



LES VERS DE TERRE ET LEUR RÔLE DANS LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Pierre Ganault^{1*}, Sacha Delmotte², Agnès Duhamet², Gaëlle Lextrait², Yvan Capowiez³

¹ CEFE, Univ. Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, Univ. Paul-Valéry Montpellier, Montpellier, France

² Université de Montpellier, Montpellier, France

³ INRAE, UMR 1114 EMMAH, INRAE/Université d'Avignon, 84914 Avignon, France

JEUNES CORRECTEURS



GWEN

AGE: 13

JEUNES CORRECTEURS DE LA TRADUCTION



NOÉ BUGAUD

La masse de tous les vers de terre vivant sur notre planète est supérieure à celle de toute autre espèce terrestre. Il existe plus de 7 000 espèces de vers de terre, et ils participent à de nombreux processus qui maintiennent les sols en bonne santé et aident les plantes à pousser, ce qui en fait des organismes extrêmement importants à étudier. L'activité des vers de terre stimule également la croissance des bactéries, tant dans le sol que dans leurs systèmes digestifs. Certaines études ont suggéré que ces bactéries pourraient augmenter les émissions de gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone et le protoxyde d'azote qui contribuent au réchauffement climatique. Alors, les vers de terre sont-ils globalement bénéfiques ou néfastes pour l'environnement ? Cet article décrit les expériences qui peuvent être utilisées pour étudier les liens entre les vers de terre et la production de gaz à effet de serre, ainsi que les limites de ces

expériences. Les effets des vers de terre sur les processus du sol sont très complexes et donc scientifiquement stimulants, importants et passionnants.

LES VERS DE TERRE, LES INGÉNIEURS DU SOL

Sous nos pieds vivent des milliards d'animaux, dont les célèbres vers de terre. Le terme « vers de terre » désigne en fait de nombreuses espèces. Les scientifiques ont décrit environ 7 000 espèces de vers de terre dans le monde, mais certaines zones sont peu étudiées et les scientifiques pensent qu'il reste plus de 30 000 espèces de vers de terre à décrire [1]. Les vers de terre sont des invertébrés, ils n'ont donc pas d'os. Contrairement aux insectes, les vers de terre n'ont pas non plus de squelette externe, ni d'yeux, mais ils ont des muscles puissants. Les vers de terre peuvent se déplacer dans le sol et même le manger, avec parfois des feuilles mortes. Bien que la plupart des espèces de vers de terre se ressemblent beaucoup, ils ont des modes de vie différents, qui se répartissent en trois grands **groupes écologiques (Figure 1A)** [2].

Le premier groupe, appelé **épigé**, est constitué de petits vers de terre (3-10 cm) de couleur rouge, et peut être utilisé dans certains procédés de compostage. Les vers de terre épigés vivent dans les feuilles mortes. Leur couleur les protège des rayons UV et les camoufle des prédateurs de surface. Sans creuser dans le sol, ils mangent les feuilles mortes et les transforment en petits morceaux de **matière organique** dans leurs excréments, qu'on appelle des **turricules**.

Les vers de terre **endogés** sont plus gros (5 à 15 cm) et complètement dépigmentés. Ils vivent uniquement dans les sols et créent de nombreuses galeries (**Figure 1B**). Dans un pot expérimental, 4 vers de terre endogés ont creusé 2,2 km de galeries de 3,5 mm de large par mètre cube de sol en seulement 6 semaines ! [3] En creusant, ils mangent également de nombreux petits morceaux de feuilles mortes qui se trouvent dans le sol, et mélangent ainsi matière organique et minérale (**Figure 2**).

Le troisième groupe est celui des vers de terre **anéciques**. Ce sont les plus gros, leur taille varie de 10 cm à 2 m en fonction des espèces. Ils creusent de profonds tunnels verticaux (**Figure 1**), qui peuvent dépasser 1 mètre de profondeur. Pendant la nuit, ils sortent leur tête pour attraper les feuilles mortes à la surface et les amener dans les couches plus profondes du sol. Comme seule leur tête quitte le sol, c'est la seule partie de leur corps qui est pigmentée.

Les deux principales actions des vers de terre sont de manger ou enterrer les feuilles mortes et de se déplacer dans le sol en créant des galeries. Ces actions sont bénéfiques pour le sol, les autres organismes du sol et l'ensemble de l'**écosystème**, ce qui a valu aux vers de terre de se voir attribuer le nom d'« **ingénieurs des écosystèmes** ».

GRUPE ECOLOGIQUE

Les vers de terre diffèrent quant à l'endroit où ils vivent dans le sol, ce qu'ils mangent et la couleur de leur peau. Il existe trois groupes principaux : les **épigés** (prononcé « é-pi-jé »), les **endogés** (prononcé « en-do-jé »), et les vers de terre **anéciques** (prononcé « a-né-cik »).

MATIERE ORGANIQUE

C'est la matière constituée de composés organiques qui provient des restes d'organismes tels que les plantes et animaux morts et de leurs déchets dans l'environnement.

TURRICULES

Ce sont les déjections des vers de terre. Selon le groupe écologique des vers de terre, ils peuvent être déposés à la surface du sol, à l'intérieur du sol ou dans leurs galeries.

INGENIEUR DES ECOSYSTEMES

Ce sont des organismes qui modulent la disponibilité des ressources et habitat pour les autres espèces. Les termites, les fourmis et les vers de terre sont les principaux ingénieurs des écosystèmes.

Figure 1

(A) Les trois principaux groupes de vers de terre, épigés, anéciques et endogés. Crédits d'illustration : www.lesbullesdemo.fr.

(B) Reconstruction 3D par rayons X des systèmes de galeries d'une espèce endogène appelée ver gris (*Aporrectodea icterica*) et d'une espèce anécique appelée ver de nuit (*Lumbricus terrestris*). Crédits de l'image radiographique : Yvan Capowiez.

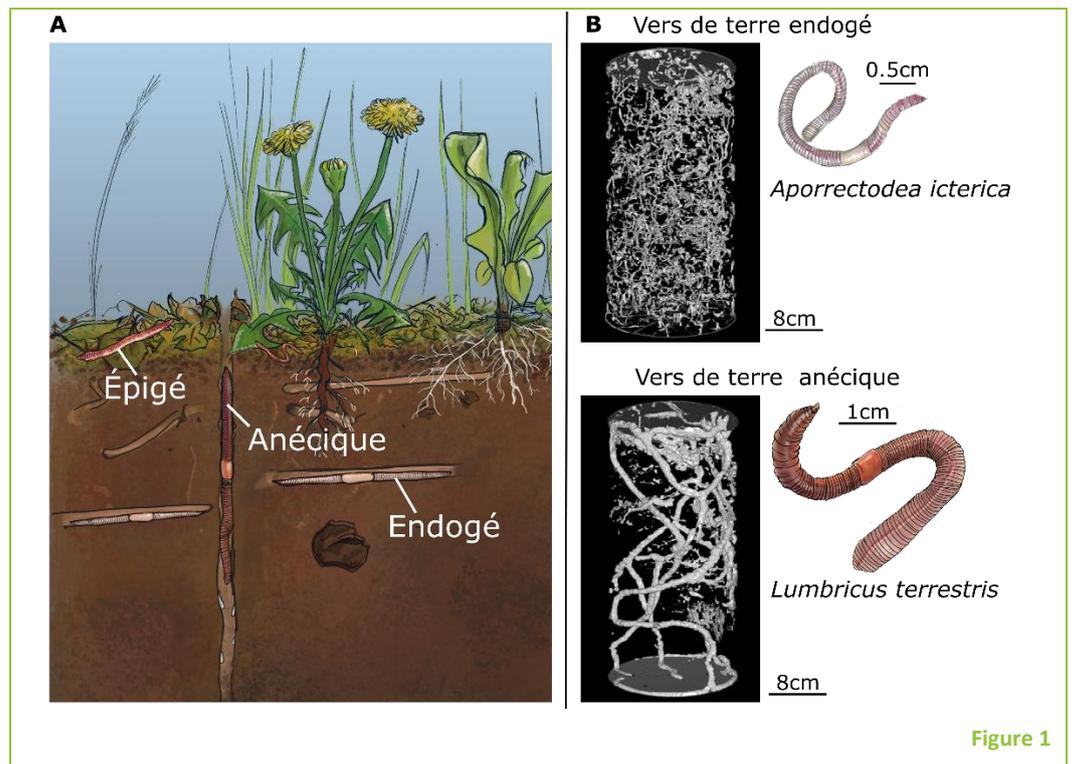


Figure 1

COMMENT LES VERS DE TERRE MODIFIENT LE SOL ET STIMULENT LES BACTÉRIES

Les galeries des vers de terre modifient profondément la structure du sol et créent de grands espaces aérés. Le réseau de galerie est habité par de nombreux organismes tels que les petits invertébrés, les bactéries et les racines des plantes. Les galeries agissent également comme des tuyaux et augmentent les échanges d'eau et d'oxygène entre la surface et les couches plus profondes du sol. Selon le groupe écologique auxquels ils appartiennent, les vers de terre affectent différemment les flux d'eau et de gaz à travers leurs galeries. Dans l'expérience de Capowiez et al. (2015), réalisée dans un tube de PVC (16cm de diamètre, 30cm de hauteur, **Figure 1B**), les galeries des vers de terre endogés ont permis un taux d'infiltration d'eau de 5,2 L par minute, alors que ce taux a atteint 12,4 L par minute dans les galeries des vers de terre anéciques car elles sont plus grandes, plus continues et verticales.

Dans les écosystèmes où les vers de terre sont abondants, les feuilles mortes disparaissent assez rapidement et ne s'accumulent pas à la surface du sol. Les vers de terre épigés transforment les feuilles mortes en petits morceaux qu'ils réintègrent dans leurs turricules. Les vers de terre anéciques enterront les feuilles mortes dans les couches plus profondes du sol. Les vers de terre endogés mangent ensuite les petites feuilles mortes ou les particules de racines dans le sol et les excrètent derrière eux partout où ils vont. Ces actions des vers de terre entraînent une redistribution de la matière organique dans le sol. Au lieu de s'accumuler à la surface du sol, la matière organique est mieux répartie et disponible pour les racines des plantes et les autres habitants du sol.

Figure 2

La matière organique passe dans le tube digestif du ver de terre, est brisée en petits morceaux, digérée, et le reste sort sous forme de déjections appelées turricules. Les turricules contribuent ensuite à nourrir les bactéries. Les bactéries sont également présentes dans le tube digestif des vers de terre. Les bactéries ont besoin du bon mélange de matières organiques, d'eau et d'air pour être actives. Image inspirée de Drake et Horn (2007).

OXYGENE

C'est un gaz qui constitue 21% de l'air que nous respirons. Les plantes produisent de l'oxygène à partir du dioxyde de carbone, de l'eau et de la lumière du soleil, tandis que les animaux utilisent l'oxygène et produisent du dioxyde de carbone.

DIOXYDE DE CARBONE

C'est un gaz incolore composé d'un atome de carbone et de deux d'oxygène. Sa concentration atmosphérique est passée de 0,028% à 0,042% depuis 1850 provoquant une augmentation d'un degré de la température globale.

PROTOXYDE D'AZOTE

C'est un gaz incolore composé de deux atomes d'azote et d'un atome d'oxygène. Il est en très faible concentration mais le protoxyde d'azote réchauffe l'atmosphère 270 fois plus que le dioxyde de carbone.

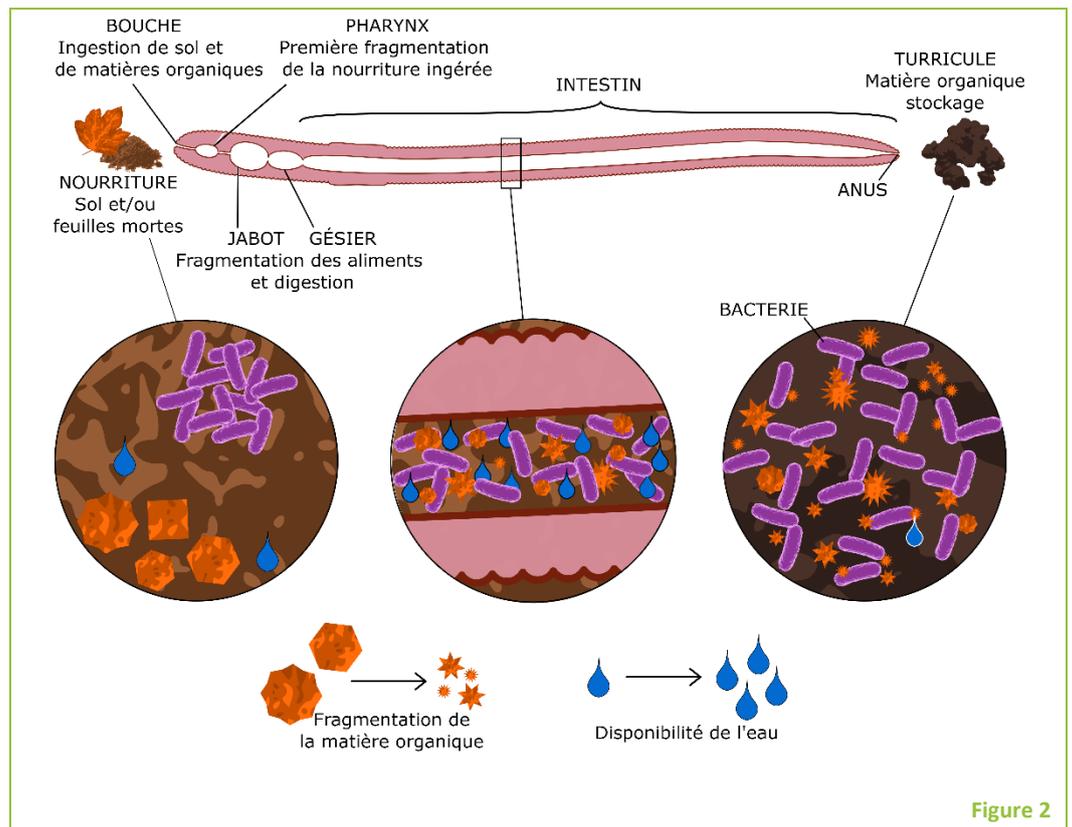


Figure 2

Les modifications effectuées par les vers de terre affectent d'autres groupes importants d'organismes du sol, comme les bactéries. Les bactéries ont besoin d'un équilibre précis entre la nourriture, l'eau et l'air pour vivre. Elles transforment les petits morceaux de matière organique en particules encore plus petites, les décomposant en carbone et en azote. Ces particules sont si petites que les racines des plantes peuvent facilement les absorber et les utiliser pour se développer. Pour décomposer leur nourriture, les bactéries utilisent de l'**oxygène** (elles respirent, même sans avoir de poumons) et produisent du **dioxyde de carbone** comme déchet. S'il y a trop d'eau, comme lors d'une inondation ou dans les rizières, les bactéries produisent plutôt du **protoxyde d'azote** comme déchet. Le dioxyde de carbone et le protoxyde d'azote sont des **gaz à effet de serre** qui augmentent la température de l'atmosphère et contribuent ainsi au changement climatique.

Dans certains sols, les bactéries peuvent manquer de matière organique, d'air ou d'eau, et être moins actives. Les vers de terre peuvent « réveiller » les bactéries en rendant la matière organique, l'eau et l'air plus disponibles. Cet effet est encore plus marqué pour les bactéries qui vivent dans le système digestif du ver de terre (**Figure 2**). Dans ce dernier, la matière organique et le sol sont parfaitement mélangés dans un environnement saturé en eau. C'est le paradis des bactéries productrices de protoxyde d'azote [4]. **Étant donné que les vers de terre stimulent ces bactéries, on peut se demander s'ils vont augmenter ou diminuer les émissions de gaz à effet de serre.**

GAZ A EFFET DE SERRE

C'est un gaz qui absorbe l'énergie solaire réémise par la terre, conservant cette énergie dans notre atmosphère et provoquant l'effet de serre, c'est-à-dire le réchauffement de l'atmosphère.

PH

En chimie, le pH est une échelle utilisée pour spécifier l'acidité ou la basicité d'une solution liquide. On mesure que les solutions acides ont des valeurs de pH plus faibles que les solutions basiques ou alcalines.

Figure 3

(A) Une chambre expérimentale peut être utilisée pour mesurer les émissions de GES dans les environnements naturels. Les gaz produits par les bactéries s'accumulent dans la chambre scellée, puis sont prélevés à l'aide d'une seringue à travers le bouchon en latex pour mesurer les niveaux de dioxyde de carbone (CO_2) et d'oxyde nitreux (NO_2). **(B)** Exemple d'une chambre placée à la surface du sol d'un pot expérimental avec des vers de terre et des plantes. Crédits : Pierre Ganault.

ÉTUDE DE L'IMPACT DES VERS DE TERRE SUR LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ?

Pour étudier l'effet des vers de terre sur les bactéries et les gaz à effet de serre qu'ils produisent, les scientifiques peuvent réaliser des expériences. Dans un type d'expérience de laboratoire, les scientifiques utilisent des pots remplis de terre préalablement tamisée pour éliminer les roches, tous les animaux et les racines. Ils ajoutent ensuite des vers de terre, généralement quelques individus de la même espèce, idéalement en nombre proche de celui que l'on trouve dans la nature. Certains pots sont conservés sans vers de terre, à titre de comparaison. Ensuite, on mesure les émissions de gaz à effet de serre à la surface du sol et on étudie les bactéries présentes dans les pots, pour voir si ces émissions sont plus élevées en présence ou en l'absence de vers de terre.

Une autre méthode consiste à mesurer les gaz à effet de serre directement dans la nature. Dans ce cas, des chambres cylindriques sont enfoncées dans le sol pour mesurer des gaz comme le dioxyde de carbone et le protoxyde d'azote (**Figure 3**). Les vers de terre présents dans le sol sont également étudiés afin que les scientifiques puissent essayer d'établir un lien entre les émissions de gaz à effet de serre, l'abondance et le nombre d'espèces de vers de terre présentes. Les scientifiques peuvent également mesurer d'autres caractéristiques du sol importantes pour l'activité bactérienne, notamment la teneur en eau, la disponibilité de la matière organique et le pH.

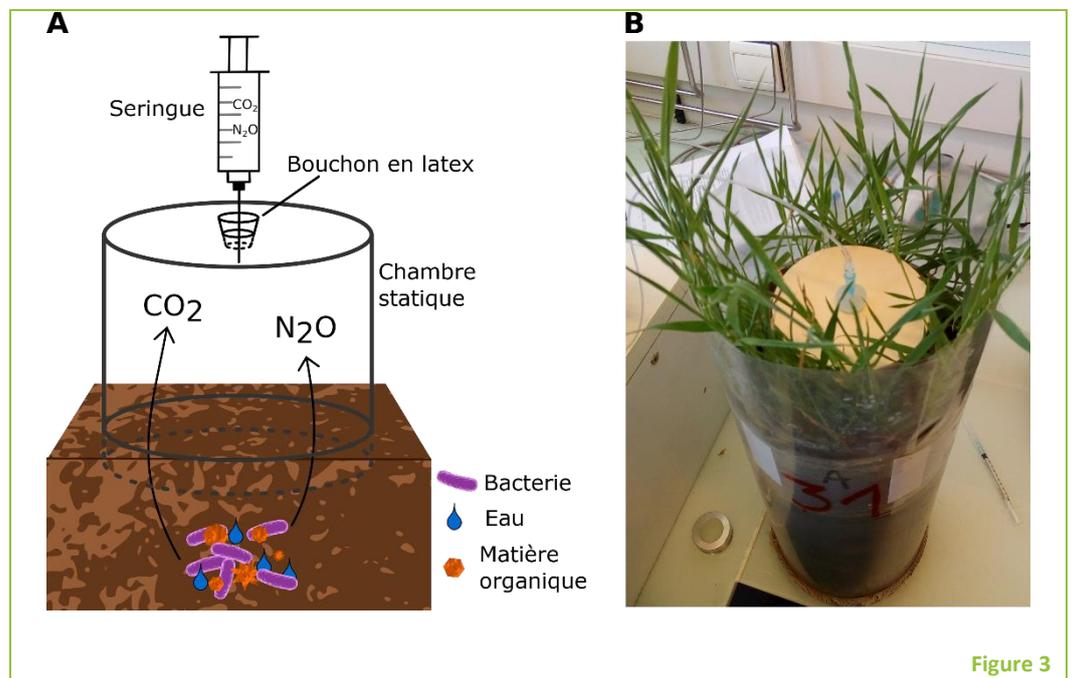


Figure 3

Une autre façon de connaître l'effet des vers de terre sur les émissions de gaz à effet de serre est de rassembler les résultats de toutes les études scientifiques déjà existantes. Ainsi, il a été constaté qu'en moyenne, les vers de terre augmentent les émissions de dioxyde de carbone de 33% et les émissions d'oxyde nitreux de 42% [5]. Cela suggérerait que, bien qu'ils soient bénéfiques pour la santé du sol et des plantes, les vers de terre peuvent être néfastes pour

l'environnement car ils augmentent l'activité bactérienne et les émissions de gaz à effet de serre qui en découlent.

CES EXPÉRIENCES ONT DES LIMITES

Voici ce qui semblerait être un véritable dilemme : Les vers de terre améliorent la santé des sols, mais en même temps ils semblent augmenter les émissions de gaz à effet de serre ! Avant d'en arriver à cette conclusion, il est important de reconnaître que les expériences que nous avons décrites présentent toutes des inconvénients qui empêchent d'être totalement certain du rôle que jouent les vers de terre dans les émissions de gaz à effet de serre. Les interactions entre les vers de terre, les bactéries, le sol, les plantes et l'eau qui entraînent des émissions de gaz à effet de serre sont extrêmement complexes. Ces facteurs varient énormément dans l'environnement naturel et sont très difficiles à recréer avec précision dans des expériences scientifiques.

Une première limite à notre compréhension complète du rôle des vers de terre dans les émissions de gaz à effet de serre est la grande diversité des propriétés des sols, telles que la teneur en sable. La plupart des vers de terre préfèrent généralement les sols à faible teneur en sable, car les sols sableux sèchent plus rapidement et les particules de sable peuvent être abrasives pour leur peau. Le pH du sol peut également avoir une forte incidence sur les vers de terre, et beaucoup d'entre eux ne peuvent survivre dans des sols dont le pH est inférieur à 4,5. Il serait extrêmement difficile de fabriquer des pots expérimentaux pour les milliers de types de sols différents qui existent dans la nature, de sorte que nos connaissances sont actuellement limitées à certains types de sols communs.

Une deuxième limite est que très peu d'études ont inclus des plantes dans les expériences. Ces dernières absorbent pourtant l'eau et les nutriments avec leurs racines, ce qui réduit la disponibilité des ressources nutritives pour les bactéries. Cependant, les plantes et les bactéries s'entraident également. Les racines des plantes produisent du sucre dans le sol environnant que les bactéries peuvent manger en échange de l'apport de minéraux dont les plantes ont besoin. Malheureusement, il est très difficile de mettre en place une expérience permettant de tester toutes les interactions positives et négatives possibles qui se produisent en même temps dans le sol.

La troisième limite est que la plupart des études ont maintenu constante la teneur en eau du sol. Ceci est généralement fait dans le but d'optimiser l'activité des vers de terre. Mais dans la nature, les sols s'assèchent constamment et sont réhumidifiés par les pluies. Les vers de terre peuvent être complètement inactifs si le sol devient trop sec. Cela signifie que les expériences dans lesquelles le sol a une teneur en eau constante surestiment les effets des vers de terre sur les émissions de gaz à effet de serre. Dans une expérience de laboratoire où les scientifiques ont utilisé des cycles de séchage et d'humidification plus réalistes, la présence de vers de terre a effectivement réduit les émissions d'oxyde nitreux [6]. Les scientifiques ont expliqué que les galeries des vers de terre augmentaient le flux d'eau vers les couches inférieures du sol et aéraient le sol, ce qui a accéléré le séchage du sol et réduit

l'activité des bactéries en surface. Il est très important d'étudier les effets des cycles de séchage et d'humidification, d'autant plus que ces cycles devraient être plus fréquents et plus extrêmes avec le changement climatique en cours.

CHANGEMENT CLIMATIQUE - NE BLÂMEZ PAS LES VERS DE TERRE

Nous vous avons montré à quel point il est complexe d'étudier les émissions de gaz à effet de serre provenant du sol. Les vers de terre modifient la répartition de la matière organique et la disponibilité de l'eau et de l'air dans le sol. Tous ces facteurs modifient l'activité des bactéries du sol. Cependant, les bactéries du sol dépendent également des propriétés du sol, des cycles de séchage et d'humidification et des plantes qui y poussent. Nous sommes loin d'avoir suffisamment d'études avec des expériences réalistes pour comprendre le véritable rôle des vers de terre dans les émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, les activités humaines, notamment l'agriculture, produisent de grandes quantités de gaz à effet de serre et nous devons continuer à réfléchir à des moyens innovants pour améliorer la santé de notre planète et de tous les êtres vivants.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la jeune relectrice pour son travail approfondi qui a permis d'améliorer le manuscrit. Les auteurs remercient le consortium TEBIS et les différentes associations telles que CARABES (<https://assocarabes.com>) avec lesquelles les auteurs travaillent pour sensibiliser les citoyens, encourager la protection des sols et de leur biodiversité. Les auteurs remercient également Morgane Arietta Ganault (www.lesbullesdemo.fr) pour la qualité des dessins détaillés.

REFERENCES

1. Orgiazzi A, Bardgett R D, Barrios E, Behan-Pelletier V, Briones MJJ, Chotte JL, De Beyn GB, Eggleton P, Fierer N, Fraser T, et al. *Global soil diversity atlas*. European Union. Luxembourg (2016). http://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/JRC_global_soilbio_atlas_online.pdf
2. Bottinelli N, Hedde M, Jouquet P, Capowiez Y. An explicit definition of earthworm ecological categories – Marcel Bouché's triangle revisited. *Geoderma* (2020) **372**:114361. doi:10.1016/j.geoderma.2020.114361
3. Capowiez Y, Bottinelli N, Sammartino S, Michel E, Jouquet P. Morphological and functional characterisation of the burrow systems of six earthworm species (Lumbricidae). *Biology and Fertility of Soils* (2015) **51**:869–877. doi:10.1007/s00374-015-1036-x
4. Drake HL, Horn MA. Earthworms as a transient heaven for terrestrial denitrifying microbes: a review. *Engineering in Life Sciences* (2006) **6**:261–265. doi:10.1002/elsc.200620126

5. Lubbers IM, van Groenigen KJ, Fonte SJ, Six J, Brussaard L, van Groenigen JW. Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms. *Nature Clim Change* (2013) **3**:187–194. doi:10.1038/nclimate1692
6. Chen C, Whalen JK, Guo X. Earthworms reduce soil nitrous oxide emissions during drying and rewetting cycles. *Soil Biology and Biochemistry* (2014) **68**:117–124. doi:10.1016/j.soilbio.2013.09.020

EDITED BY: Malte Jochum, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

CITATION: Ganault P, Delmotte S, Duhamet A, Lextrait G and Capowiez Y (2021) Earthworms and Their Role in Greenhouse Gas Emissions. *Front. Young Minds* 9:562583. doi: 10.3389/frym.2021.562583

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 Ganault, Delmotte, Duhamet, Lextrait and Capowiez. 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 CORRECTEURS



GWEN, AGE: 13

Hi, my name is Gwen, I live in the U.S. and play piano and volleyball. I just finished seventh grade, and my favorite subjects are science, math, art, and Spanish. I love to read, particularly Sci-Fi novels and series (I am also a huge fan of Harry Potter). I am very excited to be working with Frontiers for Young Minds!

JEUNES CORRECTEURS DE LA TRADUCTION



NOÉ BUGAUD

I am a student in biology at the University of Rennes, concerned about animal suffering and environmental crisis and I reviewed this article when I'm at high school. I write a lot: philosophical essays, songs, musics, and sometimes short stories. I lived my first nine years in Martinique, and since 2013, I have adapted perfectly to the metropolitan climate. As I write these lines, I aim to become a researcher in ethology - science of animal behaviour - or in ecology - science of ecosystems.

AUTHORS



PIERRE GANAULT

At each walk in nature, I cannot help myself from flipping logs and rocks over or searching into the dead leaves to see what wonderful animal I will find hiding there. This curiosity led me to study soil biodiversity and do a Ph.D. on the effect of tree species mixture on soil invertebrates and the role of these animals for soil processes. I also work with associations to bridge the gap between scientists and citizens so we can work all together to study, better understand, and protect the creatures living in the soil. *pierre.ganault@gmail.com



SACHA DELMOTTE

My passions for nature, humans, science, and the transmission of knowledge led me to pursue 7 years of university studies in ecology, biology, and geology. I am also an animator in the plains of nature for audiences ranging from 3 to 18 years old to awaken them to the things that fascinate me.



AGNÈS DUHAMET

Agnès is a Ph.D. student in marine biology. She obtained her bachelor's degree in biology at the University of Avignon and her master's degree in ecology and evolutionary biology at the University of Montpellier. She is passionate about nature and likes to transmit knowledge about natural sciences.



GAËLLE LEXTRAIT

I have always been passionate about microorganisms, whether pathogenic or mutualistic. I turned to the interactions between small animals living in soils (insects) and their symbionts. I am currently a Ph.D. student in microbiology at the CNRS of Gif-sur-Yvette (University Paris-Saclay), where I am continuing my observations on the symbiotic interactions between stinkbugs and their symbiotic bacteria.



YVAN CAPOWIEZ

Yvan Capowiez is a Senior Research Scientist at the French Agronomy Institute (INRAE), Avignon, France. His research is focused on earthworm ecology and behavior. He has extensive experience studying how earthworms burrow in the soil and how the resulting burrows will influence important soil functions, such as water transport and organic matter burial.

TRANSLATORS

SACHA DELMOTTE

(see Authors)