Les Collemboles : acteurs de la vie du sol

Auteur :
SALMON Sandrine, Ingénieure au Muséum National d'Histoire Naturelle, unité Mécanismes Adaptatifs et Evolution (UMR 7179 MECADEV), Paris.

05-11-2017

Une diversité insoupçonnée d'invertébrés grouille sous nos pieds lorsque nous foulons le sol d'une forêt, d'une prairie ou d'un jardin. Des communautés invisibles s'activent dans le sol comme dans un monde parallèle, à la différence que ce monde est bien réel et bien connecté à la surface. Il est en effet indispensable aux végétaux qui se développent au-dessus. Parmi les invertébrés qui vivent dans le sol, les Collemboles occupent une place importante en raison de leur abondance et donc de leur capacité à impacter le fonctionnement d'un écosystème tout entier. Ils présentent une grande diversité de formes et vivent dans des habitats très variés. Leur rôle majeur réside dans la régulation des microorganismes responsables de la décomposition de la matière organique et du recyclage des nutriments qui seront utilisés par les plantes pour leur développement. Malheureusement, de nombreuses activités humaines peuvent altérer les communautés de Collemboles. Il s'agit par exemple de la pollution du sol par des métaux, des pesticides, ... mais aussi des pratiques humaines comme l'introduction de végétaux exotiques ou l'utilisation de déchets pour fertiliser les sols.

1. Les invertébrés du sol, des travailleurs de l'ombre

	Invertébrés	Taille	Abondance	Régime alimentaire
Macrofaune	Lombricidés Diplopodes Chilopodes Aranéides Isopodes Gastéropodes Larves de Coléoptères Larves de Diptères Autres insectes	L : 4 à 80 mm ⌀ : 2 à 20 mm	100 à 1000 ind./m²	Carnivorie Saprophagie Microphagie moins répandue
Mésofaune	Acariens Collemboles Enchytréides Protoures	0,2 à 4 mm	10 000 à 100 000 ind./m²	Microphagie, saprophagie, ou carnivorie
Microfaune	Protozoaires Rotifères Nématodes Tardigrades	4 à 200 µm	de l'ordre de 1 000 000 ind./m²	Microphagie dominante

Tableau 1 . Invertébrés, tailles, abondances (dans une prairie tempérée) et régimes alimentaires dominants dans chacune des trois classes de taille de faune du sol. Ind. : individus ; L : longueur ; ø : diamètre. Saprophagie : régime alimentaire constitué de matière organique morte d'origine végétale ou animale. Carnivorie : régime alimentaire constitué d'animaux vivants. Microphagie : régime alimentaire constitué de bactéries, champignons et/ou d'algues unicellulaires. A partir de Gobat et al. 1

Une diversité incroyable existe dans le sol, sous nos pieds sans même que nous la soupçonnions. En effet, la majorité des grands embranchements zoologiques sont représentés dans la faune du sol. On y trouve ainsi une grande diversité de tailles et de formes, allant des protozoaires, les plus petits organismes animaux, aux lombrics qui comptent parmi les plus gros individus (Tableau 1). Les invertébrés du sol sont classés en trois catégories selon leur taille et leur rôle : la microfaune (4 à 200 µm de longueur), la mésofaune (0,2 à 4 mm de longueur) et la macrofaune (4 à 80 mm de longueur) (Tableau 1).

Du point de vue des caractéristiques écologiques générales, les invertébrés de la macrofaune et de la mésofaune ont une **vie terrestre**. De petits vers blancs, cousins des vers de terre, les enchytréides, ont plutôt une **vie aquatique** -comme les invertébrés de la microfaune- car ils vivent dans l'eau retenue dans les pores du sol. Ces invertébrés ont développé des stratégies de résistance au dessèchement en période sèche tels que la vie ralentie ou l'enkystement.

Le rôle majeur de la faune du sol est de contribuer à la **décomposition** et à la **minéralisation de la matière organique**, assurant ainsi la **circulation des nutriments** (azote, phosphore, potassium, etc…) et leur disponibilité pour le développement des plantes à la surface. La **structuration du sol** est une autre action fondamentale exercée par les invertébrés du sol.

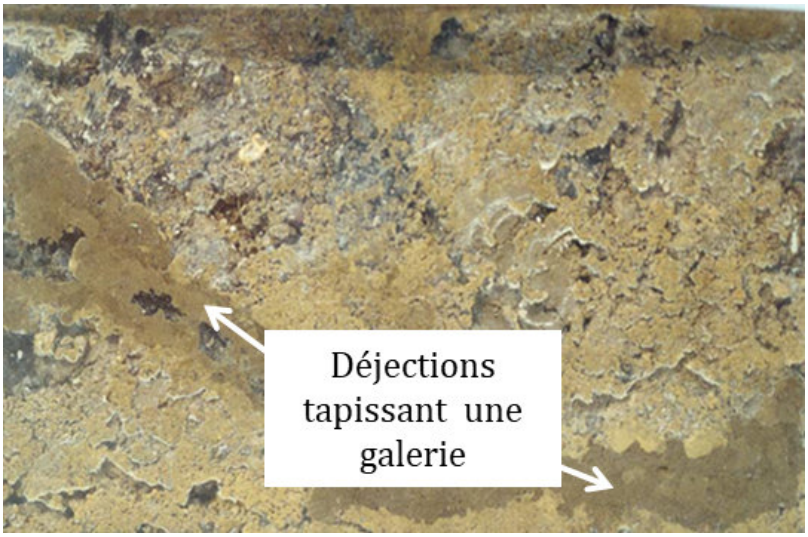

Figure 1. Déjections tapissant une galerie du lombric anécique Aporrectodea giardi dans un dispositif expérimental. Ces déjections sont constituées d'un mélange intime et stable de matière organique et de matière minérale. Cette photo indique aussi l'enfouissement de la matière organique car les déjections sont de couleur plus sombre, donc plus riches en matière organique que l'horizon dans lequel elles se trouvent. [Source : photo © Sandrine Salmon]

Certains vers de terre vivent en profondeur mais remontent à la surface du sol pour se nourrir de litière (Lombricidés appartenant à la catégorie des anéciques). Dans une moindre mesure, certains macroarthropodes (termites, diplopodes) enfouissent la matière organique en profondeur (Figure 1). Ils contribuent aussi à la formation d'agrégats stables en mélangeant la matière organique, fragmentée et plus ou moins décomposée, à la matière minérale dans leur tube digestif. Ces espèces de vers de terre créent également un immense réseau de galeries, pouvant augmenter la macroporosité des sols de 20 à 100%.

L'ensemble de ces activités facilitent la circulation de l'eau et de l'air dans le sol. Elles améliorent ainsi le régime hydrique et l'aération du sol. Elles stabilisent également sa structure, ce qui est généralement bénéfique aux végétaux.

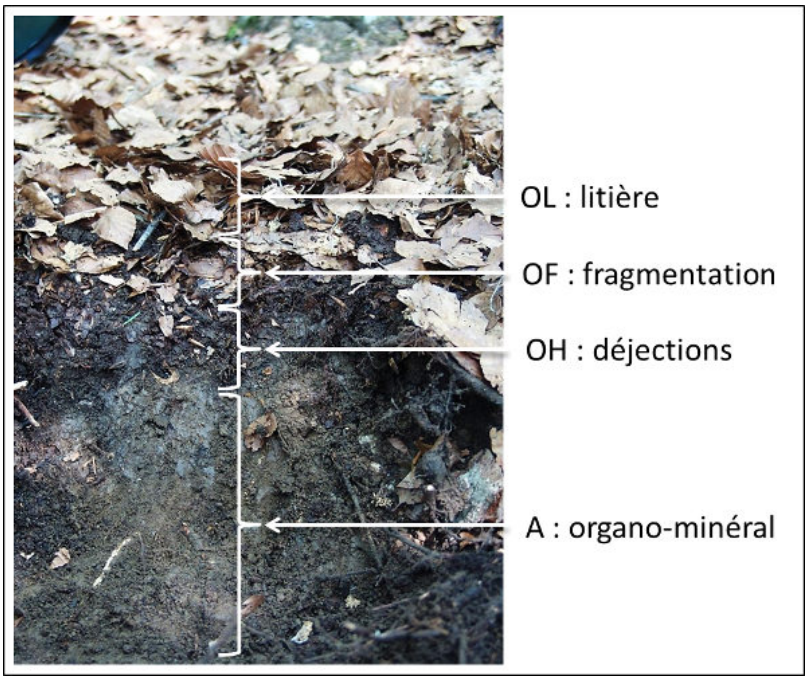

Figure 2. Profil de sol dans une hêtraie des Pyrénées montrant les différents horizons contenant de la matière organique (humus). [Source : photo © Sandrine Salmon]

L'action des vers de terre anéciques sur la structure et les propriétés du sol est remarquable et aboutit souvent à la formation d'un seul horizon (sol) d'humus (c'est-à-dire d'une seule couche) : l'horizon organo-minéral « A », constitué de leurs déjections et de leurs galeries. Néanmoins, l'action des autres invertébrés (Enchytréides et arthropodes) est particulièrement utile et visible dans les sols dépourvus de cette catégorie de lombrics, en général les sols acides. On peut alors observer que la couche d'humus est

constituée de différents horizons : litière (OL), litière fragmentée (OF), couche de déjections d'invertébrés (OH), horizon organo-minéral (A) (Figure 2).

Dans les sections suivantes nous allons faire plus ample connaissance avec l'un de ces groupes de faune, les Collemboles. Les Collemboles sont, comme les Acariens, des arthropodes de petite taille très abondants dans les sols. Ils contribuent au fonctionnement des écosystèmes terrestres. Pourtant, contrairement aux acariens ou aux vers de terre, leur nom est en général inconnu du grand public.

2. Les Collemboles, une diversité de formes et d'habitats

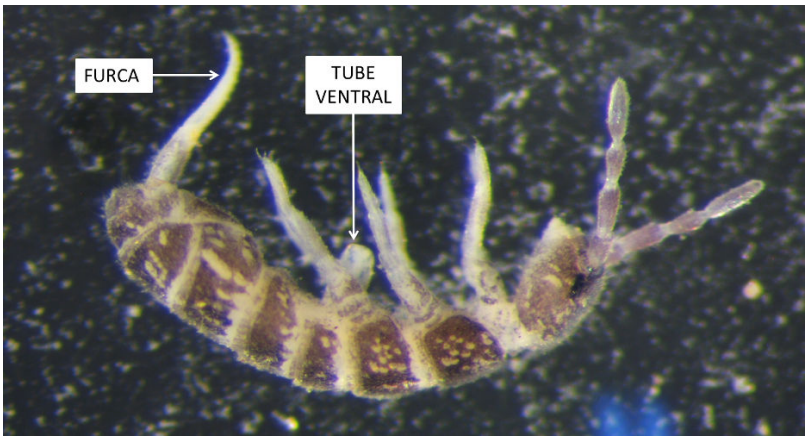

Figure 3. Photo d'un Collembole (Desoria sp., Isotomidae) montrant la furca, un organe de saut, et le tube ventral, impliqué dans la régulation hydrique et ionique. [Source : photo © Sandrine Salmon]

Les Collemboles sont apparus très tôt au cours de l'histoire évolutive du vivant, il y a 400 millions d'années, donc avant les insectes. Comme les insectes, ils ont trois paires de pattes (d'où le nom d'hexapodes) mais contrairement aux insectes, ce sont des Entognathes c'est-à-dire que leurs pièces buccales sont cachées à l'intérieur d'une cavité, par ailleurs ils sont sans ailes. Ils possèdent également plusieurs organes spécifiques essentiels dans leur interaction avec l'environnement (Figure 3) :

la *furca*, qui est un organe de saut fonctionnant comme un levier à ressort ;

le *tube ventral* qui leur permet de réguler leur équilibre ionique et hydrique en absorbant l'eau du sol avec les ions qu'elle contient.

On distingue quatre ordres de Collemboles différant par leur morphologie :

les *Entomobryomorphes* (corps cylindrique, segmenté avec des appendices longs)

les *Poduromorphes* (corps cylindrique, segmenté, avec des appendices courts)

les *Symphypléones* (corps sphérique avec des appendices longs)

les *Néélipléones* (corps sphériques avec des antennes courtes)

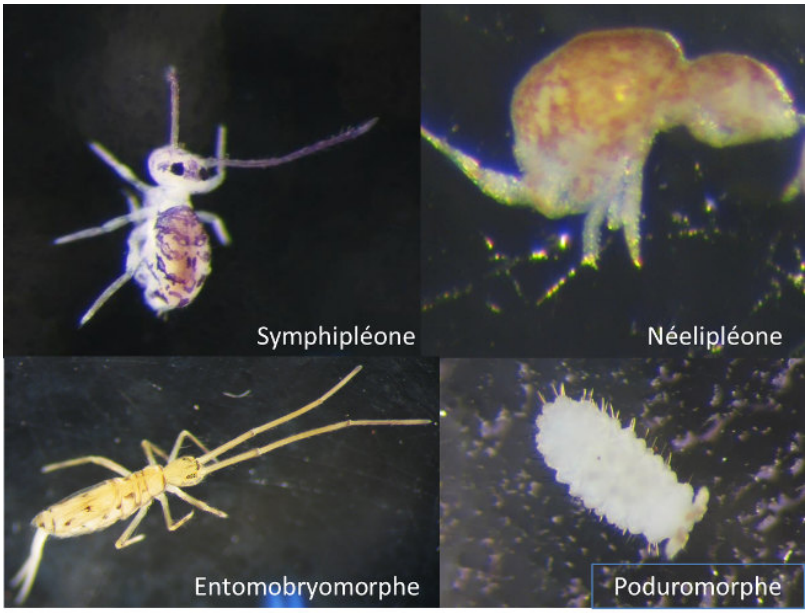

Figure 4. Les quatre ordres de Collemboles : Symphypléones, Néélipléones, Entomobryomorphes, Poduromorphes. [Source : photos © Sandrine Salmon]

Le **nombre d'espèces** de Collemboles découvertes dans le monde et décrites à ce jour est de **8600** [2] mais il en reste encore de nombreuses autres à découvrir. Les Collemboles sont, avec les acariens, les principaux représentants des microarthropodes dans le sol. On en trouve de *10 000 à 100 000 dans un mètre carré de sol*. Si c'est dans le sol qu'ils sont les plus abondants, on les trouve aussi dans de nombreux autres environnements : la strate herbacée, la canopée en région tropicale, les sables littoraux, les grottes, à la surface des mares, et même sur le sol gelé de l'Antarctique [3]. Dans le sol, les espèces se répartissent depuis la surface dans tous les horizons contenant de la matière organique.

Les espèces de Collemboles présentent des **adaptations morphologiques et physiologiques à la profondeur et à la fermeture de l'habitat** :

Les espèces de grande taille, pigmentées, avec des organes locomoteurs (pattes, furca ; ex : Entomobryomorphe, Figure 4) très développés et des organes sensoriels sensibles à l'air (soies sensorielles) et à la lumière (yeux) sont sélectionnées dans les milieux ouverts (ex : prairie) et à la surface du sol [4].

En forêt, et en profondeur dans le sol, ce sont les espèces de petite taille, aveugles, non ou peu pigmentées et avec de petits appendices locomoteurs qui dominent (ex : Poduromorphe, Figure 4). Ces dernières ont souvent également un organe sensoriel particulier, sensible aux molécules chimiques, l'organe post-antennaire qui compense l'absence des autres organes sensoriels.

La plupart des espèces se nourrissent de microorganismes (champignons, micro-algues terrestres, bactéries), le plus souvent de filaments fongiques. D'autres consomment des organes végétaux morts, ou des déjections d'autres invertébrés. D'autres encore percent les parois des végétaux et des champignons et aspirent les liquides qu'ils contiennent. Enfin, une très faible proportion est prédatrice de Nématodes, Rotifères, Tardigrades ou d'autres Collemboles. C'est essentiellement via leur **activité trophique**, c'est-à-dire leur recherche et leur consommation de nourriture, que les **Collemboles vont exercer différentes fonctions dans les sols** et c'est ce que nous allons découvrir dans la section suivante.

3. Les Collemboles, petits mais actifs

Comme la majorité des acteurs de la faune du sol, les Collemboles exercent un effet direct et indirect sur la **décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments**.

Certaines espèces, en consommant des organes végétaux morts (feuilles, aiguilles racines...), ou des déjections d'autres invertébrés, contribuent à la fragmentation de la matière végétale morte et à la minéralisation de la matière organique, ainsi qu'à la **structure superficielle du sol** (Horizons OF et OH de l'humus, voir Figure 2).

Cependant une plus large part de la fragmentation des organes végétaux morts est exercée par la macrofaune, et la minéralisation est en grande partie (70-80%) assurée par les microorganismes. C'est donc surtout de **façon indirecte**, que va s'exercer l'activité des collemboles sur la minéralisation de la matière organique et le recyclage des nutriments, et ce **en régulant les microorganismes du sol** (bactéries et champignons) :

En consommant les microorganismes de manière modérée, les Collemboles **stimulent la croissance de leurs populations** et par voie de conséquence la minéralisation de la matière organique. Mais selon les espèces présentes, les filaments des champignons peuvent être consommés en excès par les Collemboles, empêchant ainsi le développement excessif de certaines espèces, en particulier des champignons pathogènes.

Les Collemboles **disséminent** également les spores de champignons, et les bactéries, soit via leur transit intestinal, soit par fixation sur les soies du corps (Figure 5).

Enfin, leurs boulettes fécales constituent un **habitat favorable** au développement des microorganismes.

Figure 5. Heteromurus nitidus (Entomobryomorphe, Entomobryidae) avec des soies sur le corps susceptibles de fixer et de transporter des spores de champignons. [Source : photo © Sandrine Salmon]

En consommant des champignons phytopathogènes, les Collemboles peuvent limiter les maladies fongiques chez les végétaux [5] . En stimulant le développement et l'activité des champignons mycorhiziens, ils peuvent aussi favoriser l'absorption de phosphore par les plantes cultivées ou réguler l'architecture racinaire de certaines plantes.

Enfin, même si l'activité des collemboles est généralement bénéfique à l'homme et aux cultures, il faut tout de même signaler l'existence de deux espèces considérées comme nuisibles, car elles consomment des végétaux cultivés (généralement des plantules de luzerne et de trèfle). Il s'agit de *Sminthurus viridis* et *Bourletiella hortensis*. Mais *Sminthurus viridis*, d'origine européenne, est surtout nuisible dans les cultures de luzerne en Australie, où elle a été introduite accidentellement par l'homme et où elle n'a vraisemblablement pas de prédateur [3].

4. Comment les activités humaines perturbent-elles les Collemboles ?

Les perturbations d'origine anthropique susceptibles d'affecter les communautés de collemboles sont si diverses et variées qu'elles ne pourront pas toutes être traitées dans cet article. Il s'agit le plus souvent de contamination du sol par des polluants tels que des métaux en fortes concentrations, des pesticides, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)... Des pratiques humaines comme l'introduction de végétaux exotiques dans un pays, l'utilisation de déchets pour fertiliser les sols, la compaction des sols ou la fragmentation des forêts peuvent également être délétères sans parler bien sûr de la destruction des sols provoquée par l'urbanisation. Et non ! Les collemboles ne vivent pas dans le béton !

4.1. Effet des métaux

Les sols pollués par des métaux sont très variés. Il s'agit par exemple d'anciennes gares de triage (cadmium, cuivre, nickel, plomb, zinc), d'anciennes fonderies (fer, zinc, cadmium, cuivre) ou d'anciennes mines (argent, plomb, zinc…) [6], mais aussi de sols agricoles (cuivre) [7] ou de parcs urbains (cadmium du trafic routier). La pollution du sol par des métaux en forte concentration peut diminuer l'abondance et la diversité des collemboles. Dans tous les cas, elle modifie les communautés, c'est-à-dire que **les espèces habituellement présentes sont remplacées par d'autres**. Cela se traduit généralement, à l'échelle régionale, par une **forte uniformisation** des communautés qui sont alors dominées par un petit nombre d'espèces tolérantes aux métaux. Le risque de cette uniformisation des communautés est la diminution de la biodiversité à l'échelle régionale.

4.2. Effets des déchets

L'utilisation de déchets organiques peut être très bénéfique pour fertiliser les sols agricoles, les plantations forestières ou pour la remédiation de sols dégradés. Ce type d'amendement permet d'améliorer la structure du sol et la rétention de l'eau, et d'augmenter la concentration en nutriments et en matière organique. Ces déchets peuvent être soit des déchets agricoles d'origine végétale (compost) ou animale (fumier), soit des boues de stations d'épuration ou d'origine industrielle, soit un mélange de ces divers déchets. Le problème est que ces déchets peuvent finalement s'avérer être défavorables aux communautés de collemboles, voire très nocifs puisqu'ils peuvent **diminuer fortement l'abondance de certaines espèces ainsi que leur taux de reproduction**. Ils présentent en effet souvent des concentrations en métaux ou en ammonium suffisamment élevées pour qu'elles deviennent toxiques, et ce même lorsque les teneurs en métaux sont inférieures aux normes légales [8].

4.3. Effet des pesticides

Les collemboles sont souvent l'objet d'un dommage collatéral résultant du traitement des cultures par des insecticides dans le but d'éradiquer des insectes ravageurs. Ainsi on a pu déjà montrer que l'application d'insecticides dans les champs en agriculture conventionnelle provoque une diminution de l'abondance et de la diversité des Collemboles. On observe également une **modification de la structure des communautés** liée au fait que des espèces sont plus sensibles que d'autres [9]. Une étude des traits des collemboles (développement des yeux, de la furca, des antennes et présence de pigmentation et de soies) a montré que **les espèces adaptées à la profondeur sont les plus vulnérables**. La raison est probablement que ces espèces ne peuvent fuir leur milieu lorsque les traitements sont appliqués, contrairement aux espèces de surface qui peuvent gagner des refuges et revenir ensuite. Il est à noter également que la **compaction des sols agricoles** peut être aussi **délétère**, pour les invertébrés du sol, que la pollution par les insecticides.

4.4. Effets des espèces végétales « exotiques »

Une espèce est dite **exotique lorsqu'elle est observée dans une zone géographique d'où elle n'est pas originaire, contrairement aux plantes indigènes** (Lire Quand les plantes envahissantes se promènent aussi dans les champs)**. Les espèces exotiques sont généralement introduites par l'homme dans une zone géographique qui ne fait pas partie de leur aire** de répartition naturelle. Ces espèces n'ont donc pas co-évolué avec les autres espèces qui peuplent le même milieu, ce qui peut provoquer un bouleversement de l'écosystème où elles sont introduites. Par exemple, elles peuvent provoquer des disparitions locales d'espèces indigènes. L'envahissement d'un habitat par des espèces végétales exotiques a déjà montré des effets significatifs sur les caractéristiques du sol telles qu'une modification de la quantité et de la qualité de la matière organique [10].

Elles peuvent également impacter directement les communautés animales du sol. Ainsi, la plantation d'Eucalyptus en remplacement de Chênes au Portugal **a entrainé une diminution de la richesse spécifique des Collemboles et le remplacement d'espèces spécialistes par des espèces généralistes** capables de coloniser un grand nombre de milieux. La plantation de *Pinus radiata* en Australie [11] a également provoqué le remplacement de plusieurs espèces de collemboles indigènes, par des espèces de collemboles exotiques.

4.5. Conséquences de l'homogénéisation des communautés et de la diminution de la richesse spécifique

Tous ces facteurs qui altèrent les communautés de collemboles sont aussi dommageables aux autres groupes d'invertébrés du sol.

Lorsque l'abondance et/ou la diversité de la faune diminuent, celle-ci ne peut plus assurer correctement ses fonctions comme le recyclage des nutriments ou la régulation des agents pathogènes (cf. section 3). En effet les fonctions assurées par les organismes du sol sont réparties sur un grand nombre d'espèces. Lorsque plusieurs espèces disparaissent, les fonctions que ces espèces exerçaient ne sont plus assurées. Le fonctionnement de l'écosystème peut s'en trouver altéré. Par exemple, si le recyclage des nutriments ne se fait pas correctement, il devient difficile aux végétaux de se développer en surface, ce qui à terme entraine l'érosion des sols.

Également, le remplacement d'espèces locales par des espèces généralistes et l'homogénéisation des communautés à grande échelle qui en résulte altèrent la résistance et la résilience des écosystèmes (Lire Qu'est-ce que la Biodiversité ?). C'est-à-dire qu'en cas de perturbation de l'écosystème celui-ci ne pourra pas résister, ni revenir à son état initial. Prenons comme exemple de perturbation l'arrivée d'un champignon phytopathogène. Si les espèces fongivores qui se nourrissent de ce champignon ont disparu de l'écosystème, son développement n'est plus régulé, et les espèces végétales attaquées peuvent être entièrement décimées.

En conséquence, nous devons protéger nos sols en limitant l'urbanisation, la pollution (par les pesticides, les fertilisants en excès, les déchets, les métaux), et la compaction des sols (par le labour profond et intense ou les engins de débardage).

***Remerciements** à Jean-François Ponge, Professeur Émérite au Muséum National d'Histoire Naturelle, et à Charlotte Fromont, ma fille, pour la relecture de ce texte.*

Références et notes

Image de couverture. *Deux spécimens de Caledonimeria mirabilis, espèce de collembole endémique de Nouvelle Calédonie - Photo* © Cyrille d'Haese.

[1] Gobat J.-M., Aragno M. & Matthey W., 2003. *Le sol vivant. Bases de pédologie* - Biologie des sols, 2nd ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.

[2] Frans Janssens, http://www.collembola.org/

[3] Hopkin S.P., 1997. *Biology of the springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press, Oxford.

[4] Salmon S., Ponge J.F., Gachet S., Deharveng L., Lefebvre N. & Delabrosse F., 2014. *Linking species, traits and habitat characteristics of Collembola at European scale.* Soil Biology & Biochemistry 75, 73-85.

[5] Schrader S., Wolfarth F. & Oldenburg E., 2013. *Biological control of soil-borne phytopathogenic fungi and their mycotoxins by soil fauna: a review.* Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Agriculture 70, 291-298.

[6] Russell D.J. & Alberti G., 1998. *Effects of long-term, geogenic heavy metal contamination on soil organic matter and microarthropod communities, in particular Collembola.* Applied Soil Ecology 9, 483-488.

[7] Santorufo L., Cortet J., Nahmani J., Pernin C., Salmon S., Pernot A., Morel J.L. & Maisto G., 2015. *Responses of functional and taxonomic collembolan community structure to site management in Mediterranean urban and surrounding areas.* European Journal of Soil Biology 70, 46-57.

[8] Renaud M., Chelinho S., Alvarenga P., Mourinha C., Palma P., Sousa J.P. & Natal-da-Luz T., 2017. *Organic wastes as soil amendments: effects assessment towards soil invertebrates.* Journal of Hazardous Materials 330, 149-156.

[9] Chelinho S., Domene X., Andres P., Natal-da-Luz T., Norte C., Rufino C., Lopes I., Cachada A., Espindola E., Ribeiro R., Duarte A.C. & Sousa J.P., 2014. *Soil microarthropod community testing: a new approach to increase the ecological relevance of effect data for pesticide risk assessment.* Applied Soil Ecology 83, 200-209.

[10] Maurel N., Salmon S., Ponge J.F., Machon N., Moret J. & Muratet A., 2010. *Does the invasive species Reynoutria japonica have an impact on soil and flora in urban wastelands?* Biological Invasions 12, 1709-1719.

[11] Greenslade P., 2007. *The potential of Collembola to act as indicators of landscape stress in Australia.* Australian Journal of Experimental Agriculture 47, 424-434.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur :** SALMON Sandrine (2017), Les Collemboles : acteurs de la vie du sol, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=4810

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.