



COMMENT LES INVERTÉBRÉS DU SOL FONT FACE À LA CONTAMINATION PAR LES MICROPLASTIQUES

Carlos Barreto^{1*}, Matthias C. Rillig^{2,3†}, Walter R. Waldman^{4†} and Stefanie Maaß^{3,5†}

¹ Department of Biology, Biotron Experimental Climate Change Research Centre, Western University, London, ON, Canada

² Plant Ecology, Institute of Biology, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany

³ Berlin-Brandenburg Institute of Advanced Biodiversity Research (BBIB), Berlin, Germany

⁴ Center of Science and Technology for Sustainability, Federal University of São Carlos, Sorocaba, Brazil

⁵ Plant Ecology and Nature Conservation, Institute of Biochemistry and Biology, Universität Potsdam, Potsdam, Germany

JEUNES RELECTEURS:



ASTÈRE

ÂGE: 8



JUNIE

ÂGE: 10

Les invertébrés du sol (petits animaux vivant dans le sol) représentent un groupe très diversifié d'habitants du sol. Ils comprennent, par exemple, les vers de terre, les cloportes, les araignées, les collemboles, les acariens et certains insectes. Ces invertébrés du sol peuvent se nourrir de plantes mortes, de champignons et de bactéries, ou d'autres invertébrés du sol. Les nombreuses interactions entre les invertébrés du sol et le grand nombre d'espèces différentes dans les sols rendent la vie dans le sol complexe à comprendre. Malheureusement, les invertébrés du sol sont confrontés à la pollution des sols et la contamination par les microplastiques depuis des décennies. Mais les microplastiques sont-ils nocifs pour ces organismes? Les microplastiques peuvent-ils être transmis entre les invertébrés du sol lorsqu'ils se nourrissent les uns des autres? La plupart des questions concernant les microplastiques et les invertébrés du sol ont été étudiées à l'aide de vers de terre, mais il existe

également quelques études sur d'autres organismes, comme les collemboles, les acariens et les nématodes. Dans cet article, nous résumons les effets des microplastiques sur les invertébrés du sol.

QUI SONT LES SUPER-HÉROS CACHÉS DANS LE SOL ET QUELLES SONT LEURS FONCTIONS?

De nombreux animaux vivent dans le sol, mais... pourquoi ne les voit-on pas tous? Les petits animaux qui vivent dans le sol sont appelés **invertébrés du sol**, et leur taille est très variable. Certaines espèces sont même plus petites que le diamètre d'un cheveu humain! Nous pouvons classer les invertébrés du sol en trois groupes principaux en fonction de leur taille [1] (figure 1). Les macroinvertébrés sont de gros invertébrés comme les vers de terre, les cloportes, les araignées, les mille-pattes et certains insectes comme les coléoptères. Ils ont une taille supérieure à 2 mm et peuvent créer leurs propres espaces de vie dans les sols. Les mésoinvertébrés ont une taille intermédiaire (0,1-2 mm) et vivent dans les pores du sol remplis d'air. Ils incluent, par exemple, les collemboles [2], les acariens et les vers de terre. Les microinvertébrés ont une taille inférieure à 0,1 mm, si petite que nous ne pouvons pas les voir sans l'aide d'un microscope. Ils vivent dans l'eau qui est présente autour des particules du sol et incluent, par exemple, les nématodes, les rotifères et les oursins d'eau.

INVERTÉBRÉS DU SOL

Petits animaux vivant dans le sol, sans colonne vertébrale ni squelette osseux.

Figure 1

Exemples d'invertébrés du sol de différentes tailles. **a)** ours d'eau **b)** animal à roue **c)** nématode **d)** ver de terre **e)** collembole **f)** acarien **g)** araignée **h)** coléoptère **i)** cloporte **j)** ver de terre **k)** mille-pattes **l)** mille-pattes. Les illustrations ne représentent pas la taille réelle des invertébrés du sol.

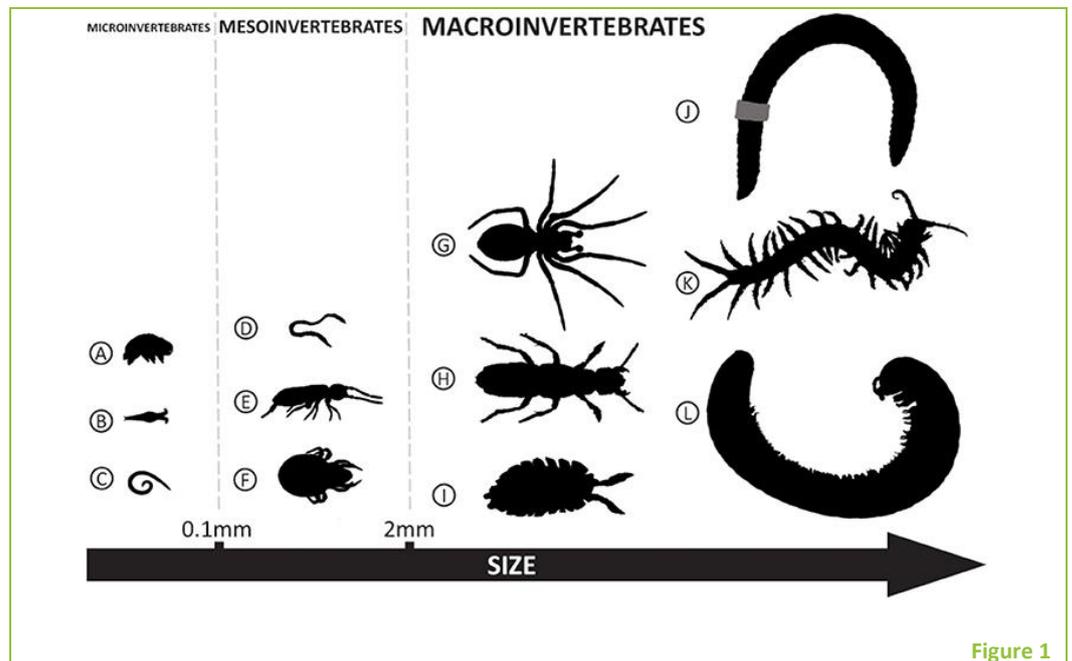


Figure 1

Chaque groupe d'invertébrés du sol aime des aliments différents [3]. En général, certains invertébrés du sol, comme les araignées, se nourrissent d'autres invertébrés du sol. D'autres, comme les collemboles, se nourrissent de microbes comme les champignons et les bactéries, et d'autres encore, comme les vers de terre, se nourrissent de plantes mortes. Ces relations alimentaires font partie d'un réseau alimentaire complexe composé de nombreuses espèces (figure 2) et de nombreuses interactions.

Figure 2

Exemples d'invertébrés du sol. Les microinvertébrés (<0,1 mm) comprennent (A) les oursins d'eau et (B) les nématodes. Les mésoinvertébrés (entre 0,1 et 2 mm) comprennent (C) les vers de terre, (D-G) les collemboles, et (H, I) les acariens. Les macroinvertébrés (>2 mm) comprennent (J) les cloportes, (K) les coléoptères, (L) les vers de terre, (M-N) les mille-pattes, et (O) les araignées. (Crédits photos: A, C-O: Frank Ashwood; B: Devdutt Kamath).



Figure 2

Tous les invertébrés du sol sont importants pour l'environnement. Par exemple, les ours d'eau peuvent coloniser de nouveaux environnements et servir de nourriture à d'autres organismes. Les nématodes peuvent contribuer au cycle des nutriments dans le sol, avec l'aide des collemboles, des acariens, des cloportes et des vers de terre. Les cloportes, les collemboles et certains acariens [4] aident à décomposer les feuilles et d'autres matières anciennement vivantes dans le sol [5], et ils aident également à piéger le carbone de l'atmosphère dans le sol. Les vers de terre aident l'eau de pluie à s'infiltrer dans le sol. Certains invertébrés du sol peuvent se nourrir d'organismes à l'origine de maladies des plantes, protégeant ainsi les plantes de ces parasites. Chacune à leur manière, ces créatures contribuent à maintenir le sol en bonne santé, ce qui est également nécessaire pour assurer la qualité de nos aliments.

LA MENACE DES MICROPLASTIQUES

Malheureusement, les habitats de nombreux invertébrés du sol ont été envahis par des polluants tels que les **microplastiques**. Les microplastiques sont de petites particules (moins de 5 mm) qui sont créées de nombreuses façons (figure 3; encadré 1). Par exemple, lorsque les voitures roulent sur les routes, leurs pneus s'usent et perdent des microplastiques, qui peuvent être ramassés

MICROPLASTIQUES

Petites particules de plastique (moins de 5 mm) qui peuvent être nocives pour le sol et la vie aquatique.

Figure 3

Exemples de microplastiques. (A) Particules de colle à ressort et d'urée-formaldéhyde. (B) Collembole et plastique raclé d'une bouteille de boisson gazeuse. (C) Microbilles de polypropylène. (D) Microfibres de polypropylène. (E, F) Nématodes adultes avec des fragments de polystyrène. (G) Particules formées par l'abrasion d'un pneu. (H) Gros plan d'une éponge en polyuréthane. (I) Poudre de polypropylène. (Crédits photos: A, B: C. Reinhart & D. Daphi, C, I: Stefanie Maaß, D: Carlos Barreto, E, F: Shin Woong Kim, G: Eva Leifheit, H: Walter Waldman).

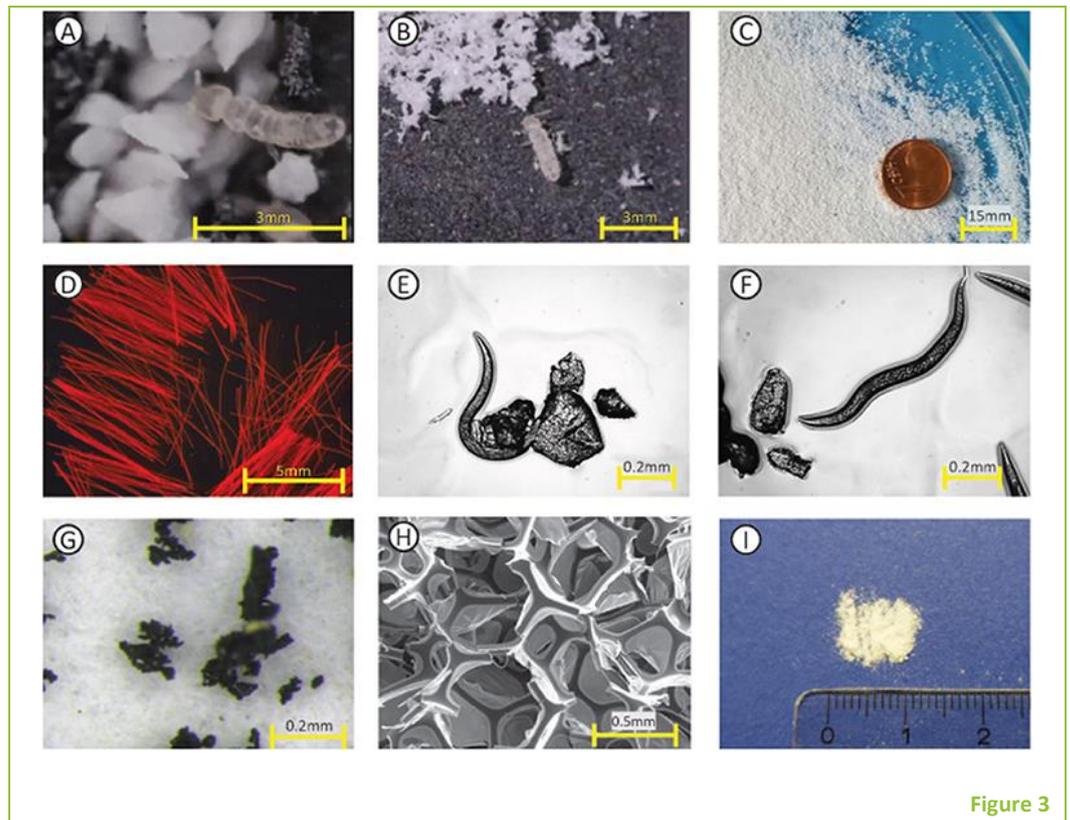


Figure 3

par le vent et se retrouver dans les sols. De même, lorsque nous faisons la lessive, des fibres de plastique sont libérées des vêtements dans l'eau. Un seul manteau en polaire peut libérer jusqu'à un million de fibres par cycle de lavage! Un grand nombre de ces fibres plastiques finissent dans les eaux usées, ce qui est un problème car les eaux usées traitées peuvent être utilisées pour fertiliser les sols où sont cultivées les plantes. Les microplastiques peuvent également pénétrer dans le sol par les déchets plastiques et l'eau de pluie.

Les microplastiques présentent un large éventail de propriétés chimiques et physiques. Les matières plastiques contiennent souvent des **additifs**. Ces additifs peuvent rendre les microplastiques encore plus nocifs pour l'environnement, en particulier lorsque les particules microplastiques commencent à se dégrader. Les particules de plastique deviennent de plus en plus fragiles sous l'effet de la lumière du soleil, de l'eau et des particules de sol environnantes qui frottent sur elles. Au fil du temps, les microplastiques se désagrègent en particules encore plus petites, appelées nanoplastiques. Au cours de la **dégradation**, les additifs commencent lentement à s'échapper des microplastiques (**lixiviation**) pour se retrouver dans le sol. Les particules peuvent également s'infiltrer dans les tissus des organismes s'ils les mangent. Malheureusement, nous ne savons pas encore grand-chose des effets que la lixiviation des additifs des plastiques peut avoir sur l'environnement.

Ainsi, les particules microplastiques peuvent clairement affecter le sol, mais comment affectent-elles les invertébrés du sol? [6] Si nous regardons les vers de terre, avec leur appétit constant pour les feuilles mortes et leurs activités intenses de creusement, nous pouvons facilement imaginer qu'ils ingèrent régulièrement des particules microplastiques et les transportent profondément dans le sol. Ils peuvent transporter ces particules non seulement

ADDITIFS

Produits chimiques qui rendent le plastique plus coloré ou flexible, ou moins inflammable.

DEGRADATION

La décomposition ou la séparation de quelque chose en parties plus simples/plus petites.

LIXIVITATION

Lorsqu'une substance liquide est libérée de sa source solide.

Encadré 1 | Sources des microplastiques dans les sols

Objet	Plastique (noms officiels)	Commentaire
Peintures	Résines époxy et alkydes	Les microplastiques se forment lors du ponçage des surfaces peintes et lorsque la peinture se décolle des murs ou d'autres structures.
Sacs en plastique	Polyéthylène basse densité (LDPE)	Lorsque les sacs en plastique sont jetés de manière inappropriée, ils peuvent se retrouver sur le sol et être dégradés par le soleil, formant finalement des microplastiques.
Films de paillage	Polyéthylène basse densité (LDPE)	Certains agriculteurs utilisent des films de paillage en plastique pour protéger les plantes de la perte d'eau. Ces plastiques se décomposent à l'exposition au soleil et forment des microplastiques.
Pneus	Polyisoprène (caoutchouc naturel)	Bien que les pneus soient principalement composés de caoutchouc naturel, ils contiennent également des additifs dont la toxicité est actuellement testée.
Mousse	Polystyrène (PS)	Les mousses sont largement utilisées dans l'isolation des maisons et dans les emballages pour protéger les produits pendant le transport et le stockage. L'endommagement et la dégradation des mousses produisent des microplastiques.
Paillettes	Polyéthylène téréphtalate (PET)	Les paillettes s'étalent facilement et peuvent se détacher du maquillage et des jouets et contaminer les sols.
Bouteilles d'eau	Polypropylène (PP)	La décomposition des bouteilles d'eau et de boissons gazeuses peuvent contaminer le sol.
Bouteilles de boissons gazeuses	Polypropylène téréphtalate (PET)	
Vêtements	Polyesters et polyamides	Les fibres synthétiques libèrent des microfibrilles lors du lavage, et elles finissent dans le sol via les engrais préparés à partir des eaux usées.

en se nourrissant, mais aussi sur leur peau. Le même phénomène a été démontré pour les collemboles. Qu'est-ce que cela signifie? D'une part, les particules microplastiques vont se dégrader au fur et à mesure qu'elles passent dans l'intestin des organismes du sol. Mais d'autre part, une fois que les particules sont transportées plus profondément dans le sol, la dégradation ralentit en raison de l'absence de lumière solaire et d'une activité microbienne réduite. En d'autres termes, plus les particules s'enfoncent dans le sol, plus il leur faut du temps pour se dégrader totalement.

LES MICROPLASTIQUES PEUVENT AFFECTER LA SANTÉ DES ORGANISMES DU SOL

Les organismes du sol deviennent malades lorsqu'ils mangent des microplastiques, cela a été observé pour les vers de terre et les collemboles. Après s'être nourris de particules de microplastiques, les vers de terre ont souffert de plusieurs problèmes de santé, notamment d'inflammations et de

lésions de l'intestin [7]. De plus, l'ingestion de microplastiques a mis le système immunitaire des vers de terre en état d'alerte plus élevé que d'habitude. Les collemboles qui ont ingéré des microplastiques ont subi des modifications des bactéries utiles vivant dans leur système digestif [8]. Les vers de terre et les collemboles ont grandi plus lentement, ont eu moins de descendants et sont morts plus souvent après avoir ingéré des microplastiques.

Cela semble être une mauvaise nouvelle pour les nématodes, mais voici la bonne nouvelle: les scientifiques n'ont pas observé d'accumulation de particules microplastiques dans les organismes au fil du temps, ce qui signifie qu'ils ne sont peut-être pas si nuisibles que cela après tout. Cependant, il est probable que les particules microplastiques puissent être transmises par le réseau alimentaire du sol, des microbes (comme les champignons), aux collemboles puis aux acariens prédateurs ; ou des microbes aux vers de terre, puis aux poulets [9] - et peut-être aussi aux humains ! Nous ne savons pas encore très bien comment les microplastiques se déplacent dans le réseau alimentaire du sol, mais la recherche progresse rapidement sur ce sujet. Malgré ces inquiétudes, les scientifiques ont trouvé une lueur d'espoir ! Un groupe de recherche a signalé que certaines bactéries présentes dans l'intestin des vers de terre peuvent digérer les microplastiques ingérés, ce qui entraîne des taux de dégradation élevés [10]. Cela signifie que les bactéries pourraient être en mesure d'accélérer la destruction des microplastiques dans le sol. Les autres invertébrés du sol peuvent-ils faire de même? Nous ne le savons tout simplement pas encore.

QUE POUVONS-NOUS FAIRE POUR PROTÉGER LES INVERTÉBRÉS DU SOL?

Vous vous demandez peut-être pourquoi les scientifiques n'ont pas fait plus de progrès pour répondre à des questions importantes concernant les effets des microplastiques sur les sols et les organismes qui y vivent. Malheureusement, ces études se heurtent à de nombreuses difficultés. Par exemple, nous ne disposons pas encore d'une méthode fiable pour mesurer la quantité de tous les types de microplastiques dans tous les types de sol. En outre, de nombreuses études consistent en des expériences à court terme réalisées en laboratoire, au lieu d'études à long terme menées en plein air dans le sol. L'énorme diversité des types de plastique et d'additifs fait qu'il est impossible de tout tester dans des conditions réelles. Les expériences en laboratoire ne sont informatives que jusqu'à un certain point. Les expériences en laboratoire sont également difficiles car tous les organismes du sol ne survivent pas dans l'environnement du laboratoire. Mais rassurez-vous : les scientifiques font de leur mieux pour résoudre ces problèmes. En attendant, *vous* pouvez aider de diverses manières!

Nous devrions tous faire de notre mieux pour minimiser l'ajout futur de plastiques de tout type et de toute taille dans l'environnement. Vous connaissez peut-être déjà certains des moyens les plus importants! Évitez les articles en plastique à usage unique comme les gobelets ou les pailles en plastique. Choisissez votre gobelet préféré en métal ou en plastique

réutilisable, ainsi qu'une paille en métal, et gardez-les à portée de main dans votre boîte à repas ! Il est également important de mettre les déchets plastiques dans le bon conteneur de recyclage. Cela permet de réduire la quantité de plastique qui se retrouve dans l'eau et le sol. En outre, évitez les produits de beauté qui contiennent des microplastiques dans leurs ingrédients, comme certains après-shampooings ! Il existe des produits alternatifs qui ne contiennent pas de microplastiques, et certaines applications pour smartphone peuvent vous aider à choisir les meilleurs produits pour vous. Pour réduire le nombre de fibres plastiques rejetées dans l'environnement, essayez de ne pas jeter vos vieux vêtements simplement parce que vous n'en voulez plus ! Essayez plutôt de les vendre, de les donner ou de les réutiliser de manière créative. Unissons nos forces et sauvons nos petits super-héros du sol de plus de pollution par les microplastiques. Tous les efforts en valent la peine !

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Coleman, D. C., Callahan, M. A., and Crossley, D. A. Jr. 2018. *Fundamentals of Soil Ecology*, 3rd Edn. London: Academic Press. p. 376.2.
- [2] Potapov, A. 2020. Springtails — worldwide jumpers. *Front. Young Minds*8:545370. doi: 10.3389/frym.2020.5453703.
- [3] Erktan, A., Pollierer, M., and Scheu, S. 2020. Soil ecologists as detectives discovering who eats whom or what in the soil. *Front. Young Minds*8:544803. doi: 10.3389/frym.2020.5448034.
- [4] Barreto, C., and Lindo, Z. 2020. Armored mites, beetle mites, or moss mites: the fantastic world of oribatida. *Front. Young Minds*8:545263. doi: 10.3389/frym.2020.5452635.
- [5] Barreto, C., and Lindo, Z. 2020. Decomposition in peatlands: who are the players and what affects them? *Front. Young Minds*8:107. doi: 10.3389/frym.2020.001076.
- [6] de Souza Machado, A. A., Horton, A., Davis, T., and Maaß, S. 2020. Microplastics and their effects on soil function as a life-supporting system. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*, eds D. He and Y. Luo. Cham: Springer. p. 1–24.7.
- [7] Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., da Costa, J., Duarte, A.C., Vala, H., et al. 2017. Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environ. Pollut.*220:495–503. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.0928.
- [8] Zhu, D., Qing-Lin, C., Ana, X., Yanga, X., Christiec, P., Ked, X., et al. 2018. Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition. *Soil Biol. Biochem.*116:302–10. doi: 10.1016/j.soilbio.2017.10.0279.
- [9] Huerta Lwanga, E., Mendoza Vega, J., Quej, V.K., de los Angeles Chi, J., Sanchezdel Cid, L., Chi, C., et al. 2017. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Sci. Rep.* 7:14071. doi: 10.1038/s41598-017-14588-210.

[10] Huerta Lwanga, E., Thapa, B., Yang, X., Gertsen, H., Salánki, T., Geissen, V., et al. 2018. Decay of low-density polyethylene by bacteria extracted from earthworm's guts: a potential for soil restoration. *Sci. Total Environ.* 624:753–7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.144

REMERCIEMENT

We thank Frank Ashwood (Forestry Commission UK), Shin Woong Kim (Freie Universität Berlin), and Devdutt Kamath (University of Guelph) for kindly allowing us to use their soil invertebrate pictures. We thank C. Reinhart, D. Daphi, and Eva Leifheit (Freie Universität Berlin) for the pictures of plastics. We thank Anderson Abel de Souza Machado, Alice A. Horton, and Taylor Davis for their work on the book chapter on microplastics which was the starting point for this article. MR acknowledges funding from an ERC Advanced Grant (694368). This work was also partly funded by the German Federal Ministry of Education and Research BMBF within the Collaborative Project Bridging in Biodiversity Science-BIBS (phase 2, funding number 01LC1501B). We thank Helen Phillips, Rémy Beugnon, and Malte Jochum, the editors of the Soil Biodiversity collection, for such a great and important initiative. Last, but not least, we thank our young reviewers for their comments.

EDITED BY: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

CITATION: Barreto C, Rillig M, Waldman W and Maaß S (2021) How Soil Invertebrates Deal With Microplastic Contamination. *Front. Young Minds.* 9:625228. doi: 10.3389/frym.2021.625228

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

COPYRIGHT © 2021 Barreto, Rillig, Waldman and Maaß. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

JEUNES RELECTEURS



ASTÈRE, ÂGE: 8

My age is 8. I like reading, doing DIY, drawing, coloring, art, maths, writing, and history. My favorite books are Harry Potter and Percy Jackson.



JUNIE, ÂGE: 10

I have many hobbies but the ones that I do the most are cooking, reading, drawing, and sewing. I go to a primary school in a big city in the UK and my age is 10. My favorite books are Percy Jackson, books by Judy Blume, Scarlet and Ivy, and North child.

AUTEURS



CARLOS BARRETO

At a very young age, Carlos realized that he liked animals, maybe too much. In school, science was always his favorite discipline, all the way through to high school. That is when he decided that he wanted to do something that involved science and animals. He tried to be a vet; it did not work out. No regrets. So, he became an ecologist a few years later, and since then, he has been working with little animals (mostly insects and mites) in tropical forests, iron ore and limestone caves, boreal forests, urban fields, and peatlands on three continents: South America, North America, and Europe. *cbarreto@uwo.ca; +orcid.org/0000-0003-2859-021X



MATTHIAS C. RILLIG

Matthias likes soil and all the critters in it, not just the animals. Actually, his favorite are the fungi. His favorite soil process is soil aggregation, the formation of the little crumbs of soil. Matthias is a professor at Freie Universität Berlin and gets to think about soil and what is going on in there all day. Currently he is very interested in how soils are being affected by a wide range of factors, including microplastics. +orcid.org/0000-0003-3541-7853



WALTER R. WALDMAN

Walter is a proud Brazilian chemist who loves music, chemistry, food, cinema, and polymers. His first experiment involved chewing gum and the hair of an ex-friend. The experiment did not end well for all the participants, but the adhesive power of polyisoprene was confirmed, and a polymer scientist was born that day. Now he tries to understand the role of polymer degradation on the impact of microplastics. When he has some free time, you can find him reading something about chemistry and polymers. And eating... +orcid.org/0000-0002-7280-2243

**STEFANIE MAAß**

Stefanie wanted to become a make-up artist or costume designer but due to lack of art skills, she moved on to something completely different: biology. When she was introduced to tropical insects and mites of tree bark during her studies, she became fascinated by their beauty and diversity. She then worked on soil insects and mites and has become a passionate and curious soil ecologist who wants to understand the feeding relationships, reactions to pollutants (like microplastics), and distribution patterns of her beloved soil creatures. orcid.org/0000-0003-4154-1383

TRADUCTRICE**LUCIE MALARD**

Department of Ecology and Evolution, University of Lausanne, 1015 Lausanne, Switzerland