

DÉFENDEZ VOTRE BASTION ! COMMENT LES PLANTES EMPÊCHENT-ELLES QUE LEURS RACINES SOIENT DÉVORÉES ?

Axel J. Touw^{1, 2*}, Nicole M. van Dam^{1, 2}

¹ *Écologie des interactions moléculaires, Centre allemand de recherche intégrative sur la biodiversité (iDiv) Halle-léna-Leipzig, Leipzig, Allemagne.*

² *Université Friedrich Schiller d'Éna, Allemagne*

JEUNES REFLECTEURS:



AVANI

10 ANS



CATHERINE

15 ANS



HARRISON

11 ANS

Le monde souterrain est rempli de créatures pour qui les plantes constituent une source d'alimentation. Les animaux souterrains qui se nourrissent de végétaux, aussi appelés herbivores, mangent les racines et peuvent donc causer des dommages considérables. Les racines sont très importantes, car elles aident les plantes à extraire l'eau et les nutriments présents dans le sol. Il s'agit de ressources essentielles qui permettent aux végétaux de pousser. Pour protéger leurs racines, les plantes sécrètent des défenses chimiques. La production de ces défenses n'est pas sans conséquence, car les nutriments et l'énergie utilisés ne peuvent alors pas servir à la croissance et à la production de fleurs et de graines. Les scientifiques s'intéressent de près aux tactiques employées par les plantes pour se défendre efficacement, car elles peuvent permettre d'instaurer des méthodes de culture de fruits et légumes plus écologiques. Dans cet article,

nous expliquons comment les plantes se défendent, pourquoi ces mécanismes de défense sont si efficaces et en quoi ils affectent les herbivores présents dans les sols.

Figure 1

Exemples d'herbivores souterrains et qui vivent à l'air libre. (A) Pucerons cendré du chou ; (B) chenille de la noctuelle exigüe ; (C) nématode ravageur ; (D) larve de la mouche du chou. (Crédit photo : Axel Touw).

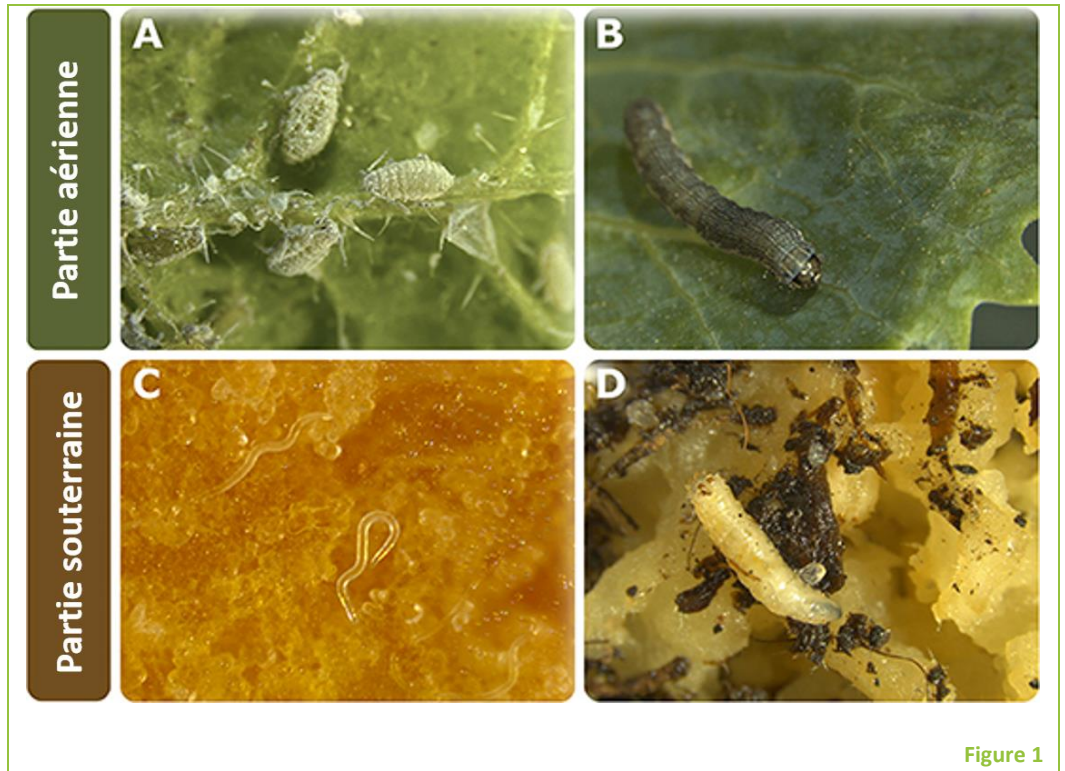


Figure 1

PLANTES : SURVIVRE DANS UN MONDE DANGEREUX

Les plantes constituent une source d'alimentation importante pour de nombreuses créatures, y compris les humains. Les animaux qui se nourrissent de végétaux, ou **herbivores**, peuvent être de grands mammifères comme les vaches, les moutons ou les chevaux, mais la plupart d'entre eux sont en réalité beaucoup plus petits, comme les chenilles ou les pucerons (**Figure 1**). Comme ces minuscules herbivores sont généralement présents en grand nombre, ils peuvent causer de gros dégâts. Les insectes, par exemple, représentent le groupe d'animaux le plus diversifié sur Terre. Il existe près d'un million d'espèces d'insectes connues, dont la moitié sont des herbivores. En comparaison, seules 5 500 espèces de mammifères peuplent la Terre. En plus des herbivores petits et grands vivant à la surface, de nombreux autres animaux se nourrissant de végétaux vivent également sous terre. Les sols sont peuplés de nombreuses espèces d'herbivores qui mangent les racines des plantes, notamment des larves d'insectes, de minuscules vers appelés **nématodes** et des créatures similaires à des araignées qu'on appelle acariens (Figure 1).

Un grand nombre d'herbivores sont généralement présents dans les sols, tout comme à la surface. Par exemple, il existe 30 000 espèces de nématodes connues, dont 10 % se nourrissent de végétaux. Une femelle nématode pond jusqu'à 200 œufs. Cela signifie qu'une seule plante peut être attaquée par des milliers de nématodes à la fois. Les insectes broyeurs représentent également un danger. Ils peuvent broyer le système d'acheminement de l'eau des racines

HERBIVORE

Un animal qui se nourrit de plantes.

NÉMATODES

Petits animaux qui ressemblent à des vers, présents surtout dans le sol, mais aussi dans les mers et les lacs, dans les intestins des animaux et même dans l'appareil digestif des insectes.

des plantes, ce qui peut provoquer une chute des feuilles et entraîner la mort de la plante par manque d'eau.

COMMENT LES PLANTES SE DÉFENDENT-ELLES ?

Avec autant de créatures qui tentent de les attaquer, on peut imaginer que les plantes puissent avoir du mal à survivre. Étant donné qu'elles ne peuvent pas fuir devant leurs assaillants, elles doivent trouver des moyens de se défendre. Les plantes ont mis au point plusieurs tactiques de défense contre les herbivores [1]. Certaines **défenses des plantes** peuvent être facilement observées, comme les épines d'une rose, les poils sur les feuilles de l'ortie commune ou la peau épaisse des betteraves. D'autres tactiques, comme les défenses chimiques, sont moins visibles. Chaque plante produit des milliers de substances chimiques différentes, toutes faisant partie de processus essentiels. Certaines de ces substances, comme les sucres, apportent de l'énergie à la plante. D'autres groupes de substances chimiques permettent aux plantes de se défendre contre leurs assaillants. Ces défenses chimiques peuvent donner mauvais goût à la plante, ce qui dissuade les herbivores de dévorer ses tissus. Dans certains cas, les substances chimiques peuvent même être toxiques. Les défenses chimiques peuvent également affecter les humains. Il existe de nombreuses plantes qui peuvent te rendre malade si tu les ingères, comme les baies de la morelle noire. Certaines plantes, comme le sumac vénéneux ou la berce, peuvent te donner des éruptions cutanées, voire occasionner des brûlures si tu les touches. La plupart des défenses chimiques ne sont toutefois pas aussi violentes. En réalité, il est fort probable que tu aies toi-même été en contact avec les défenses chimiques de certaines plantes. Nous avons fini par aimer le goût de certaines substances chimiques produites par les plantes. As-tu déjà mis de la moutarde dans ton hot dog ou sur ta saucisse, ou dégusté un délicieux curry indien aux graines de moutarde ? Le goût piquant et amer de la moutarde provient de substances chimiques de défense appelées **glucosinolates**. Dans la nature, les glucosinolates permettent aux plantes de se défendre contre les insectes, champignons et bactéries. La caféine présente dans le café, qui aide les gens à se réveiller le matin, n'est pas produite par les caféiers pour le plaisir des humains. En réalité, les caféiers en produisent pour protéger leurs graines (les grains de café) des attaques d'insectes. La caféine donne non seulement aux grains de café leur goût amer, mais elle peut également paralyser et tuer les insectes qui essaient de les manger.

Ces exemples montrent que les défenses chimiques sont un moyen de protection efficace pour les plantes contre les herbivores présents dans leur environnement. Néanmoins, la majorité des plantes ne peut pas se défendre complètement avec ses substances chimiques. Si tu observes bien les plantes qui t'entourent, tu remarqueras que la plupart montrent des signes de dommages, comme des trous dans leurs feuilles. C'est parce que la production de défenses chimiques n'est pas sans conséquences. Les plantes ont non seulement besoin de se défendre, mais elles doivent également utiliser leur énergie pour pousser, fleurir et fabriquer des graines. L'énergie que les plantes peuvent consacrer à leurs mécanismes de défense est donc limitée. Les plantes doivent utiliser cette quantité d'énergie limitée à bon escient.

DÉFENSES DES PLANTES

Caractéristiques d'une plante qui nuisent au comportement, à la croissance ou à la survie des herbivores.

GLUCOSINOLATES

Substances de défense responsables du goût amer et fort de la moutarde et du wasabi. Bien que la plupart des humains aiment leur goût, ils sont toxiques pour la majorité des insectes, des nématodes et des bactéries.

COMMENT LES PLANTES SE DÉFENDENT-ELLES EFFICACEMENT ?

Des fossiles de feuilles attaquées par des herbivores montrent que plantes et herbivores cohabitent sur Terre depuis plus de 400 millions d'années. Pendant ce temps, les plantes ont développé plusieurs moyens de défense efficaces. L'un d'eux consiste à produire des substances défensives uniquement en cas de nécessité, par exemple quand les insectes se mettent à les manger [2]. En ne produisant ces substances qu'au moment d'une attaque, les plantes économisent de l'énergie le reste du temps. L'inconvénient est que le système de défense ne s'enclenche qu'après que l'herbivore commence à manger. La plante peut subir d'importants dégâts avant que l'herbivore ne parte ou ne meure, parce que la fabrication des défenses prend du temps.

Une autre stratégie consiste à toujours avoir quelques substances défensives à portée de main, mais en petites quantités. Dans ce cas, la plante transfère la plupart de ses défenses dans ses parties essentielles pour sa survie et vulnérables aux attaques des herbivores [3]. Ce serait comme défendre un château en mettant des soldats devant la muraille, là où aurait lieu la première attaque et où le château serait le plus vulnérable. Évidemment, le trésor du château serait aussi bien gardé, puisque c'est ce qui a le plus de valeur. Les jeunes feuilles, les fleurs et les graines font partie de ces parties aériennes et précieuses de la plante : elles jouent un rôle essentiel dans la production d'énergie et de la nouvelle génération.

En sous-sol, on compte plusieurs parties du système racinaire qui ont aussi différentes valeurs. Les systèmes racinaires de plantes comme la tomate ou le chou sont composés de trois parties : la **racine pivotante**, les racines secondaires latérales et les radicelles (**Figure 2**). Les racines secondaires et radicelles aident la plante à extraire des nutriments précieux et de l'eau du sol. La racine pivotante est la principale, elle collecte toute l'eau et tous les nutriments absorbés par les racines secondaires et les radicelles et les distribue aux parties aériennes. En parallèle, des sucres et d'autres substances produites dans les feuilles se déplacent en sens inverse dans la racine pivotante. Son rôle important dans le transport des nutriments et de l'eau fait d'elle un maillon essentiel dans le système racinaire. Lorsque les herbivores endommagent la racine pivotante, les voies de transport majeures sont bloquées et la plante meurt. Pour des plantes comme la betterave, la racine pivotante stocke de l'énergie sous forme de sucre. C'est comme le trésor dans le château. On la considère donc comme la partie la plus précieuse de la racine et la plus protégée, suivie par les racines secondaires et les radicelles [4] (**Figure 2**).

COMMENT LES DÉFENSES DES PLANTES AFFECTENT-ELLES LES HERBIVORES DU SOL ?

Les herbivores choisissent quelle partie de la racine manger en se basant à la fois sur sa valeur nutritionnelle et sur son niveau de défense [5]. La plupart

RACINE PIVOTANTE

Racine principale d'où partent les racines latérales. Elle récupère l'eau et les nutriments du reste du système racinaire pour les distribuer dans l'appareil aérien. Pour les carottes et les betteraves, elle stocke de l'amidon et des nutriments.

préfèreraient se nourrir de la racine pivotante, puisque c'est la partie la plus nutritive du système racinaire. Cependant, comme expliqué plus haut, la racine pivotante est aussi la mieux défendue. Les herbivores ne peuvent pas tous surmonter ces défenses chimiques. Certains, comme la larve de la mouche du chou, peuvent désactiver les défenses chimiques et se nourrir de la racine pivotante [4]. D'autres, comme la larve du hanneton de la Saint-Jean, ne peuvent pas faire face au haut niveau de défense de la racine pivotante et mangent plutôt les racines secondaires et les radicelles (**Figure 2**). La répartition des substances chimiques de défense dans le système racinaire et la capacité des herbivores à surmonter ces moyens de défense peuvent ainsi avoir une forte influence sur les zones de répartition des herbivores dans le sol.

Figure 2

Répartition des défenses chimiques dans un système racinaire et impact sur les herbivores souterrains. Le rouge représente le plus haut niveau de défense du système racinaire et le jaune le plus bas. Les défenses chimiques sont, en général, plus élevées dans la racine pivotante (rouge), puis dans les racines latérales (orange) et enfin dans les radicelles (jaune). Certains insectes herbivores, comme la mouche du chou, peuvent désamorcer les défenses chimiques d'une plante et manger sa racine pivotante, où le niveau de défense est le plus important. D'autres herbivores, comme le hanneton de la Saint-Jean, en sont incapables et mangent donc les radicelles, au niveau de défense plus faible. (Crédit de réalisation : Jennifer Gabriel).

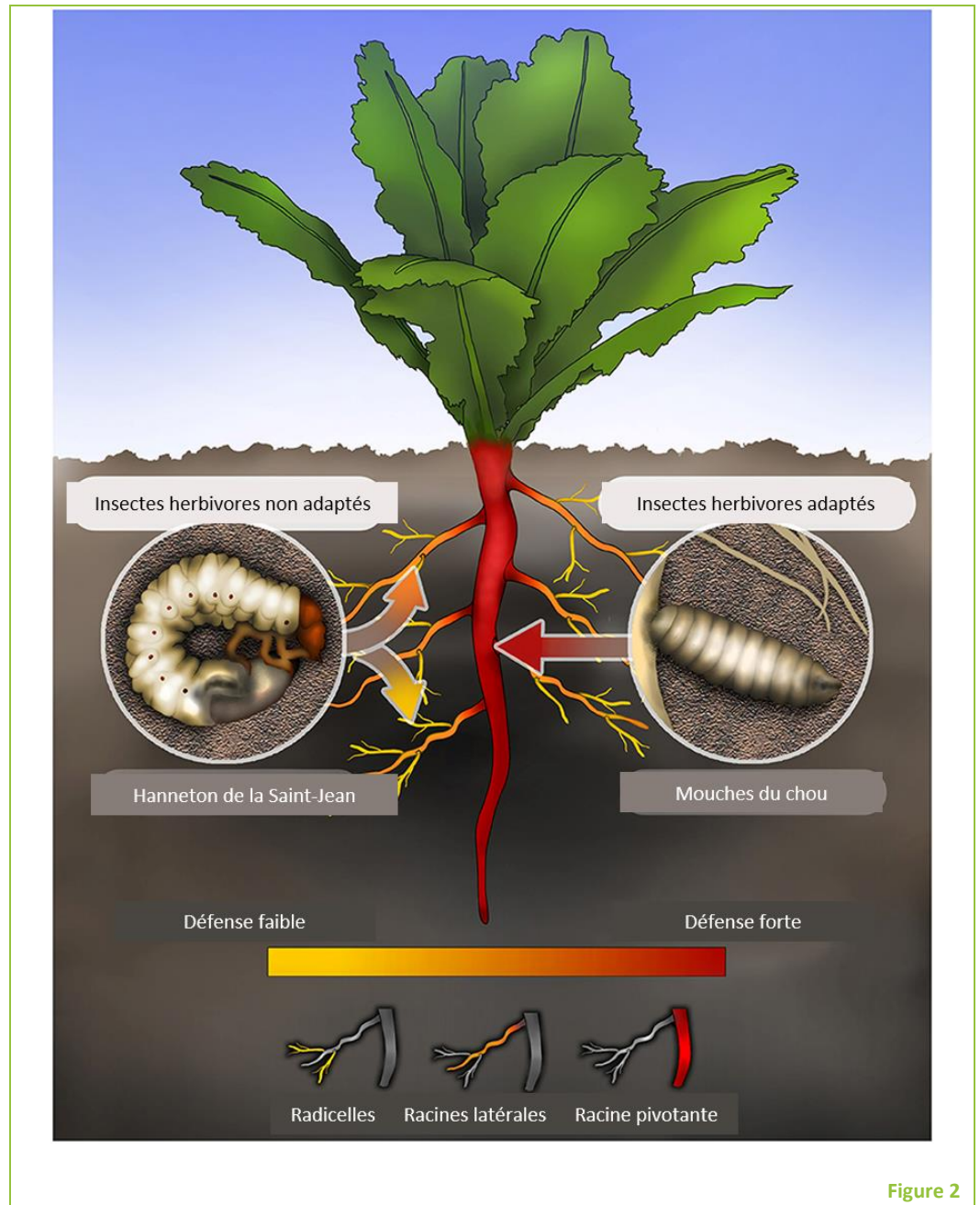


Figure 2

QUELLES UTILISATIONS DE CES CONNAISSANCES POUR LES SCIENTIFIQUES ?

Les connaissances acquises sur les systèmes de défense des plantes nous aident à comprendre comment elles interagissent avec les herbivores et les autres animaux de leur environnement. De plus, connaître les méthodes de défense des plantes peut nous aider à développer des façons de cultiver plus respectueuses de l'environnement. **L'amélioration variétale** peut créer de nouvelles variétés pour les cultures, comme des plantes avec de plus belles couleurs, une saveur plus intéressante ou des fruits plus gros. De la même façon, les généticiens peuvent mettre au point des variétés avec de meilleures défenses face aux agresseurs. Pour ce faire, ils doivent comprendre comment elles fabriquent leurs substances défensives et contre quels agresseurs elles sont efficaces. Les scientifiques qui étudient les défenses des plantes en laboratoire et sur le terrain collectent ce genre d'informations. En créant des variétés plus résistantes, nous pouvons aider les agriculteurs à réduire les quantités de pesticides chimiques. C'est une bonne nouvelle à la fois pour la santé de l'homme et celle de l'environnement.

AMÉLIORATION VARIÉTALE

Science pour l'élaboration de nouvelles variétés de plantes avec des propriétés recherchées comme le goût, l'odeur, la couleur ou la résistance aux herbivores ou à certaines conditions environnementales comme la sécheresse.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Jennifer Gabriel (iDiv, Leipzig) pour sa grande aide dans la réalisation des figures. Nous sommes reconnaissants de l'aide apportée par les éditeurs de la collection Soil Biodiversity au cours de la rédaction, et pour les aimables commentaires des jeunes relecteurs et de leurs mentors dont l'avis était essentiel pour la finalisation de cet article. Enfin, nous aimerions remercier la Fondation allemande pour la recherche (DFG) d'avoir financé nos recherches sur la mouche du chou à l'iDiv (DFG-FZT 118, 202548816), en collaboration avec ChemBioSys (SFB 1127, 239748522).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ehrlich, P. R., and Raven, P. H. 1964. Butterflies and plants—a study in coevolution. *Evolution*. 18:586–608.
- [2] Karban, R. 2020. The ecology and evolution of induced responses to herbivory and how plants perceive risk. *Ecol. Entomol.* 45:1–9. doi: 10.1111/een.12771
- [3] Meldau, S., Erb, M., and Baldwin, I. T. 2012. Defence on demand: mechanisms behind optimal defence patterns. *Ann. Bot.* 110:1503–14. doi: 10.1093/aob/mcs212
- [4] Tsunoda, T., Grosser, K., and van Dam, N. M. 2018. Locally and systemically induced glucosinolates follow optimal defence allocation theory upon root herbivory. *Funct. Ecol.* 32:2127–37. doi: 10.1111/1365-2435.13147

[5] Tsunoda, T., and van Dam, N. M. 2017. Root chemical traits and their roles in belowground biotic interactions. *Pedobiologia (Jena)*. 65:58–67. doi: 10.1016/j.pedobi.2017.05.007

RÉVISION : Helen Philips, Saint Mary's University, Canada

CITATION : Touw AJ and Van Dam NM (2022) How Do Plants Defend Themselves From Root-Eating Creatures?. *Front. Young Minds*. 10:660701. doi: 10.3389/frym.2022.660701

CONTRIBUTION DES AUTEURS : AJT a préparé l'ébauche préliminaire et créé une première version des figures, tandis que NMvD a contribué à la rédaction du contenu et aux discussions associées.

CONFLITS 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 © 2022 Touw et van Dam. 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 d'origine dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques universitaires reconnues. Aucune utilisation, diffusion ou reproduction n'est autorisée autrement qu'en conformité avec ces conditions.

JEUNES REFLECTEURS



AVANI, 10 ANS

Bonjour, je m'appelle Avani. J'aime la course à pied et la natation. Je pratique aussi la danse. J'adore aller me promener avec mon chien ou collectionner les pierres. J'aime beaucoup les maths, les sciences et le sport. J'aime jouer aux jeux vidéo et appeler mes amis. J'adore la nature et quand il fait froid et qu'il y a du vent.



CATHERINE, 15 ANS

J'adore la musique et le chant, je joue du violon et de la guitare et j'aime aussi écrire ! Je fais partie d'une troupe de danse écossaise et je suis bénévole auprès d'enfants dans des clubs et groupes de scoutisme locaux. J'aime participer à des événements pour la jeunesse organisés au sein de ma paroisse et j'aime pratiquer le fitness. J'espère qu'en relisant ces articles, je pourrai apprendre de nouvelles choses intéressantes !



HARRISON, 11 ANS

J'adore pratiquer des sports comme le hockey et aller courir et poursuivre mon chien ! J'adore aussi découvrir de nouvelles choses, mais pas goûter de nouveaux aliments ! Je suis actuellement en école primaire et je suis impatient d'aller au collège et de découvrir plein de nouvelles matières. Ma matière préférée pour le moment, ce sont les maths.

BIOGRAPHIE DES AUTEURS



AXEL TOUW

Axel est fasciné par la nature depuis qu'il est petit. À l'époque, il s'intéressait surtout aux dinosaures, aux chats, aux chiens, aux lézards et aux grenouilles, mais encore plus aux oiseaux. En fait, son premier dessin était une chouette (avec un peu d'imagination dedans). Pendant ses études de biologie, il s'est intéressé à la communication des plantes, notamment avec les insectes. Aujourd'hui, Axel étudie les moyens de défense des plantes face aux microbes, aux nématodes et aux insectes. Pendant son temps libre, il aime profiter du grand air, faire du football, lire et cuisiner. Il essaie aussi d'utiliser ses connaissances quand il jardine, avec plus ou moins de succès.
*axel.touw@idiv.de



NICOLE M. VAN DAM

Nicole est née et a grandi aux Pays-Bas avec ses parents et ses deux petites sœurs. Enfant, elle aimait faire des expériences avec les insectes. Par exemple, elle a regardé si les fourmis pouvaient nager en les mettant dans des flaques d'eau (si tu te poses la question, elles se débrouillent plutôt bien). Elle a fait des études de biologie à Wageningen, aux Pays-Bas. Là-bas, elle s'est intéressée aux modes de défense des plantes et à l'utilisation de ce savoir par les agriculteurs pour diminuer leur utilisation des pesticides. Après avoir fait beaucoup plus d'expériences sur les insectes et les plantes dans plein d'endroits du monde, elle est devenue enseignante. Sur son temps libre, elle aime faire du yoga et regarder des films avec ses deux garçons (de 19 et 21 ans). Tout comme son mari, elle aime cultiver des fruits et légumes biologiques dans son jardin. Elle y trouve aussi de l'inspiration pour ses nouveaux projets de recherche.

BIOGRAPHIE DES TRADUCTRICES

MARIE HUSSEINI

Marie est ingénieure en agro-économie et traductrice. Très curieuse, elle aime trouver les mots justes pour transmettre des connaissances. Elle cherche à faciliter la communication sur des thèmes liés à l'agriculture. Elle veut favoriser les échanges, stimuler les réflexions et sensibiliser les populations à des questions de société. Pendant son temps libre, elle aime passer du temps avec sa famille, randonner, faire des jeux de société et lire.

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.