	<i>Dicyrtomina ornata</i>	A	Eu
	12. Katiannidae		
34	<i>Sminthurinus aureus</i>	H	Eu
	13. Sminthurididae		
35	<i>Sphaeridia pumilis</i>	H	C
	Ordre IV : NEELIPLEONA		
	14. Neelidae		
36	<i>Megalothorax minimus</i>	E	W
	Total : 36 espèces		

Les résultats consignés dans le tableau indiquent qu'un total de 37 espèces et morpho-espèces récoltées dans la wilaya de Mila. Elles appartiennent à 11 familles et 28 genres réparties sur les quatre ordres de collemboles.

L'ordre des Poduromorpha est le mieux représenté avec 57 % des espèces récoltées, les Entomobryomorpha représentent 32 % les Symphypleona et les Neelipleona avec 08 % et 03 % respectivement (Fig. 23).

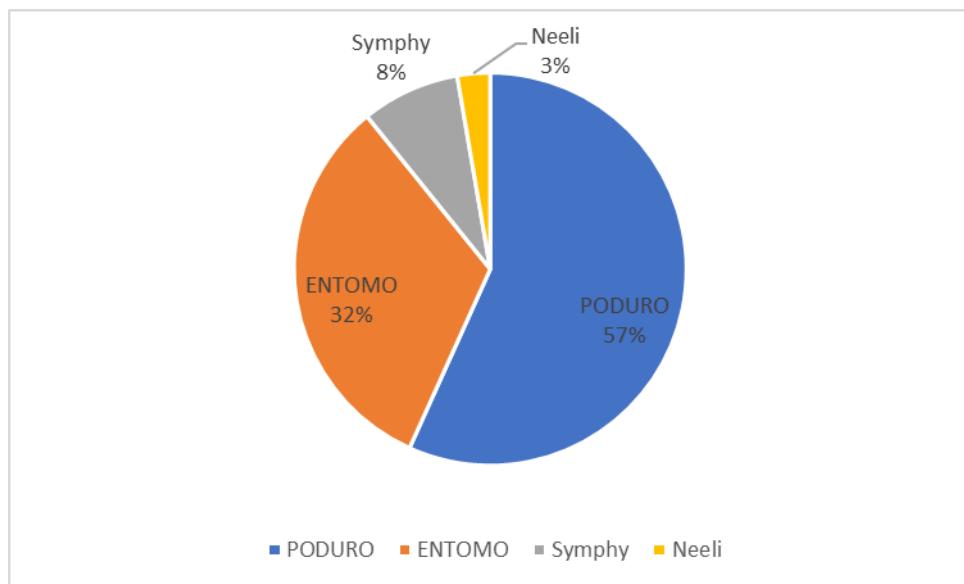


Figure 23. Proportions en pourcentage (%) des différents ordres de collemboles récoltés.

La figure 24 illustre les fréquences absolues des familles, genres et espèces récoltés pour chaque ordre. L'ordre des Poduromorpha est représenté par 05 familles, 14 genres et 21 espèces, les Entomobryomorpha sont représentés par 02 familles, 10 genres et 12 espèces, les Symphypleona par 03 familles, 03 genres et 03 espèces et les Neelipleona par une seule famille, 01 genres et 01 espèces.

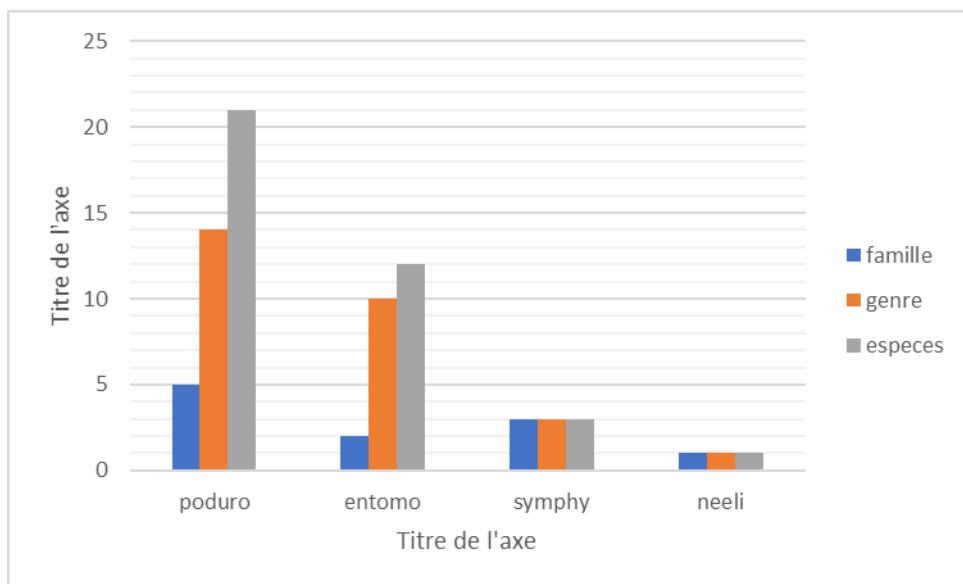


Figure 24. Fréquences absolues des familles, genres et espèces récoltées.

La famille des Neanuridae est la mieux représentée avec 10 espèces réparties sur 03 sous-familles et 06 genres, soit 27% du total d'espèces identifiées. Elle est suivie par la famille des Entomobryidae qui cumule 08 espèces appartenant à 06 genres, soit 22%. La famille des Hypogastruridae occupe la 3ème position avec 05 espèces réparties sur 03 genres, soit 13%. La famille Isotomidae avec 04 espèces et 04 genres soit 11%. La famille des Onychiuridae avec 03 espèces appartenant à 03 genres représente 08%. La famille des Brachystomellidae avec 02 espèces appartenant à 01 genre représente 05%. Le reste des familles sont représentées par une seule espèce chacune, soit 03%.

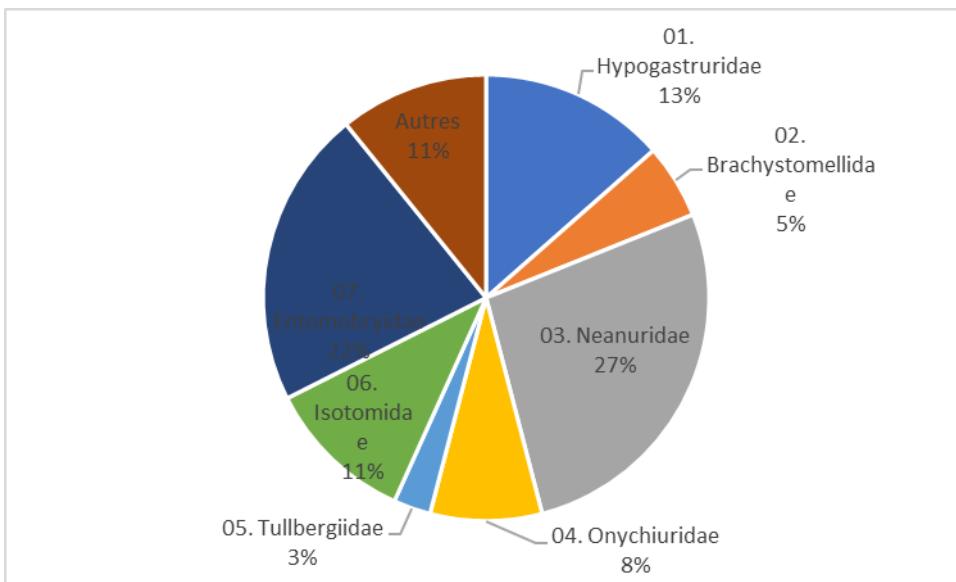


Figure 25. Répartition des espèces récoltées sur les différentes familles.

Nous représentons dans la figure 27 les proportions de l'appartenance biogéographique des espèces de collemboles récoltées dans les différentes localités. 30% des espèces récoltées sont à large distribution, 24% sont euro-méditerranéennes, 3% sont endémiques (une seule espèce), 19% sont cosmopolites. Les formes non identifiées jusqu'au niveau de l'espèce sont au nombre de 09 et représentent 24%.

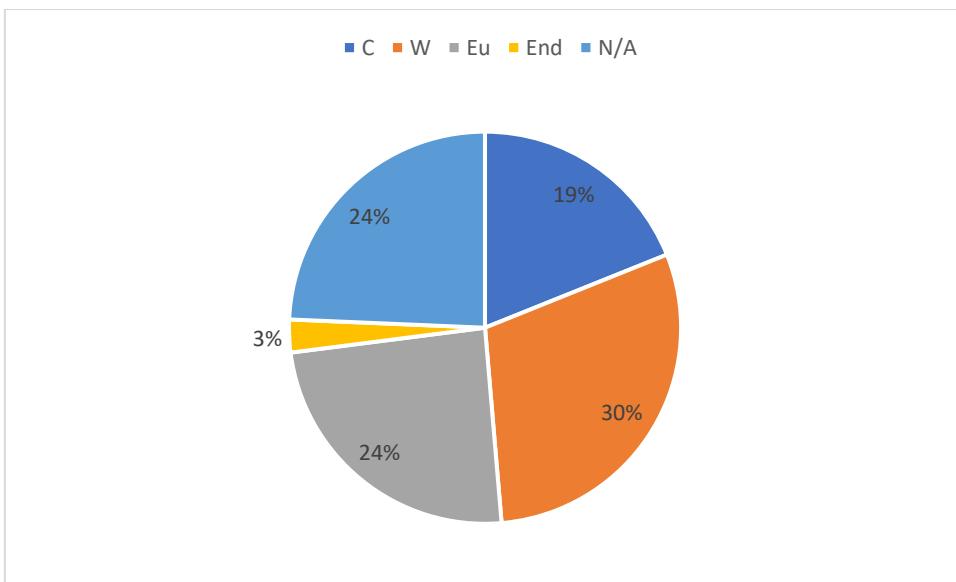


Figure 27. Proportions de l'appartenance biogéographique des espèces récoltées

La figure 28 illustre la proportion en pourcentage des espèces récoltées en fonction de leur adaptation morpho-écologique. L'hémiédaphon est le mieux représenté avec 17 espèces (46%) suivi par les espèces appartenant à l'euédaphon avec 09 espèces (24%). L'atmobios est représenté par 04 espèces, soit 11%. Les formes non identifiées jusqu'au niveau de l'espèce sont au nombre de 07, soit 19%.

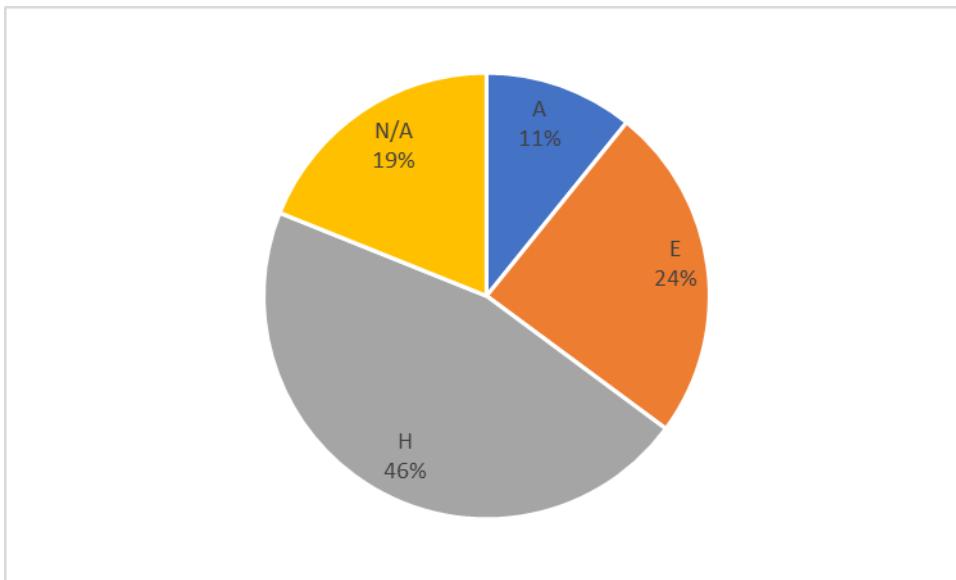


Figure 28. Proportions du type d'adaptation morphologique des espèces récoltées.

Conclusion

La présente synthèse met en évidence la richesse encore sous-explorée de la faune des collemboles dans la wilaya de Mila. La diversité des espèces identifiées témoigne de la complexité écologique des habitats de cette région, influencée par sa géomorphologie, son climat et sa végétation variée. Cependant, la forte proportion de formes non déterminées jusqu'au niveau spécifique reflète le besoin de renforcer les efforts de taxonomie et d'inventaire faunistique.

Ces résultats appellent à des recherches complémentaires, notamment à travers des campagnes d'échantillonnage plus ciblées, des identifications par des spécialistes en taxonomie, et l'intégration de méthodes moléculaires. Une meilleure connaissance de la biodiversité édaphique contribuera à la valorisation des sols algériens et à la conservation des microfaunes locales, essentielles au bon fonctionnement des écosystèmes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abderrezak et Frites, (2019).** Contribution à l'étude des Collemboles (Hexapoda ; Collembola) dans trois localités du Nord-est Algérien. Mémoire de master. Univ. Frères Mentouri Constantine. 60p.
- Abed A., Boukeloua H., (2019).** Contribution à l'étude des Collemboles (Hexapoda ; Collembola) dans deux localités de la wilaya de Constantine (Chettabah et Djebel El Ouahch). Mémoire de Master. Univ. Mentouri, Constantine. 79p.
- Absolon K., (1913).** Über eine neue subterrane Collembole (Insecta Apterygota) : *Acherontiella onychiuriformis* N.G.N.SP. Aus den hohlen Algiers. *Zoologie expérimentale et générale* 5 : p.1-5.
- Ait Mouloud S., Lek-Ang S. et Deharveng L., (2007).** Fine scale changes in biodiversity in a soil - water ecotone: Collembola in two peat-bogs of Kabylia (Algeria). *Vie et milieu.* 57 (3) : p.149-157.
- Amri, C. (2006).** Les Collemboles de quelques habitats et biotopes de l'est algérien : Inventaire et dynamique saisonnière. Mémoire Magister de l'Université Mentouri Constantine, Algérie, 108p.
- Arbea J.I. et Jordana R., (1997).** Familia Neanuridae, in Ramos M. A. et al. (eds), Collembola, Poduromorpha. Fauna Iberica, vol. 8. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, p.272-477.
- Arbea J.I., Brahim-Bounab H. and Hamra Kroua S., (2013).** Collembola Poduromorpha from Guelma Province (Northeastern Algeria), with description of a new Superodontella species (Collembola: Odontellidae). *Zootaxa*, 3709 (2) : p.177–184.
- Arbea J.I., Brahim-Bounab H. et Hamra Kroua S., (2013),** Collembola Poduromorpha from Guelma Province (Northeastern Algeria), with description of a new *Superodontella* species (Collembola: Odontellidae). *Zootaxa.* 3709 (2) : p.177–184.
- Aroui L. et Tebib L., (2023).** Contribution à la connaissance de la biodiversité des entomobryomorphes du massif de Sidi Rgheiss, wilaya d'Oum El Bouaghi. Mémoire de master. Univ. Mentouri Constantine. 58p.

Auclerc A., (2017). Les Myriapodes diplopodes. (En ligne). Ephytia, Inrae. Date de consultation : 12/05/2024. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/25153/jardibiodiv-Myriapodes-diplopodes>

Bachelier G., (1978). La faune des sols, son écologie et son action. *Initiation-Documentation-Techniques*, 83 O.R.O.S.T.O.M. 225p.

Baquero E., Hamra Kroua S. et Jordana R., (2009). New species of *Entomobrya* from northern Algeria (Collembola: Entomobryidae). *Entomological news*. 120 (1): p.65-75.

Bellinger, P.F., Christiansen, K.A. et Janssens, F. (1996-2024). Checklist of the Collembola of the World. (En ligne). Date de consultation : 05/03/2024. <http://www.collembola.org>

Bellini B. C., Weiner W. M. et Winck B. R., (2023). Systematics, ecology and taxonomy of Collembola: Introduction to the special issue. *Diversity*, 15(2). 221p.

Bendjaballah M., (2019). Biodiversité des microarthropodes litériques (Hexapoda ; Collembola) de quelques localités du Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat, Université Mentouri Constantine. 241p.

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.

Benjaballah M., (2012). Contribution à la connaissance de la faune des Diplopodes (Diplopoda ; Arthropoda) de quelques localités du nord Est Algérien. Mémoire de Master. BECPI. Univ. Frères Mentouri Constantine. 60p.

Betsch J.-M. et Vannier G., (1977). Caractérisation des deux phases juvéniles d'*Allacma fusca* (Collembola, Symphyleona) par leur morphologie et leur écophysiologie. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 15: p.124-141.

Bonato L., Chagas Junior A., Edgecombe G.D., Lewis J.G.E., Minelli A., Pereira L.A., Shelley R.M., Stoev P. et Zapparoli M. (2016). ChiloBase 2.0 - A World Catalogue of Centipedes (Chilopoda). (En ligne). Date de consultation : 24/04/2024. <https://chilobase.biologia.unipd.it/>

Boukachabia A., (2016). Contribution à l'étude bioécologique, biogéographique et physiologique des Myriapodes dans l'Est Algérien. Impact d'un régulateur de croissance le RH-0345 sur le cycle reproducteur de *Scolopendra morsitans* (Myriapoda, Chilopoda). Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba. 152p.

Boulemaiz A. et Chelbi A., (2020). Contribution à la mise à jour de l'inventaire des chilopodes (Arthropoda, Myriapoda) d'Algérie. Mémoire de master. Univ Frères Mentouri Constantine. 86p.

Bounar. R, (2014). Etude des potentialités biologiques, cartographie et aménagement de la chaîne des Babors dans la démarche du développement durable. Thèse de doctorat. Faculté Ferhat Abbas. Setif-1. 118p.

Bounechada M. et Fenni, M., (2012). Les Alticinae (Coleoptera, Chrysomelidae) de la région de Sétif: Un moyen de lutte biologique contre les mauvaises herbes des cultures. *Agriculture*, 3, p.37-41.

Bousbiat A. M. et Ghadab R., (2020). Contribution à la mise à jour de l'inventaire des Diplopodes (Arthropoda ; Myriapoda) d'Algérie. Mémoire de master. Univ. Frères Mentouri Constantine. 55p.

Brahim-Bounab H., (2016). Les collemboles (Hexapoda : Collembola) de quelques localités du Nord-est algérien Taxonomie et Appartenance Biogéographique. Thèse de Doctorat. Université Mentouri Constantine. 195p.

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.

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.

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.

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.

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.

Bretfeld G., (1997). Redescription and new descriptions of *Sphaeridia* species (Insecta, Collembola) from Algeria, Gambia, Peru, and Spain. *Abh. Ber. Naturkundemus*, Gorlitz 69, 3: p.1-14.

Bretfeld G., (2001). Symphyleona from Northwest and West Africa, collected in the years, 1979-1986, by Johans Mertens, Gent. *Senckenbergiana biologica*, 80, p.87-131.

Bretfeld, G. (1963). Zur Anatomie und Embryologie der Rumpfmuskulatur und die abdominalen Anhänge der Collembolen. *Zoologische Jahrbücher für Anatomie*, **80**, 309-84.

Bretfeld, G. (1999). Synopses on Palaearctic Collembola. Volume 2: Symphyleona.

Brewer M. S., Sierwald P., Bond J. E., (2012). Millipede taxonomy after 250 years: classification and taxonomic practices in a mega-diverse yet understudied arthropod group, *PloS one* 7(5): e37240.

Brölemann H.W., (1930). *Eléments d'une faune des myriapodes de France. Chilopodes. Faune de France*, Le chevalier (ed), Paris : 405p.

Brölemann H.W., (1935). Myriapodes Diplopodes (chilognathes I). *Faune de France*, 29 : p.1-369.

Bueno-Villegas J., Sierwald P., et Bond JE. (2004). Diplopoda, p.569–599 In Llorente-Bousquets JE, Morrone JJ, Yáñez-Ordóñez O, Vargas-Fernández I [eds.], *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*, Volume IV. UNAM-CONABIO, Mexico.

Cassagnau P. et Juberthie C., (1970). Structures nerveuses, neurosécrétion et organes endocrines chez les Collemboles. Neurosecrétion dans la chaîne nerveuse d'un

Entomobryomorphe, *Orchesella Kervillei* Denis. Endocrinologie., C. R. Acad. Sc. Paris, t.270, (29 juin 1970), Série D, p.3268-3271.

Cassagnau P., (1961). Ecologie du sol dans les Pyrénées centrales Les biocénoses des collemboles. Paris : Hermann. 235p.

Cassagnau P., (1963). Les Collemboles d'Afrique du Nord avec une étude de quelques espèces du Nord-Constantinois. *Bul. Soc. Hist Nat. Toulouse.* 95 (1-2), p.197-206.

Cassagnau, P. (1990). Des hexapodes vieux de 400 millions d'années : les collemboles. I. biologie et évolution, II. Biogéographie et écologie. *L'Année biologique*, 29(1), p.1-37.

Cassagnau, P. (1993) Les Collemboles Neanurinae de l'Himalaya.III. Genre *Nepalimeria*. *Revue Suisse de Zoologie*, 100, p.91-112.

Christiansen K., (1964). Bionomics of collembola. *Annual review of entomology*, 9(1), p.147-178.

Cipola N. G., Arbea J., Baquero E., Jordana R., Morais J. W. et Bellini B. C., (2018). The survey of Seira Lubbock, 1870 (Collembola, Entomobryidae, Seirinae) from Iberian Peninsula and Canary Islands, including three new species. *Zootaxa*, 4458 (1), p.1-66.

Cortet J., Gomot-de Vaufleury A., Poinsot-Balaguer N., Gomot L., Texier C., et Cluzeau D., (1999). The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutants effects. *European Journal of Soil Biology*, 35, p.115-134.

Deharveng L., (2004). Recent advances in Collembola systematics 6th International Seminar on Apterygota, Siena, Italy, 2002. *Pedobiologia* 48. p.415-433.

Deharveng L., Ait Mouloud S. et Bedos A., (2015). A new species of *Deutonura* (Collembola : Neanuridae : Neanurinae) from Algeria, with revised diagnosis of the genus and key to western Palaearctic species. *Zootaxa*, 4000 (4), p.464 - 472.

Deharveng L., et Hamra-Kroua S., (2004). Une nouvelle espèce de *Friesea* Dalla Torre 1895, du massif de l'Edough, Nord-Constantinois, Algérie (Collembola, Neanuridae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 109(2) : p.141-143.

Deharveng L., Hamra Kroua S. et Bedos A., (2007), *Edoughnura Rara* N.Gen., N.Sp., An enigmatic genus of Neanurinae Collembola from the Edough massif (Algeria). *Zootaxa*, 1652: p.57-61.

Deharveng L., Zoughailech A., Hamra-Kroua S. et Porco D., (2015). A new species of *Deutonura* (Collembola: Neanuridae: Neanurinae) from north-eastern Algeria, and characterisation of two intraspecific lineages by their barcodes. *Zootaxa*. 3920 (2): p.281–290.

Demange J. M., Boulard, M., et Rebière J., (1981). *Les Mille-Pattes, Myriapodes : généralités, morphologie, écologie, éthologie, détermination des espèces de France*. Boubée.

Denis J-R., (1924). Sur les Collemboles du muséum de Paris (1ere partie). *Annales de la Société Entomologique de France*. 93 : p.211-260.

Denis J-R., (1925a). Sur les Collemboles du muséum de Paris (2eme partie). *Annales de la Société Entomologique de France*. p.261-290.

Denis J-R., (1925b). Sur les Collemboles d'Afrique du Nord (2eme note). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord. 16 : 254-256.

Denis J-R., (1935). Sur les Collemboles de l'Afrique du Nord (3eme note). *Bulletin de la Société Entomologique de France*. 16 : p.230-233.

Denis J-R., (1937). Sur les Collemboles de l'Afrique du Nord (4eme note). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Afrique du Nord*. 28 : p.85-87.

Duplan L., (1952). La région de Bougie. *Publi. Du XIX Congr. Géol. Inter. Mono. Région. 1er série, Algérie* 17 : 40p.

Edgecombe G. D. et Giribet G., (2007). Evolutionary biology of centipedes (Myriapoda: Chilopoda). *Annu. Rev. Entomol.*, 52, p.151-170.

Eisenbeis, G. (1978). Die Thorakal und Abdominal-Muskulatur von Arten der Springchwanz-Gattung *Tomocerus* (Collembola: Tomoceridae). *Entomologica Germanica*, 4, p.55-83.

Fjellberg A., (1998). The Collembola of Fennoscandia and Denmark, Part I: Poduromorpha, *Fauna Entomologica Scandinavica*, Volume 35, 1998, p.1-184.

Fjellberg A., (2007). The Collembola of Fennoscandia and Denmark. Part II: Entomobryomorpha and Symphyleona. *Fauna Entomologica Scandinavica*, 42, p.1-216.

Geoffroy J. J., (1993). Clés d'identification des ordres de diplopodes fréquents dans le sol (Myriapoda). *Diplopoda-Millepattia*, 2, p.4-28.

Gharzouli. R, (2007). Flore et végétation de la Kabylie des Babors. Etude floristique et phytosociologique des groupements forestiers et post forestiers des djebels Takoucht, Adrar ou-Melal, Tababort et Babor. Thèse de doctorat, université El-Bez. Sétif.

Giribet G., Edgecombe G. D. et Wheeler W. C. (2001). Arthropod phylogeny based on eight molecular loci and morphology. *Nature*, 413(6852), p.157-161.

Grassé P.P., et Doumenc, D., (2000). Zoologie des invertébrés, Masson science, édition Dunode : p.214-220.

Grimaldi D. et Engel M.S, (2005). Evolution of the Insects. (1ère ed). New York, NY, USA: Cambridge University Press. p.1-755.

Guillot N., (2023). Les pattes du mille-pattes grandissent de manière inattendue. (En ligne). Date de consultation : 10/05/2024. <https://www.especes-menacees.fr/actualites/les-pattes-du-mille-pattes-grandissent-de-maniere-inattendue/>

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*, 31 (1), p.33-43.

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.

Hamra Kroua S., Allatou D., (2003). Les Collemboles du Nord-est Constantinois. *Sciences & Technologie*, 20 : p.21-24.

Hamra Kroua S., Jordana R. et Deharveng L., (2009). A new *Friesea* of the mirabilis group from Algeria (Collembola: Neanuridae, Friesinae). *Zootaxa*, 2074 : p.65-68.

Hamra-Kroua S., et Deharveng L., (2010). Les Neanuridae (Collembola, Arthropoda) du massif forestier de l'Edough (Annaba, Algérie). In Actes de la VI^{ème} conférence internationale Francophone d'Entomologie. Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie, Rabat (Vol. 47, No. 1, pp. 61-65).

Hamra-Kroua S., (2005). Les collemboles (Arthropoda, Hexapoda) du nord-est algérien : taxonomie, biogéographie et écologie. Thèse de doctorat. Univ. Mentouri, Constantine. 227 p.

Handschin E., (1926). Collembolen aus Algerien. *Zeitschrift fur wissenschaftliche insektenbiologie*. 3: p.117-126.

Handschin E., (1928). Über Die Von H. Gauthier in den sumpfen Algeriens gessamelten Collembolen. *Archiv fur naturgeschichte*, 92. p.1-18.

Hopkin S., (1997). *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. New York: Oxford University Press: 330p.

Humbert W., (1979). The Midgut of Tomocerus minor Lubbock (Insecta, Collembola): Ultrastructure, Cytochemistry, Ageing and Renewal During a Moulting Cycle., Cell Tissue Res., 196, 1979, p.39-57.

Iorio E. et Ythier E., (2007). Quelques observations concernant la reproduction d'Ethmostigmus trigonopodus (Leach, 1817) (Chilopoda, Scolopendromorpha, Scolpendridae, Otostigminae). *Bulletin d'Arthropoda* 33 : p.3-12.

Iorio E., (2010). Les Lithobies et genres voisins de France (Chilopoda, Lithobiomorpha). Révision de plusieurs espèces méconnues et nombreux apports inédits à la connaissance du genre *Lithobius* Leach, 1814. Avec une clé des familles, des genres et de toutes les espèces de l'ordre. *Supplément à R.A.R.E.*, 19 : p.1-104.

Iorio E., et Geoffroy J.J., (2006). Etude des Scolopendromorphes français du genre *Cryptops* (Leach., 1814) Première partie : *Cryptops parisi* (Brolemann., 1920) et *C. parisi var. cristata* Ribaut, 1925 (Chilopoda, Scolopendromorpha, Cryptopidae). *Bulletin de Phylie* : 18. p.28-37.

Iorio E., Labroche A. et Jacquemin G., (2022). *Les chilopodes (Chilopoda) de la moitié nord de la France - version 2.* 90p.

Jacquemart S., (1974). Résultats de la mission anthropologique au Niger, collemboles nouveaux du Sahara. *Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg.* 50(06): p.1-55.

Juberthie C. et Cassagnau P., (1971). L'évolution du système neurosécréteur chez les Insectes ; l'importance des Collemboles et des autres Aptérygotes., Revue d'Écologie et de Biologie du Sol, Tome VIII, Fascicule 1, 1971 janvier, p.59-80.

Kammenga J.E., Dallinger R., Donker M.H., Kohler H.R., Simonsen V., Triebeskorn R. et Weeks J.M., (2000). Biomarkers in terrestrial invertebrates for ecotoxicological soil risk assessment. In Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol 164.G.W. Ware (Eds.). 175 Fifth Ave/New York/NY 10010/USA, Springer- Verlag. p.93-147.

Lachi N., (2023). Biodiversité des Collemboles (Arthropoda ; Hexapoda) de divers habitats naturels du Constantinois. Thèse de doctorat. Univ. Fr. Mentouri Constantine. 186p.

Lachi N., Bendjaballah M., Brahim-Bounab H., et Hamra-Kroua S., (2023). Premières données sur la faune collembologique (Hexapoda : Collembola) de la Wilaya de Jijel au Nord-est de l'Algérie. *Entomologie Faunistique-Faunistic Entomology*. 2023-76. p.9-31.

Lauga-Reyrel F., (1984). Aspect histophysiologique de l'écomorphose : III. Étude ultrastructurale des modifications cuticulaires d'*Hypogastrura tullbergi* (Collemboles). *Annales des Sciences naturelles, Zoologie*, 3, p.77-100

Lavelle P., Martin A., Blanchart E., Gilot C., Melendez G. et Pashanasi B., (1991). Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la macrofaune du sol. *Savanes d'Afrique, terres fertiles* : 12 : p.371-400.

Lawrence, P. N. (1999). From whence and whither the Collembola?. *Crustaceana-international journal of crustacean research*, 72(9), p.1110-1122.

Lewis J. G. E., (1981). *The biology of centipedes*. Cambridge University Press, Cambridge.

Lewis J. G. E., (2000). Centipede antennal characters in taxonomy with particular reference to scolopendromorphs and antennal development in Pleurostigmophora (Myriapoda, Chilopoda). *Fragmenta Faunistica*, Warszawa 43 Supplement: p.87-96.

Lucas H., (1846). Aperçu des espèces nouvelles d'insectes qui se trouvent dans nos possessions françaises du Nord de l'Afrique. *Revue de Zoologie*. 9 : p.252-256.

Maki T., (1938). Studies on the thoracic musculature of insects. Memoirs of the Faculty of Science and Agriculture, Taihoku Imperial University, 24, p.1-343.

Manton, S.M. (1977). The arthropods, Habits, functional morphology and evolution. Clarendon Press, Oxford.

Mari-Mutt, J. A. (1980). A classification of the Orchesellinae with a key to the tribes, genera and subgenera (Collembola: Entomobryidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 73(4), p.455-459.

Massoud Z. et Barra J. A. (1980). Interpretation ultrastructurale de la microsculpture epicuticulaire des Collemboles Entomobryomorphes ((Apterygotes). *Revue d'ecologie et de biologie du sol*. 17. p.251-60.

Massoud Z., et Ellis W. N., (1977). Proposition pour une classification et une nomenclature cohérente des phanères des Collemboles européens. *Revue d'Ecologie et de biologie du Sol*, 14, p.163-79.

Mathys A. et VandenSpiegel D., (2021). Diplopodes et autres myriapodes de Mayotte. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgium.

Minelli A. (Ed.), (2011). *The Myriapoda*. Leiden : Brill. 530p.

Minelli A., Foddai D., Pereira L. A. et Lewis J. G. E., (2000). The evolution of segmentation of centipede trunk and appendages. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 38: p.103-117.

Murphy D.H., (1958). *Isotoma vaillanti* sp. n., a new species of Collembola from Algeria. *Journal of Natural History Series* 13. 1(8) : p.524-526.

Palissa A., in Schwoerbel J. et Zwick P., (2000). Süßwasserfauna von Mitteleuropa, Band 10: Insecta. Collembola., Spektrum, Akad. Verlag, p.1-166.

Pass G., (1991). Antennal circulatory organs in Onychophora, Myriapoda and Hexapoda : functional morphology and evolutionary implications. *Zoomorphology*, 110, p.145-64.

Porco D., Potapov M., Bedos A., Busmachi G., Weiner W.M., Hamra Kroua S. et Deharveng L., (2012). Cryptic Diversity in the Ubiquist Species *Parisotoma notabilis* (Collembola, Isotomidae): A Long-Used Chimeric Species? *PLOS ONE* 7(9), e46056. p.1-8.

Redjel k., (2011). Contribution à la connaissance de la faune des Geophilomorpha et Scutigeromorpha (Chilopoda ; Arthropoda) de quelques localités du nord-est algérien. Mémoire de master. Univ Frères Mentouri Constantine. 59p.

Rosenberg J., et Müller, C. (2009). Morphology in Chilopoda a survey. *Soil Organisms*, 81(3), p.1-55.

Rusek J., (1998). Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity & Conservation*, 7, p.1207-1219.

Shear W. A., et Bonamo P. M., (1988). Devonobiomorpha, a new order of centipedes (Chilopoda) from the Middle Devonian of Gilboa, New York State, USA, and the phylogeny of centipede orders. American Museum of Natural History, 2927.

Sierwald P., et Bond J. E., (2007). Current status of the myriapod class diplopoda (Millipedes): Taxonomic diversity and phylogeny. *Annu Rev Entomol* : 52. p.401– 420.

Stomp N. et Thibaud J.M., (1974). Description d'une espèce nouvelle de Collemboles (insectes) cavernicoles *Typhlogastrura delhezi* n. sp.. *Annales de Spéléologie*. 29 : p.187-190.

Stomp N., (1974). Collemboles cavernicoles d'Afrique du Nord.I. *Insecta. Ann. Speleo* : 29, p.109-120.

Stomp N., (1983). Collemboles cavernicoles d'Afrique du Nord. II (Insecta). *Revue suisse de Zoologie*, 90 (1) : p.191-198.

Talhi H. Z., (2011). Contribution à la connaissance de la faune des Lithobiomorpha et Scolopendromorpha (Chilopoda ; Arthropoda) de quelques localités du Nord-Est Algérien. Mémoire de master. Univ Frères Mentouri Constantine. 62p.

Thibaud J. M., Schulz H. J. et Da Gama Assalino M. M., (2004). Synopses on Palaearctic Collembola, Volume 4. Hypogastruridae. *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz*, 75, p.1-287.

Thibaud J.M. et D'Haese C.A., (2010). Le petit Collembole illustré. *Arvernensis*. N° 51-52 : p.1-56.

Thibaud J.M. et Massoud Z., (1973). Etude de la régression des cornéules chez les Insectes Collemboles. *Annales de Spéléologie*. CNRS 28 : p.159-166.

Thibaud J.M. et Massoud Z, (1980) - Etude des Collemboles de certains milieux du Maroc et considérations biogéographiques sur la faune du Maghreb. *Revue Suisse de Zoologie*, 87, p.513-48.

Thibaud J.M., (2013). Essai sur l'état des connaissances de la diversité des collemboles de l'Empire Africano-Malgache. *Russian Entomol. J*, 22 (4), p.233-248.

Tuzet O., et Manier J. F., (1953). Les spermatozoïdes de quelques Myriapodes Chilopodes et leur transformation dans le receptacle seminal de la femelle. *Annales des sciences naturelles, zoologie* (11) 15: p.221-230.

Uemiya H. et Ando H. (1987). Embryogenesis of a springtail, Tomocerus ishibashii (Collembola, Tomoceridae): external morphology. *Journal of Morphology*, 191(1), p.37-48.

Verhoef H. A., Witteveen J., Woude H. A. & Joosse E. N. G., (1983). Morphology and function of the ventral groove of Collembola. *Pedobiologia*, p.25 - 339.

Zoughailech A., (2017). Biodiversité comparée et endémisme des Collemboles (Hexapoda : Collembola) de deux massifs algériens dans un même contexte bioclimatique. Thèse de Doctorat. Université Frères Mentouri, Constantine. 294p.

Zoughailech A., Hamra Kroua S. et Deharveng L., (2016) - New species of Pseudachorutes (Collembola : Neanuridae) from Northeastern Algeria. *Zootaxa*, 4158 (4): p.557-568.

Année universitaire : 2024-2025	Présenté par : CHEROUANA Oussama
Biodiversité des Collemboles dans quelques localités de la wilaya de Mila : état des connaissances actuelles	
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie et Contrôle des Populations d'Insectes	
Résumé	
<p>Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la mise à jour des connaissances sur la biodiversité des collemboles (Hexapoda : Collembola) dans le Nord-Est algérien, en se concentrant sur plusieurs localités de la wilaya de Mila. Les collemboles, arthropodes du sol d'une grande ancienneté évolutive, jouent un rôle écologique majeur dans les écosystèmes terrestres, notamment dans le cycle de la matière organique.</p> <p>L'étude repose sur une synthèse bibliographique des travaux réalisés sur cette région. Les méthodes d'inventaire utilisées incluent l'échantillonnage de la litière, l'extraction par la méthode de Berlese-Tullgren, ainsi que l'identification morphologique jusqu'au niveau spécifique quand cela est possible.</p> <p>Les résultats révèlent un total de 36 espèces et morpho-espèces appartenant à 11 familles et 28 genres, réparties sur les quatre ordres classiques des collemboles : Poduromorpha (57 % des espèces), Entomobryomorpha (32 %), Symphyleona (8 %) et Neelipleona (3 %). La famille la mieux représentée est celle des Neanuridae (27 %), suivie des Entomobryidae et des Hypogastruridae.</p> <p>Du point de vue biogéographique, 30 % des espèces sont largement distribuées, 24 % sont euro-méditerranéennes, 19 % sont cosmopolites, et une seule espèce est endémique (3 %). Sur le plan morpho-écologique, les hémiédaphons dominent (46 %), suivis par les euédaphons (24 %) et les atmobiotes (11 %). Enfin, 24 % des formes restent non identifiées au niveau spécifique.</p>	
<p>Mots-clefs : Faune édaphique, Synthèse bibliographique, Biodiversité, Mila.</p> <p>Laboratoires de recherche : laboratoire de Biosystématique et Ecologie des Arthropodes (UC1FM).</p> <p>Président du jury : Dr. SAOUACHE Yasmina (MCA - UC3 Salah Boubnider).</p> <p>Encadrant : Dr. BENDJABALLAH Mohamed (MCB - UC1 Frères Mentouri).</p> <p>Examinateur(s) : Pr. BENKENANA Naima (Prof. - UC1 Frères Mentouri).</p>	