

LE MONDE FASCINANT DE LA COMMUNICATION SOUTERRAINE

Cristiana Ariotti¹, Elena Giuliano¹, Paolina Garbeva² et Gianpiero Vigani^{1,2*}

¹Unité Physiologie des plantes, département des sciences de la vie et de la biologique des systèmes, université de Turin, Turin, Italie

²Département d'écologie microbienne, Institut néerlandais pour l'écologie (NIOO-KNAW), Wageningen, Pays-Bas

JEUNES RELECTEURS



**SHASHI
PREETHAM**
13 ANS

Si tu étais un microbe vivant dans le sol, comment t'y prendrais-tu pour dire quelque chose à tes voisins ? Parler anglais, français ou italien ne te servirait pas à grand-chose sous terre. Il te faudrait en fait utiliser les molécules à la place des mots ! Les microbes du sol tels que les bactéries et les champignons communiquent entre eux et avec les autres organismes, comme les animaux ou les plantes, en produisant différents types de molécules. De nombreux organismes utilisent ces molécules comme des mots chimiques. Ces molécules peuvent être volatiles, autrement dit comme les gaz et tout comme l'air. Elles peuvent voyager facilement par l'intermédiaire de petites poches d'air dans le sol et aller très loin. C'est une sorte de communication longue distance. D'autres molécules sont solubles et peuvent se dissoudre dans l'eau, permettant une communication entre les organismes qui sont proches les uns des autres. Les

organismes qui perçoivent cette communication peuvent répondre de différentes manières, notamment en grandissant plus vite ou en produisant d'autres molécules en réaction. Dans cet article, nous allons explorer le monde passionnant et mystérieux de la communication chimique souterraine et son rôle dans les interactions entre les microbes et les plantes.

LA VIE SOUTERRAINE

Le sol est l'un des écosystèmes les plus fascinants et complexes sur Terre. Il ne s'agit pas seulement de la surface externe de notre planète où les plantes grandissent, mais également d'un monde caché spectaculaire qui abrite de nombreux types d'organismes. La terre est composée de cailloux irréguliers, de petits pores d'air et de matière organique (végétaux et animaux morts). Cet environnement est un habitat merveilleux pour les microbes, les insectes et les plantes. Qui aurait cru que la terre pouvait abriter toute cette vie ? En fonction des caractéristiques du sol (taille des cailloux, types de nourriture, quantité d'eau, etc.), différents organismes peuvent y vivre. Tous ces organismes forment une communauté spécifique, un ensemble unique d'organismes différents vivant en harmonie.

Sais-tu ce que sont les microbes du sol ? Ce sont de minuscules organismes qui s'accrochent à des particules de terre ou d'autres êtres vivants. Il existe des champignons dont la forme est similaire à des racines très fines et qui peuvent ainsi toucher leurs voisins et échanger des informations avec eux. Il y a aussi les bactéries, qui sont des organismes constitués d'une seule et unique cellule et que tu ne peux généralement voir qu'avec un microscope. Si ces organismes vivent dans la **rhizosphère** (la partie du sol qui entoure les racines des plantes), on les appelle des microbes de rhizosphère. Ils peuvent également vivre à la surface ou à l'intérieur des racines [1]. Dans la rhizosphère, tu trouveras des microbes bénéfiques (bons), qui aident les plantes à survivre et pousser, ou des microbes nuisibles (mauvais), qui attaquent les plantes et les rendent malades.

COMMENT LES MICROBES DU SOL ET LES PLANTES COMMUNIQUENT-ILS ?

Ce qui est particulièrement passionnant, c'est la capacité des microbes du sol à communiquer entre eux ainsi qu'avec d'autres organismes, y compris les plantes et les animaux. La communication entre les microbes et les plantes a été étudiée par de nombreux scientifiques. Cette communication repose sur l'utilisation de molécules à la place des mots : **la communication chimique**. On peut voir une molécule comme un groupe de petites boules (qu'on appelle atomes) reliées entre elles. Ces atomes sont des éléments chimiques importants, comme le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O) et l'azote (N), qui s'assemblent (comme un puzzle) pour former des molécules comme l'eau (H₂O) ou le dioxyde de carbone (CO₂). La combinaison particulière d'atomes crée des molécules aux diverses propriétés.

ÉCOSYSTÈME

L'ensemble des différents organismes (plantes, animaux et microbes) qui interagissent avec la matière non vivante dans une zone en particulier.

RHIZOSPHÈRE

La partie du sol qui entoure les racines et où les plantes et les microbes communiquent à l'aide de molécules.

COMMUNICATION CHIMIQUE

La communication qui a lieu entre deux organismes ou plus (plantes, animaux et microbes) à l'aide de molécules.

SOLUBLE

Une substance qui se dissout dans l'eau, comme le sel et le sucre.

VOLATILE

Une substance qui a facilement tendance à se transformer en gaz et se diffuser dans l'air, comme le parfum d'une fleur.

COV

Les composés organiques volatils produits par différents organismes, comme les plantes et les microbes, pour communiquer entre eux à distance.

FIGURE 1

Interactions entre les plantes et les microbes dans la rhizosphère. L'illustration montre trois types d'interaction : **(A)** interactions entre les plantes et les microbes vivant à la surface des racines ou à proximité, au moyen de molécules solubles ; **(B)** interactions entre les plantes et les microbes vivant loin des racines, au moyen de molécules volatiles ; et **(C)** interactions avec les microbes vivant à l'intérieur des racines, au contact direct des cellules racinaires. Ces interactions ont lieu dans le sol, qui est composé de cailloux, de pores d'air et de matière organique.

Les microbes du sol peuvent produire plusieurs types de molécules, qui peuvent être divisés en deux catégories principales : les molécules **solubles** et les molécules **volatiles**. Les molécules solubles se dissolvent dans l'eau, comme un morceau de sucre dans du café, et peuvent être transportées par l'eau dans le sol. Elles servent à communiquer avec les plantes qui poussent à proximité des microbes. Les molécules volatiles, aussi appelées **composés organiques volatils (COV)**, servent à communiquer sur de longues distances (Figure 1). Ces composés volatils sont des gaz, qui voyagent facilement par l'intermédiaire des pores d'air présents dans la terre. Les plantes peuvent sentir ces gaz, tout comme ton nez peut sentir une fleur ou du pain qui sort du four [1]. La communication chimique n'a pas lieu que dans un seul sens (des microbes vers les plantes), mais dans les deux sens ; les plantes produisent elles aussi des molécules que les microbes arrivent à comprendre.

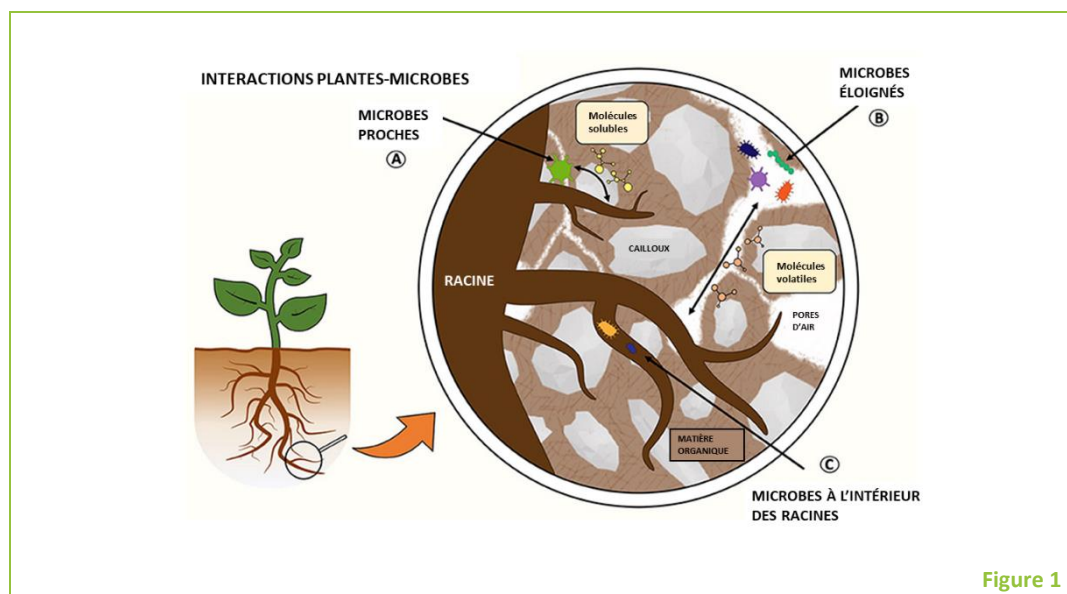


Figure 1

QUELS SONT LES EFFETS DES MOLÉCULES DE COMMUNICATION ?

Voici quelques exemples de ce qui se produit entre les microbes et les plantes lorsqu'ils se parlent.

Les plantes et les microbes s'entraident pour trouver de la nourriture

De nombreux microbes du sol peuvent aider les plantes à pousser, car ils font en sorte que davantage de nutriments soient à disposition des plantes. Par exemple, une bactérie du nom de rhizobium peut transformer l'azote (N_2) présent dans l'air pour en faire une autre molécule : l'ammoniac (NH_3). Cette transformation, qu'on appelle la fixation de l'azote, a lieu dans la terre. La fixation de l'azote est très importante pour les plantes, car elles ont besoin d'azote pour pousser et peuvent puiser le NH_3 uniquement dans le sol. En transformant le N_2 en NH_3 , les rhizobiums aident les plantes à pousser et à se fortifier !

Fait encore plus intéressant, les rhizobiums peuvent communiquer avec un groupe de plantes en particulier, notamment les haricots et les pois. Mais comment fonctionne ce dialogue ? Tout d'abord, la plante produit dans la

rhizosphère des molécules capables d'attirer le rhizobium : les isoflavones. La bactérie détecte que la plante lui « parle » et va vers elle. Sur son chemin pour arriver jusqu'à la plante, le rhizobium commence à produire d'autres molécules, les facteurs Nod, qui indiquent à la plante de créer un espace dans ses racines, un nodule racinaire, où le rhizobium pourra vivre. En échange de cette place où la bactérie pourra vivre et se nourrir (de sucre) grâce à la plante, le rhizobium apporte à la plante du NH_3 en grande quantité (Figure 2). En conséquence, les plantes qui permettent aux rhizobiums de vivre avec elles ont une bien meilleure croissance. Pour la plante comme pour le rhizobium, vivre ensemble présente un avantage, car les deux organismes ont plus de nourriture à leur disposition qu'en vivant seuls et peuvent donc mieux se développer [2].

Figure 2

Les effets des interactions entre la plante et le rhizobium sur la structure des racines. **(A)** Structure racinaire normale et début d'une communication chimique. La plante commence par produire des isoflavones (1), puis le rhizobium réagit en produisant des facteurs Nod (2). **(B)** Le rhizobium se dirige vers la racine et s'accroche à un poil racinaire, qui change alors de forme pour envelopper la bactérie de sorte qu'elle puisse pénétrer dans la racine. **(C)** Formation du nodule racinaire, l'espace où la bactérie se multiplie et où a lieu l'échange de sucre et d'azote.

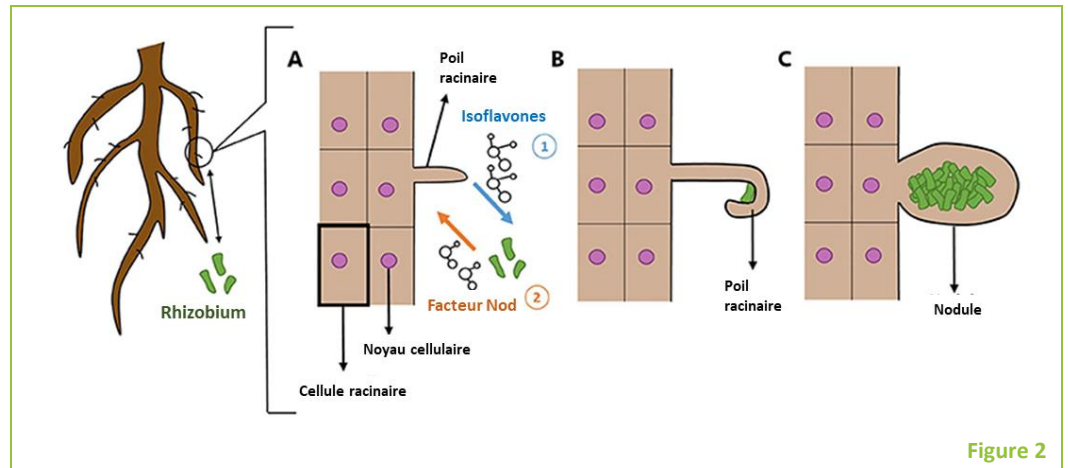


Figure 2

Les microbes peuvent protéger les plantes des agents pathogènes et des parasites

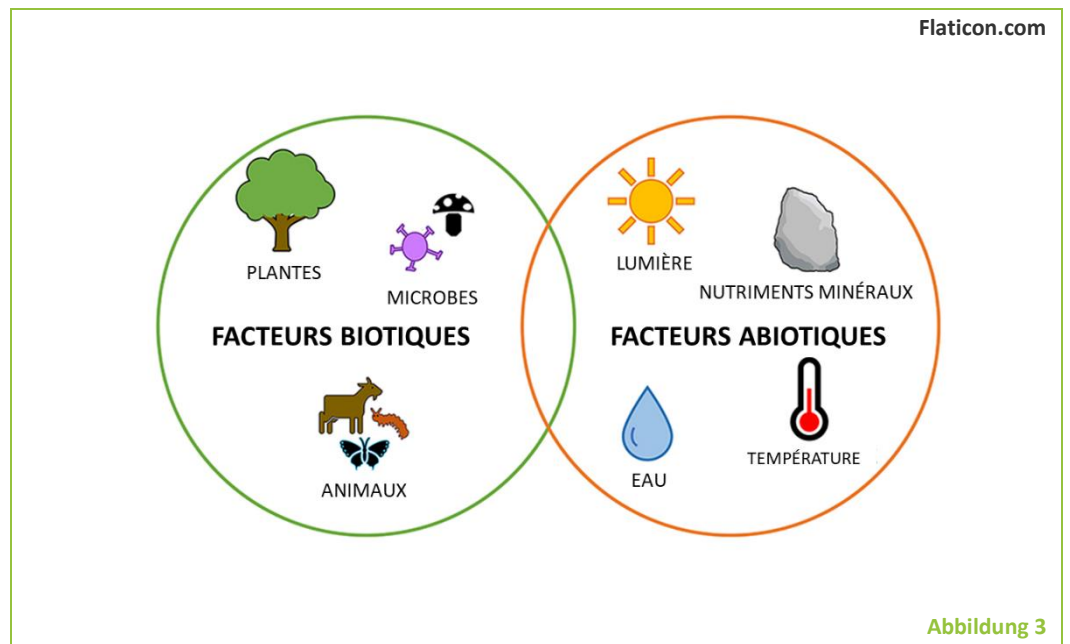
Les **facteurs biotiques** sont les parties vivantes d'un environnement, comme les plantes, les animaux et les microbes (Figure 3). Le stress biotique est le stress ressenti par un organisme, comme lorsqu'une plante est abîmée par des facteurs biotiques tels que des mauvais microbes (agents pathogènes) ou des insectes nuisibles (parasites). Les bons microbes peuvent aider les plantes à lutter contre les agents pathogènes et les parasites de deux manières. Premièrement, les microbes peuvent repousser l'agent pathogène/le parasite ou le tuer. Par exemple, certains bons microbes produisent des COV qui peuvent interrompre la croissance d'un agent pathogène ou l'attaque d'un parasite sur une plante. Deuxièmement, les bons microbes peuvent aider les plantes à lutter contre les agents pathogènes en leur indiquant de se préparer à lutter en augmentant leurs défenses. Ta mère te dit peut-être de manger des oranges l'hiver, car elles contiennent une molécule importante, la vitamine C, qui renforce tes défenses immunitaires et te protège des maladies. Le mécanisme est le même pour les microbes et les plantes ! Par exemple, les molécules produites par la bactérie *Pseudomonas fluorescens* permettent à la plante de mieux résister aux attaques des agents pathogènes [3].

FACTEURS BIOTIQUES

Les composants vivants d'un environnement, comme les plantes, les animaux et les microbes.

FIGURE 3

Facteurs biotiques et abiotiques importants qui interagissent dans l'environnement. Ils ont un impact sur la croissance des plantes et peuvent influencer la communication chimique entre les plantes et les microbes dans le sol. L'icône de champignon provient du site Flaticon.com.



FACTEURS ABIOTIQUES

Les composants non vivants d'un environnement, comme les pierres, le soleil et l'eau.

Les microbes peuvent aider les plantes à survivre dans les zones difficiles

Les **facteurs abiotiques** sont les parties non vivantes d'un environnement, notamment le soleil, la température et l'eau (Figure 3). Le stress abiotique est l'effet négatif de ces facteurs sur un organisme vivant. Une eau en quantité faible et une teneur en sel élevée sont des exemples de stress abiotique qui affaiblissent les plantes. Les bons microbes peuvent aider les plantes à vivre dans les zones difficiles où les conditions de vie sont mauvaises. Par exemple, la bactérie *Pseudomonas chlororaphis* O6 permet à certaines plantes de survivre quand il n'y a pas assez d'eau [4]. D'autres microbes, comme la bactérie *Bacillus subtilis*, aident les plantes à survivre dans les sols où la concentration en sel est élevée en réduisant la quantité de sel qui pénètre dans les racines de la plante [5].

POURQUOI EST-IL IMPORTANT DE COMPRENDRE LA COMMUNICATION CHIMIQUE ?

La communication chimique entre les microbes et d'autres organismes a commencé à évoluer il y a des millions d'années. Il y a quatre cent cinquante millions d'années, les plantes sont sorties de l'eau et ont commencé à vivre sur la terre ferme. Les scientifiques sont convaincus que les champignons du sol ont assisté les plantes dans ce déplacement vers les terres. Les champignons ont aidé les plantes à utiliser des nutriments importants pour leur survie [6]. Pendant des millions d'années, la communication chimique entre les organismes du sol a donc été essentielle pour le bien-être et la croissance des plantes. Dans cet article, nous avons expliqué comment les interactions entre les plantes et les microbes peuvent permettre aux plantes d'avoir davantage de nourriture, de se défendre contre les agents pathogènes ou de vivre dans les zones difficiles. Malheureusement, ces interactions sont en danger ! L'utilisation intensive d'antibiotiques, de pesticides et d'engrais dans l'agriculture peut modifier le sol et ainsi affecter la communauté souterraine, provoquant la mort de certains organismes souterrains ou favorisant la

croissance d'autres. Les modifications de la communauté microbienne peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les plantes. Par exemple, les microbes dont la croissance est favorisée peuvent être des agents pathogènes !

La population humaine continue d'augmenter, et comme les gens ont besoin de nourriture pour survivre, il faut trouver de nouvelles méthodes pour augmenter la croissance des plantes et la production de nourriture [2]. Les microbes sont de plus en plus utilisés comme alliés naturels pour améliorer la croissance des plantes et la production de nourriture. L'étude de la communication entre microbes et plantes est nécessaire pour comprendre quels microbes peuvent être utilisés pour favoriser la croissance des plantes. Nous bien devons faire attention à choisir les microbes adéquats ! Par exemple, on pourrait croire que l'utilisation du champignon *Fusarium culmorum* est une bonne idée, car il aide certaines plantes à pousser dans les zones difficiles riches en sel. Et pourtant, le *Fusarium culmorum* est un organisme nuisible pour le maïs : c'est un agent pathogène ! Pour ces raisons, les chercheurs souhaitent comprendre le plus possible la communication chimique afin d'élargir nos connaissances sur les écosystèmes du sol. Nous pourrions ainsi comprendre comment les organismes interagissent dans ces écosystèmes et utiliser les interactions entre les plantes et les microbes pour favoriser la croissance des plantes destinées à notre consommation tout en protégeant les écosystèmes du sol.

RÉFÉRENCES

- [1] van Dam, N. M., Weinhold, A., and Garbeva, P. 2016. Calling in the dark: the role of volatiles for communication in the rhizosphere. *ISME J.* 12:1252–62. doi: 10.1007/978-3-319-33498-1_8
- [2] Tomer, S., Suyal, D. C., and Goel, R. 2016. "Biofertilizers: a timely approach for sustainable agriculture," in *Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*, eds D. Choudhary, A. Varma, and N. Tuteja (Singapore: Springer). p. 375–95. doi: 10.1007/978-981-10-2854-0_17
- [3] Van Wees, S. C. M., Van der Ent, S., and Pieterse, C. M. J. 2008. Plant immune responses triggered by beneficial microbes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11:443–8. doi: 10.1016/j.pbi.2008.05.005
- [4] Garbeva, P., and Weiskopf, L. 2020. Airborne medicine: bacterial volatiles and their influence on plant health. *New Phytol.* 226:32–43. doi: 10.1111/nph.16282
- [5] Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., and López-Bucio, J. 2009. The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signal. Behav.* 4:701–12. doi: 10.4161/psb.4.8.9047
- [6] Field, K. J., Pressel, S., Duckett, J. G., Rimington, W. R., and Bidartondo, M. I. 2015. Symbiotic options for the conquest of land. *Trends Ecol. Evol.* 30:477–86. doi: 10.1016/j.tree.2015.05.007

MODIFICATIONS: [Rémy Beugnon](#) Centre allemand de recherche intégrative sur la biodiversité (iDiv), Allemagne

CITATION: Ariotti C, Giuliano E, Garbeva P and Vigani G (2020) The Fascinating World of Belowground Communication. *Front. Young Minds* 8:547590. doi: 10.3389/frym.2020.547590

CONFLIT D'INTÉRÊTS: Les auteurs déclarent que leurs recherches ont été effectuées en l'absence de relations commerciales ou financières pouvant être interprétées comme constituant un conflit d'intérêts potentiel.

COPYRIGHT © 2020 Ariotti, Giuliano, Garbeva et Vigani. Cet article en accès libre est diffusé conformément aux conditions de la licence Attribution Creative Commons (CC BY). L'utilisation, la diffusion ou la reproduction sur d'autres forums est autorisée, sous réserve que l'auteur ou les auteurs originaux et le ou les titulaires des droits d'auteur soient crédités et que la publication Aucune utilisation, diffusion ou reproduction n'est autorisée autrement qu'en conformité avec ces conditions.

JEUNES RELECTEURS



SHASHI PREETHAM, ALTER: 13

Bonjour, je m'appelle Shashi, j'ai 13 ans et je vais à l'école Penglais (Pays de Galles). J'aime jouer au foot et au basket. Mes matières préférées sont les maths et l'informatique. Je suis actuellement en cinquième. Je suis quatre fois détenteur du record du monde dans un jeu qui s'appelle Rocket League et mon nom apparaît dans l'édition du Guinness des records 2018 consacrée aux jeux vidéo.

AUTEURS

CHRISTIANA ARIOTTI

J'ai récemment obtenu mon diplôme en biologie environnementale à l'université de Turin. Je suis actuellement en doctorat dans cette même université, où j'étudie la communication entre les plantes et les microbes du sol qui vivent dans des conditions pauvres en fer. Sur mon temps libre, j'aime faire de l'alpinisme (j'habite à proximité des Alpes !) et chanter dans une chorale.



**ELENA GIULIANO**

J'ai récemment décroché un diplôme en biologie environnementale à l'université de Turin. J'aimerais poursuivre avec un doctorat en sciences des végétaux. Je m'intéresse aux interactions entre les plantes et les microbes et à la protection des plantes contre le stress biotique et abiotique. J'aime partager mes connaissances et mes idées avec des gens de différentes cultures et j'adore lire et faire de la photo pendant mon temps libre.

**PAOLINA GARBEVA**

Je suis responsable de groupe du Département d'écologie microbienne de l'Institut néerlandais pour l'écologie (NIOO) à Wageningen. Le but de mes recherches actuelles est de comprendre les mécanismes fondamentaux de la communication et des interactions chimiques microbiennes.

**GIANPIERO VIGANI**

Je suis chercheur à l'université de Turin (Italie). L'objectif de mes recherches est de comprendre comment les plantes extraient les nutriments et l'eau du sol et de quelle façon se produisent les interactions souterraines entre les plantes et les microbes. *gianpiero.vigani@unito.it

TRADUCTRICE**AUDREY LOSFELD DUTOIT**

Audrey s'est toujours intéressée à la nature. Sa saison préférée est le printemps, quand tout est en fleur et paré de mille couleurs. Petite, elle adorait chercher les coccinelles et les escargots dans le jardin et regarder des reportages sur les animaux. Quand elle ne planche pas sur une traduction, elle aime jouer avec ses deux enfants de 1 et 3 ans (notamment à chercher les papillons et les coccinelles !), regarder des séries avec leur papa et cuisiner de bons petits plats pour toute la famille.

FUNDING (TRANSLATION)

The team Translating Soil Biodiversity acknowledges support of the German Centre for integrative Biodiversity Research (iDiv) Halle-Jena-Leipzig funded by the German Research Foundation (DFG FZT 118, 202548816).