

CULTIVER LES TERRES TOUT EN PRÉSERVANT L'ENVIRONNEMENT : QUE NOUS DISENT LES ORGANISMES DU SOL ?

Jes Hines^{1,2*}, Franciska de Vries³

¹ Deutsches Zentrum für Integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Jena-Halle-Leipzig, Leipzig, Deutschland

² Institut für Biologie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland

³ Institut für Biodiversität und Ökosystemdynamiken, Universität Amsterdam, Amsterdam, Niederlande

JEUNE RELECTEUR :



KONSTANTIN

ÂGE : 14

Les humains cultivent des terres pour produire de la nourriture, et les pratiques agricoles qu'ils utilisent peuvent influencer les organismes qui vivent dans le sol. Les organismes du sol font un travail essentiel, par exemple en décomposant la matière organique et en libérant des nutriments pour la croissance des plantes. En intensifiant les pratiques agricoles (par exemple en utilisant plus de pesticides et d'engrais), on peut produire et récolter plus de culture sur une surface plus petite. Mais ces pratiques peuvent aussi nuire aux organismes du sol et au travail qu'ils réalisent. Au contraire, on peut utiliser des pratiques agricoles plus respectueuses, qui sont bénéfiques pour les animaux du sol, même si ces pratiques demandent plus d'espace. Dans tous les pays, les humains ont besoin de nourriture issue des cultures pour vivre en bonne santé. Parce que nous partageons tous une même Terre, nous devons nous rappeler comment

l'agriculture influence les animaux du sol pour décider comment nous utilisons nos terres (agriculture intensive vs extensive).

Figure 1

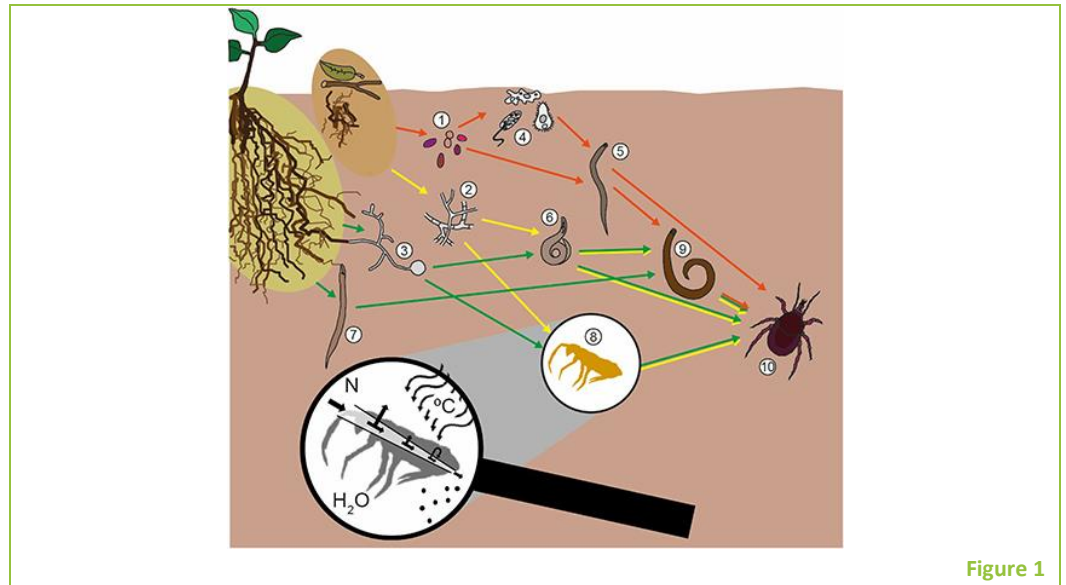
Le réseau trophique du sol est composé de nombreux types d'organismes :

- (1) bactéries,
- (2) champignons,
- (3) champignons mycorhiziens à arbuscules,
- (4) protozoaires,
- (5) nématodes mangeurs de bactéries,
- (6) nématodes mangeurs de champignons,
- (7) nématodes mangeurs de racines,
- (8) collemboles,
- (9) nématodes prédateurs,
- et (10) acariens prédateurs.

Les flèches pointent des organismes qui sont mangés vers les organismes qui les mangent. Les voies d'interactions forment trois canaux d'énergie principaux : un canal d'énergie alimenté par les bactéries (flèches orange), un second canal alimenté par les champignons (flèches jaunes) et un troisième canal d'énergie alimenté par les racines des plantes (flèches vertes). La loupe montre les flux de nutriments et d'énergie qui passe au travers de chaque organisme quand il mange et respire.

ORGANISMES DU SOL

Tous types de forme de vie qui se trouve dans le sol ; incluent des organismes unicellulaires comme les bactéries, et des organismes pluricellulaires comme les vers de terre, protozoaires, nématodes ou acariens.



7.8 MILLIARDS D'HUMAINS DEPENDENT DES ALIMENTS QUI POUSSENT DANS LE SOL

Il y a sur Terre 7.8 milliards d'humains, et tous ont besoin d'une nourriture saine. Les légumes et autres cultures font partie d'un régime alimentaire sain. Mais produire de la nourriture pour tout ce monde a un coût pour l'environnement. Cela nécessite suffisamment de surfaces mais aussi des pratiques agricoles qui respectent l'environnement. Les organismes qui vivent dans le sol peuvent nous renseigner pour savoir si nos pratiques agricoles sont bonnes ou mauvaises pour l'environnement.

Dans le sol, il y a des milliards d'organismes, comme les bactéries, les champignons, les nématodes, ou encore les isopodes (Figure 1). Tous ces organismes mangent, grandissent, utilisent de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone, comme nous le faisons en respirant. Lorsque les **organismes du sol** réalisent ces processus vitaux, ils libèrent des nutriments à partir de leur nourriture, qui sont utiles à la croissance des plantes (Figure 1, insert). Certains mélangent aussi la matière organique (c'est-à-dire celle issue des plantes et animaux morts) dans l'ensemble du sol. D'autres modifient la structure du sol, ce qui améliore la disponibilité en eau pour les plantes. Les organismes du sol fournissent donc aux plantes les ressources qui leur permettent de produire de la nourriture pour les humains. Les sols procurent aussi d'autres **services écosystémiques** importants comme la filtration de l'eau ou le recyclage des nutriments, qui aident les humains à rester en bonne santé.

LES ORGANISMES DU SOL FORMENT UN RESEAU TROPHIQUE SOUS NOS PIEDS

Les organismes du sol ne travaillent pas seuls ; ils sont interconnectés dans un réseau appelé réseau trophique du sol. Des changements dans l'abondance d'une espèce peut affecter l'abondance des prédateurs ou des proies de cette espèce, dans une chaîne d'interactions appelée canal d'énergie (Figure 1). Les réseaux trophiques du sol ont leurs propres canaux d'énergie : l'un alimenté par les bactéries, un deuxième par les champignons, et un troisième par les racines des plantes. Les bactéries et les champignons se nourrissent de matière organique comme les racines ou les feuilles mortes, et ils sont ensuite mangés par d'autres organismes. Il existe aussi des organismes qui se nourrissent directement à partir des racines vivantes, comme les nématodes (de minuscules vers) mangeurs de racines, qui sont eux-mêmes ensuite mangés par d'autres animaux. Quand les humains utilisent des pratiques agricoles qui détruisent ces canaux d'énergie (par exemple en labourant le sol ou en ajoutant trop d'engrais), ils peuvent affecter la capacité des réseaux trophiques du sol à leur fournir les services écosystémiques essentiels. Combien d'espèces sont affectées par les humains et quelles sont les conséquences sur les processus réalisés habituellement par ces espèces ?

UNE EXPERIENCE POUR TESTER LES EFFETS DE L'USAGE DES TERRES SUR LES RESEAUX TROPHIQUES DU SOL

Les scientifiques ont fait l'hypothèse que différents **usages des terres** affectaient la structure des **réseaux trophiques du sol**. Ils pensaient qu'un usage intensif, impliquant par exemple le **labourage** du sol, devait réduire le nombre d'organismes dans le sol et limiter les services écosystémiques fournis par le sol (de Vries et al. 2013). Les scientifiques pensaient aussi que les organismes du sol seraient plus abondants quand les agriculteurs utilisent des pratiques extensives (par exemple des prairies de fauche ou des pâturages). Pour une utilisation extensive des terres, on laboure moins et on ajoute moins d'engrais, mais il faut une plus grande surface de terre pour produire la même récolte. Les scientifiques pensaient donc que les organismes du sol seraient plus efficaces dans des prairies naturelles, où les agriculteurs ne cultivent pas la terre (de Vries et al. 2013).

Afin de travailler dans des conditions environnementales variées (température, précipitation, type de sol, etc.), une équipe de scientifique est allée dans quatre pays d'Europe : Suède, République Tchèque, Royaume Uni et Grèce. Dans chaque pays, les scientifiques ont sélectionné des sites avec trois types d'usage des terres : une agriculture très intensive, une agriculture moyennement intensive et une prairie naturelle (de Vries et al. 2013) (Figure 2). Dans chaque site, ils ont caractérisé toute une gamme d'organismes du sol, dont les champignons, bactéries, protozoaires, nématodes, vers de terre, enchytréides, acariens et collemboles. Pour savoir si les services écosystémiques étaient différents entre les différents usages des terres, les scientifiques ont aussi mesuré certains processus importants réalisés par ces organismes du sol.

SERVICES ECOSYSTEMIQUES

Les choses importantes que l'environnement fournit aux humains. Dans les sols, les services écosystémiques incluent le recyclage des nutriments, la rétention et le drainage de l'eau, ou encore la redistribution dans le sol de la matière organique.

UTILISATION DES TERRES

Comment l'environnement naturel est géré et modifié. Les exemples utilisés dans l'article incluent l'agriculture extensive ou intensive, ou les zones naturelles.

RÉSEAU TROPHIQUE DU SOL


Réseau d'interactions trophiques entre les organismes du sol. Les interactions partent de trois ressources principales (racines, champignons ou bactéries) qui forment des canaux d'énergie.

LABOURAGE

Préparation d'un sol agricole qui consiste à le retourner ou à le creuser.

Figure 2

Il y a trois façons d'utiliser les terres. L'utilisation extensive des terres n'implique pas de travail du sol (labourage) et produit des récoltes peu abondantes, qui demandent peu d'engrais et de pesticides ; cette utilisation fournit divers services écosystémiques. L'utilisation moyennement intensive des terres utilise peu le labourage et produit des récoltes intermédiaires. L'utilisation intensive des terres demande beaucoup de travail du sol (labourage) et de produits chimiques, pour donner une récolte importante à partir d'une petite surface. Dans le cas d'une utilisation intensive, certains services écosystémiques sont réduits en contrepartie d'un rendement de production végétale élevé.



pratiques agricoles	Agriculture extensive	Agriculture de moyenne intensité	Agriculture intensive
engrais	(-)	(+)	(++)
pesticides	(-)	(+)	(++)
labourage	(-)	(+)	(++)
récolte	pâturage ou fauchage manuel	mécanisation modérée	mécanisation lourde
plantes cultivées	mélange de plantes naturellement présentes	rotation de cultures (plantées par les humains)	une espèce végétale plantée par les humains (monoculture)

Figure 2

L'AGRICULTURE INTENSIVE REDUIT LA BIODIVERSITE DANS LE SOL

Les scientifiques ont trouvé que le type d'usage des terres était important pour expliquer le nombre et le type d'organismes présents dans le sol. Ils ont observé que les pratiques plus intensives réduisaient la biodiversité du réseau trophique du sol : il y avait moins de groupes d'organismes présents, mais aussi moins d'espèces (Tsiafouli *et al.* 2015). Ils ont aussi trouvé que la biomasse totale de la plupart des groupes d'organismes du sol était plus faible pour un usage d'agriculture de moyenne ou forte intensité, comparé à un usage extensif. Les organismes qui se nourrissent des racines des plantes étaient les plus affectés, et ceux qui se nourrissent de bactéries ou de champignons les moins impactés. Ceci s'explique probablement parce que le labour a des effets importants sur les racines des plantes en agriculture moyennement ou très intensive, et par conséquent sur les organismes qui se nourrissent de ces racines. Mais quelle était la part de l'effet direct du labour sur le sol comparé à celle de l'effet du labour sur les réseaux trophiques du sol ?

DES PROCESSUS REALISES PAR LES ORGANISMES DU SOL

Pour répondre à la question ci-dessus, les scientifiques ont regardé les relations entre les groupes d'organismes du sol et les processus effectués par ces organismes. Les scientifiques ont ciblé deux processus : la respiration et le recyclage de l'azote. Quand on parle d'organismes minuscules, la **respiration** est le processus qui utilise le dioxygène et libère du dioxyde de carbone pour produire de l'énergie dont les organismes ont besoin pour grandir et réaliser leurs fonctions. L'azote, quant à lui, est un élément essentiel à toute vie, y compris pour les plantes. L'azote se transforme dans l'environnement au cours de plusieurs étapes. La **minéralisation** est le processus par lequel l'azote est libéré des organismes dans le sol (Figure 3), généralement quand ils se décomposent. L'azote présent dans le sol peut être perdu lors du **lessivage**, ce qui signifie que l'azote est évacué hors du sol par l'eau, ou lors de la

dénitrification, processus au cours duquel l'azote est transformé par des bactéries sous forme de diazote (N_2) ou d'un gaz appelé oxyde nitreux (N_2O) qui s'échappe du sol vers l'atmosphère.

LES PRAIRIES NATURELLES AUGMENTENT LA RESPIRATION DU SOL

Dans l'étude, les scientifiques ont montré que la respiration des organismes du sol était plus élevée dans les prairies naturelles, et là où il y avait plus de vers de terre dans le sol. Les vers de terre mélangent le sol, ce qui a pour effet de stimuler l'activité des autres organismes du sol. Comme nous, quand ces organismes sont plus actifs, ils ont besoin de plus de nourriture et respirent plus. Quand il y a plus de matière organique à manger, il y a plus d'organismes actifs dans le sol. Ainsi, parce que les sols de prairies naturelles sont plus riches en matière organique, la respiration du sol y est plus élevée que des champs d'agriculture moyennement ou très intensive.

Figure 3

L'azote est transformé par les réseaux trophiques du sol de façon à circuler dans les plantes, l'eau ou l'air. La matière organique du sol (les plantes et animaux morts) est minéralisée en azote inorganique lors de sa consommation par les organismes du sol. L'azote inorganique peut ensuite être prélevé par les plantes et les champignons, ou perdu par lessivage vers les eaux souterraines ou par transformation en gaz N_2O par les bactéries lors d'un processus appelé dénitrification.

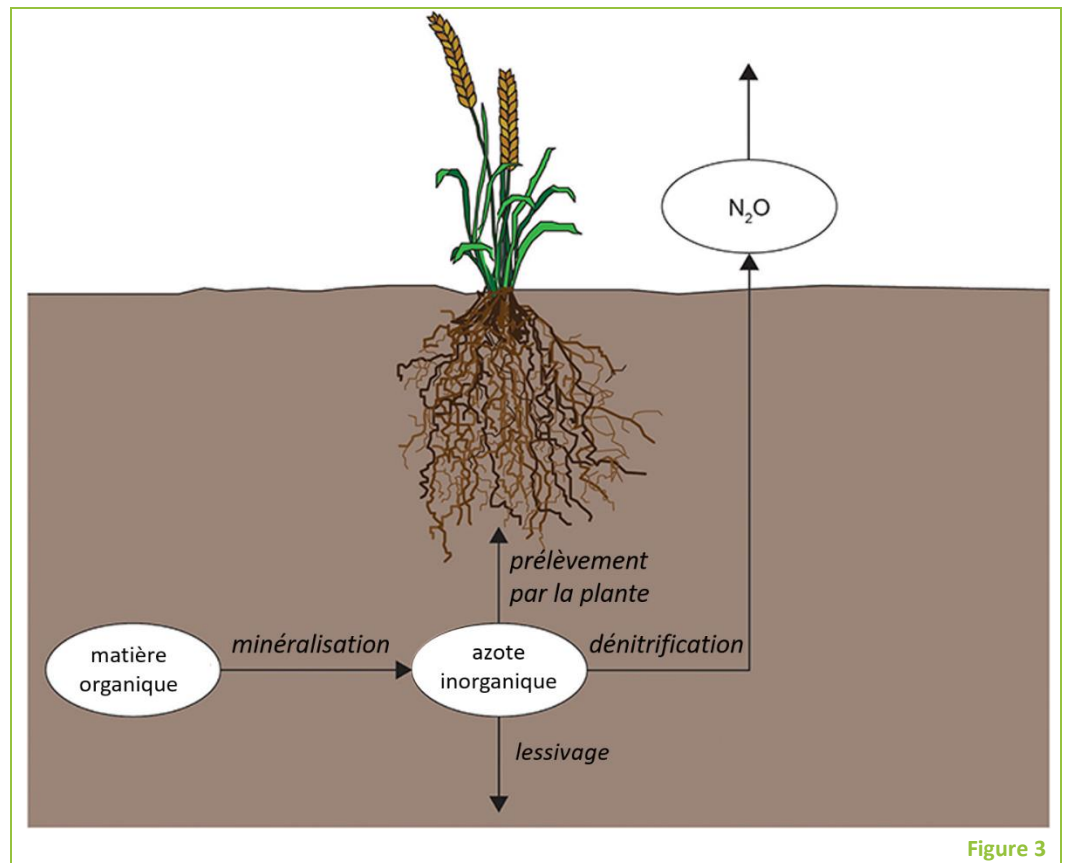


Figure 3

PLUS DE FLUX D'AZOTE DANS ET DEPUIS LES FERMES GERÉES DE MANIÈRE INTENSIVE

Quand les scientifiques ont étudié le cycle de l'azote, ils ont trouvé que la minéralisation de l'azote était plus importante dans les réseaux trophiques ayant un canal bactérien plus fort (voir réseau trophique du sol dans le glossaire).

Après avoir mesuré l'azote minéralisé qui était libéré dans le sol, les scientifiques ont voulu savoir comment l'usage des terres influençait le devenir de cet azote. Ils ont trouvé que, dans les zones avec une faible intensité d'usage et où il y a beaucoup de champignons mycorhiziens à arbuscules, il y avait moins de lessivage d'azote dans l'eau, ce qui signifie qu'il restait plus d'azote dans le sol, là où les plantes pouvaient l'utiliser. Les agriculteurs cherchent à limiter la perte d'azote par lessivage, de manière à ce que cet azote puisse être utilisé par les cultures plutôt que de s'écouler hors des champs. Les champignons mycorhiziens à arbuscules sont un groupe de champignons qui s'attachent aux racines des plantes et les aident à prélever des nutriments, dont l'azote, dans le sol. Ces champignons peuvent absorber l'azote présent dans le sol, empêchant ainsi qu'il soit perdu par lessivage. Ainsi, la présence des champignons mycorhiziens à arbuscules pourrait être un bon indicateur de réduction du lessivage de l'azote pour différents usages des terres.

Pour évaluer la dénitrification, les scientifiques ont mesuré la concentration en oxyde nitreux (N_2O). Ils ont trouvé des concentrations en N_2O plus faibles pour les sols contenant un grand nombre de flagellés, de minuscules créatures qui utilisent leur queue pour se propulser dans l'eau du sol et qui se nourrissent de bactéries. Fait important : la dénitrification n'est pas réalisée par les flagellés mais par un groupe spécifique de bactéries. Mais parce que le nombre de flagellés augmente dans les sols où les bactéries dénitrifiantes sont peu abondantes, l'abondance des flagellés pourrait être utilisée comme un indicateur de certains processus (par exemple la dénitrification) ou groupes d'organismes du sol (par exemple les bactéries dénitrifiantes). Il est important de comprendre ce qui se passe dans les réseaux trophiques où il y a peu de bactéries dénitrifiantes, parce que quand l'azote du sol est libéré dans l'atmosphère sous forme de N_2O , cela aggrave le changement climatique. Le N_2O est un gaz qui exerce un effet de serre 314 fois plus important que celui du CO_2 !

AUGMENTER LA BIODIVERSITE DU SOL POUR MINIMISER LES IMPACTS DE L'AGRICULTURE INTENSIVE

La question de la « bonne » façon d'utiliser les terres agricoles pour produire des légumes ou d'autres cultures fait actuellement l'objet d'un débat scientifique et sociétal. Comment les humains peuvent-ils produire de la nourriture saine et en quantité suffisante pour des milliards d'individus, tout en limitant l'impact de cette production sur l'environnement ? Les scientifiques démontrent constamment que les organismes du sol sont sensibles aux changements que les humains exercent sur leur environnement. Les pratiques agricoles affectent non seulement les groupes d'organismes du sol, mais aussi le réseau complexe d'interactions entre ces organismes. Des modifications de ces réseaux d'interactions ont des conséquences sur les flux d'énergie qui se propagent dans les écosystèmes, sur quels nutriments sont retenus ou perdus, ou encore sur la façon dont les agriculteurs doivent recourir aux engrais et aux pesticides. Si l'agriculture intensive utilise moins de surface de terre, ce qui est positif, elle a aussi beaucoup d'impacts négatifs puisqu'elle diminue la biodiversité du sol et augmente les pertes d'azote et d'autres nutriments. Au

contraire, des pratiques moins intensives permettent de produire des récoltes moins abondantes mais sont plus favorables à l'environnement. Une solution pourrait être de restaurer la biodiversité du sol dans des zones d'agriculture intensive pour les rendre moins dépendantes aux engrais et aux pesticides, ce qui est bon pour l'environnement et donc pour les humains. Ainsi, si vous avez la possibilité de cultiver vos propres légumes, vous protégez l'environnement, parce que les légumes que vous mangez ne seront pas produits grâce à des pratiques d'agriculture intensive. Si vous n'avez pas la possibilité de cultiver des légumes, vous pouvez quand même protéger l'environnement en achetant des légumes et autres produits agricoles qui ne sont pas issus de l'agriculture intensive. Petit à petit, nous pouvons agir pour rendre notre planète plus saine !

ARTICLE ORIGINAL

de Vries, F. T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M. A., Bjørnlund, L., et al. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110:14296–301. doi: 10.1073/pnas.1305198110

RÉFÉRENCES

[1] de Vries, F. T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M. A., Bjørnlund, L., et al. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110:14296–301. doi: 10.1073/pnas.1305198110

[2] Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H., Birkhofer, K., et al. 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Glob. Change Biol.* 21:973–85. doi: 10.1111/gcb.12752

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

CITATION: Hines J and De Vries F (2020) Dirt Is Not Dead: How Land Use Affects the Living Soil. *Front. Young Minds.* 8:549486. doi: 10.3389/frym.2020.549486

CONFLICT OF INTEREST: Les auteurs déclarent que cette étude a été conduite en l'absence de relation commerciale ou financière qui pourrait constituer un conflit d'intérêt.

COPYRIGHT © 2020 Hines and De Vries. 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



KONSTANTIN, ÂGE : 14

Salut, je suis Konstantin, ton Young Mind d'à côté ! Je viens de Rousse, en Bulgarie, et depuis que je suis tout petit, je me demande à quoi sert le recyclage, etc. Maintenant, en tant qu'adolescent, je m'intéresse vraiment à l'écologie et j'ai décidé de contribuer à sensibiliser les gens à certains problèmes de notre monde, comme la pollution de l'air, la disparition des espèces et la déforestation. Si moi, un élève ordinaire, je peux faire la différence, alors toi aussi, qu'attends-tu, jeune lecteur ?

AUTEURS



JES HINES

Jes est une écologue qui travaille au centre pour la recherche intégrative sur la biodiversité en Allemagne (iDiv). Elle étudie comment la biodiversité répond aux changements de l'environnement. Elle s'intéresse aux systèmes complexes et à l'influence des espèces sur les flux de nutriments, d'énergie et d'information dans les écosystèmes.



FRANCISKA DE VRIES

Franciska est professeure à l'Université d'Amsterdam. Elle cherche à comprendre comment les interactions entre les plantes et les micro-organismes du sol répondent au changement climatique, et comment ces réponses affectent le fonctionnement des écosystèmes.

TRADUCTRICE

NATHALIE FROMIN