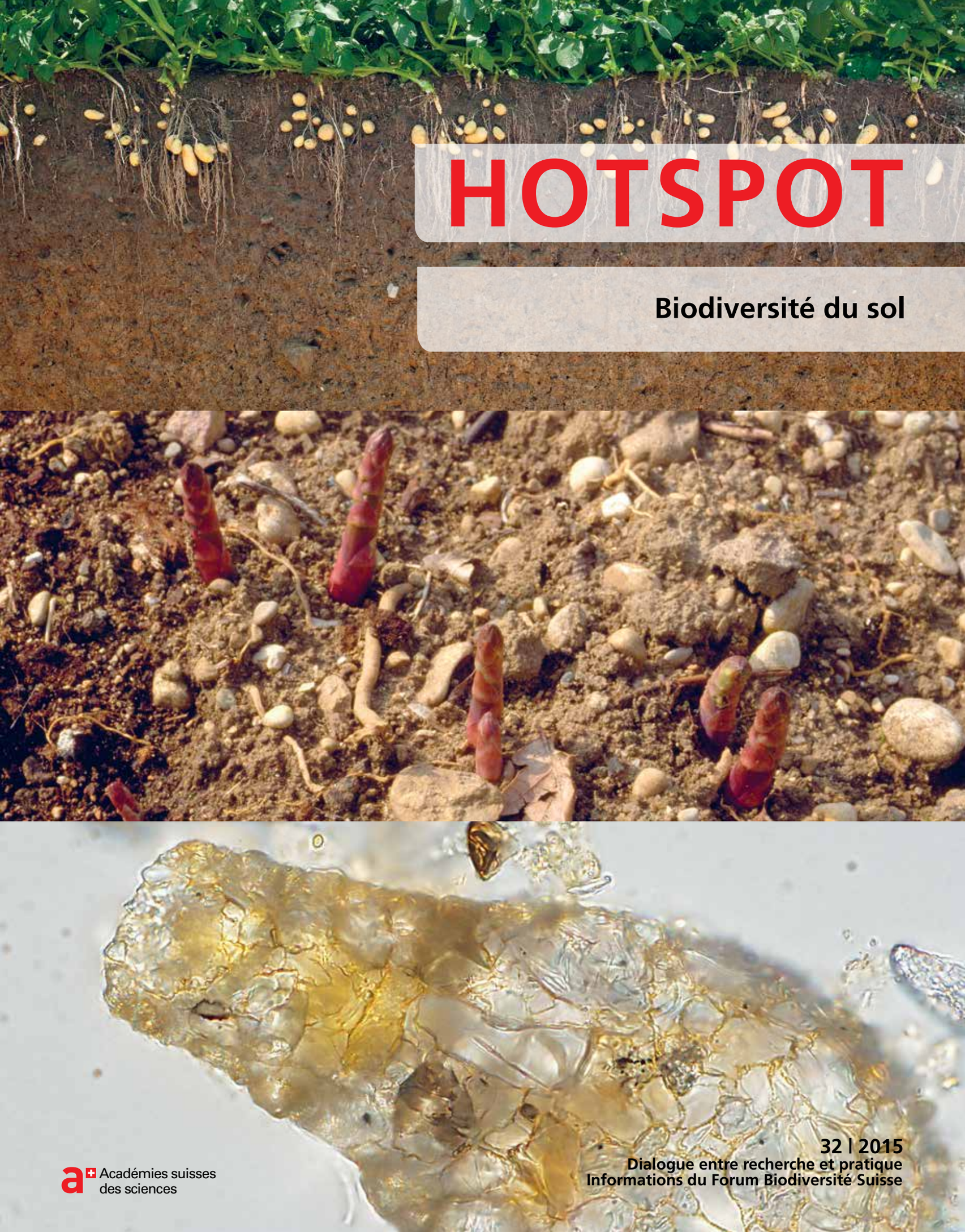
HOTSPOT

Biodiversité du sol



32 | 2015
Dialogue entre recherche et pratique
Informations du Forum Biodiversité Suisse

Académies suisses
des sciences

IMPRESSUM

sc | nat

Science and Policy
Platform of the Swiss Academy of Sciences
Swiss Biodiversity Forum

HOTSPOT
Revue du Forum Biodiversité Suisse
32|2015

Editeur
Forum Biodiversité Suisse, Académie des sciences naturelles (SCNAT), Laupenstrasse 7, case postale, CH-3001 Berne, tél. +41 (0)31 306 93 40, biodiversity@scnat.ch, www.biodiversity.ch.

Le Forum Biodiversité Suisse encourage l'échange de connaissances entre la recherche, l'administration, la pratique, la politique et la société. HOTSPOT est l'un des instruments de cet échange. Il paraît deux fois par an en allemand et en français. Le prochain numéro de HOTSPOT paraîtra au printemps 2016; il sera consacré à la biodiversité dans les jardins.

Pour que le savoir sur la biodiversité soit accessible à toutes les personnes intéressées, nous souhaitons maintenir la gratuité de HOTSPOT, mais toute contribution sera bienvenue. Compte HOTSPOT:
PC 30-204040-6, IBAN CH91 0900 0000 3020 4040 6

Rédaction: Gregor Klaus, Jodok Guntern, Danièle Martinoli, Maiann Suhner, Daniela Pauli.
Mise en page / composition: Esther Schreier, Bâle.
Traduction: Henri-Daniel Wibaut, Lausanne.
Impression: Print Media Works, Schopfheim im Wiesental (D). **Papier:** Circle matt 115 g/m², 100% Recycling.
Tirage: 3300 exempl. en allemand, 1100 exempl. en français.

Photos page de titre:
En haut: culture de pommes de terre dans un sol brun à Zimmerwald (BE); Photo © Agroscope (Gabriela Brändle, Urs Zihlmann), LANAT (Andreas Chervet).
Au centre: culture d'asperges; Photo Beat Ernst, Bâle.
En bas: Amibe à coquille *Difflugia pyriformis;* Photo Edward Mitchell.

© Forum Biodiversité Suisse, Berne, septembre 2015.

Les manuscrits sont soumis à un traitement rédactionnel. Ils ne doivent pas forcément refléter l'opinion de la rédaction. Toute reproduction requiert l'autorisation écrite de la rédaction. La forme masculine est utilisée dans le présent document pour faciliter la lecture. Cette disposition ne reflète en rien une discrimination basée sur le genre et les termes s'appliquent aussi bien au genre féminin qu'au genre masculin.

SCIENCES NATURELLES
SUISSE
powered by science

Vous trouvez tous les numéros de HOTSPOT sur notre portail
www.sciencesnaturelles.ch/biodiversite/hotspot

Editorial

Saviez-vous que, à l'échelle planétaire, plus de la moitié de la biomasse se compose de micro-organismes? L'immense richesse en bactéries ainsi qu'en champignons, algues et protozoaires microscopiques suggère l'importance de la biodiversité du sol pour la nature et l'être humain. Fertilité des sols, salubrité de l'eau potable, stockage du CO_2, approvisionnement en denrées alimentaires et en médicaments: tout cela n'est possible que grâce à la diversité biologique du sol, cette fine pellicule qui enveloppe notre planète.

Les organismes du sol participent à de nombreux cycles de matières et contribuent à son fonctionnement. Pourtant cette contribution n'est pas toujours visible : le sol ne se présente en général que sous une forme bidimensionnelle; l'observation de la troisième dimension est rarement possible. C'est pourtant précisément en cela que le sol se présente sous son jour le plus fascinant. Outre les vers de terre et les cloportes bien connus, une multitude d'organismes souvent invisibles vivent dans le sol. Pensez aux champignons et aux bactéries qui accomplissent leur travail en cachette. Mais, comme vous le découvrirez en lisant le présent HOTSPOT, ce n'est pas en raison de l'obscurité que le sol demeure en grande partie une «black box». Il est heureux de constater que les possibilités d'analyse et de détermination des micro-organismes se sont rapidement développées au cours des dernières années. Les nouvelles technologies de séquençage permettent aujourd'hui de recenser avec précision des communautés microbiennes complexes vivant dans le sol.

L'activité biologique du sol varie au fil des mois, fortement tributaire de son exploitation et des intempéries, en particulier du volume des précipitations et de la température. Les interventions à court terme interfèrent avec les effets à long terme. Il est ainsi capital de bien connaître l'état et l'évolution du sol et de sa biodiversité par le biais d'expériences sur le terrain, de programmes de monitoring et de comprendre les processus en cours afin de pouvoir émettre des recommandations pour une promotion durable de la fertilité et de la biodiversité du sol. La sauvegarde de la biodiversité du sol est vitale.

Je vous souhaite, à cet égard, une lecture enrichissante du présent numéro de HOTSPOT.

Reto Giulio Meuli
Société suisse de pédologie

Biodiversité du sol

Dossier

04 **Introduction: Les bons génies du sous-sol**
Gregor Klaus

05 **«On pourrait justifier un financement cent fois supérieur pour essayer de comprendre le sol»**
Entretien avec les spécialistes du sol Jean-Michel Gobat et Edward Mitchell, de l'Université de Neuchâtel

08 **Quels systèmes culturaux favorisent la vie dans le sol?**
Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Jochen Mayer, Fritz Oehl, Lukas Pfiffner, Martin Hartmann et Franco Widmer

10 **Les organismes du sol n'aiment pas être dérangés**
Maieke Krauss, Alfred Berner, Andreas Fliessbach, Lukas Pfiffner et Paul Mäder

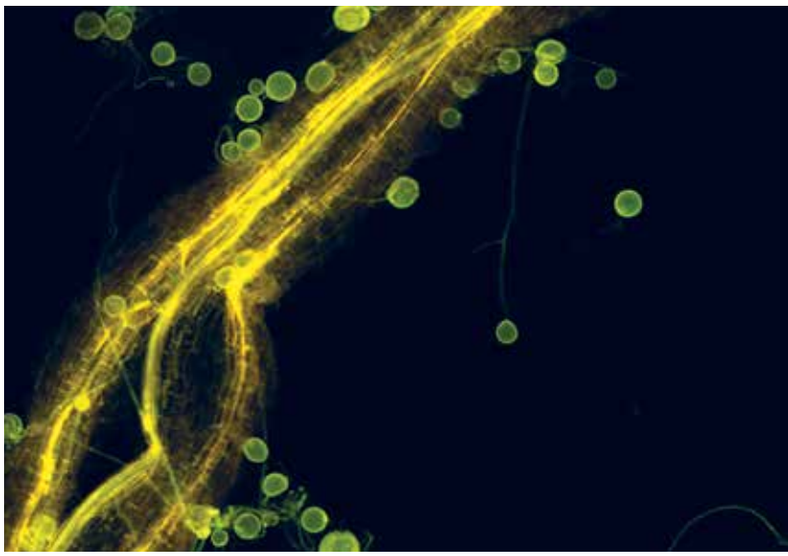
12 **Maintenir le cycle: rôle des micro-organismes dans la dynamique du phosphore**
Else K. Bünemann et Sabine A. Ragot

14 **«L'exploration de la biodiversité du sol est ma contribution à une agriculture durable»**
Entretien avec Marcel van der Heijden à l'Institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich

16 **Biodiversité pédologique: vastes études enfin réalisables**
Beat Frey, Franco Widmer et Martin Hartmannr

18 **Qu'en est-il des sols en Suisse? Analyses pédobiologiques de l'Observatoire national du sol (NABO)**
Anna-Sofia Hug, Andreas Gubler, Franco Widmer, Beat Frey, Hans-Rudolf Oberholzer, Raquel Campos-Herrera et Reto G. Meuli

22 **Création de milieux maigres et promotion d'espèces menacées grâce au décapage du sol**
Pascale Weber



80% de toutes les plantes terrestres vivent en symbiose avec des champignons. Ces biocénoses sont appelées «mycorhizes». Sur l'illustration, la racine est jaune et le champignon, vert. Photo Jan Jansa

Rubriques

24 **Office fédéral de l'environnement (OFEV)**
La Confédération durant l'Année internationale des sols
Elena Havlicek

25 **Forum Biodiversité Suisse**
Concours de prairies: pleins feux sur la biodiversité
Jodok Guntern

26 **Office fédéral de l'agriculture (OFAG)**
Poursuivre la diversification des variétés locales
Barbara et Hans Oppliger

28 **Carte de la biodiversité**
Quand les vers remplacent la charrue
Yvan Capowiez

Introduction
Les bons génies du sol

Gregor Klaus

Sur une surface de 20 cm sur 20 cm d'une prairie sèche du Jura, des chercheurs ont dénombré 34 espèces végétales, un chiffre sans doute record pour une pelouse calcaire maigre. Par rapport à la diversité spécifique du sol, la diversité en surface doit pourtant être considérée comme indigente: plusieurs milliers d'espèces vivent dans 1 g de sol, parmi lesquelles bactéries, champignons, nématodes, algues, acariens, collemboles, annélides, vers de terre, mille-pattes, coléoptères, araignées et escargots. Le nombre de cellules bactériennes et d'individus unicellulaires ou pluricellulaires est gigantesque: chaque motte de terre grouille de bien plus d'êtres vivants qu'il n'y a d'êtres humains sur la planète.

Compte tenu de l'étendue infinie de cet espace tridimensionnel qu'est le sol, les chiffres paraissent à vrai dire peu surprenants (> p. 5). Le sol n'est pas une couche compacte et homogène de «gadoue» entre la couverture végétale et la roche dure, mais une fine structure constituée de couches variées d'humus et de minéraux. Les espaces intermédiaires sont remplis d'eau ou d'air, où vivent les organismes du sol. La surface habitable d'une simple poignée de terre argileuse est impressionnante: environ 1 km². Le poids de tous les êtres vivant dans le labyrinthe qui s'étend sous 1 ha de terre peut atteindre 15 t, ce qui correspond au poids d'une vingtaine de vaches.

Les organismes du sol en assurent le fonctionnement

Sous nos pieds se déroule une vie trépidante d'une richesse inouïe. Pourtant, alors que des satellites placés sur des orbites définies au millimètre près à plus de 500 km d'altitude parviennent à décomposer la surface de la Terre en carrés de plus en plus petits, le sol demeure en grande partie un monde inconnu.
Malgré l'intensification de la recherche pédobiologique, nous en savons étonnamment peu sur les corrélations écologiques du sol. La lumière ne se fait que très lentement. Elle révèle tout d'abord une biocénose fascinante et très complexe. Les premiers résultats du programme national de recherche PNR 68, «Utilisation durable de la ressource sol», montrent par exemple que les espèces végétales disposent de protections bactériennes spécifiques, produisant un cocktail de substances toxiques qui agissent contre les champignons nuisibles et même contre les insectes. Cependant, ces bactéries ne se contentent pas de supprimer directement des agents pathogènes et des parasites, elles stimulent aussi les mécanismes de défense des plantes contre certaines maladies. Un autre projet a révélé que des racines de maïs lésées émettaient des appels à l'aide afin d'attirer les ennemis de leurs ennemis. Les nématodes ainsi sollicités peuvent détruire les insectes nuisibles.
Il apparaît de plus en plus clairement à quel point la vie superficielle est liée aux organismes du sol. Finalement, ce sont les micro-organismes qui décident ce qui croîtra en surface (> p. 14). Un sol en bonne santé remplit des fonctions vitales et irremplaçables. Deux des principales fonctions du sol sont contrôlées par la vie du sol: la production de denrées alimentaires et de bois, ainsi que la régulation des flux de matières. Les organismes du sol:

- décomposent les résidus de matières végétales et animales,
- stockent et mobilisent les nutriments (> pp. 12s et 14s),
- fixent l'azote,
- favorisent la décomposition chimique et ainsi la fourniture de substances d'origine rocheuse,
- stockent le carbone et l'intègrent dans la matrice du sol,
- réduisent la libération de protoxyde d'azote, nocif pour le climat (> pp. 14s),
- détruisent les substances toxiques telles que les pesticides et assurent la propreté des eaux souterraines,
- protègent les racines des végétaux contre l'asséchement et les pathogènes,
- stabilisent les agrégats du sol par le biais de substances mucilagineuses et réduisent ainsi le risque d'érosion,
- garantissent de bonnes conditions pédophysiques de par leur activité de décomposition et de transformation (> pp. 16s et 28),
- augmentent la capacité de stockage d'eau dans le sol et réduisent le risque de crue et de sécheresse.

Les micro-organismes constituent également une source précieuse pour la fabrication de médicaments. Chaque année, des milliers d'échantillons de sol sont analysés dans l'optique d'y trouver des organismes producteurs d'antibiotiques. Avant la découverte de la pénicilline, produite par un champignon vivant principalement dans les couches supérieures du sol, un tiers de tous les décès étaient imputables à des infections bactériennes, contre moins de 1% aujourd'hui.

Nouvelles technologies, nouvelles questions

Au vu de ces prestations, il paraît tout à fait logique que les organismes du sol jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes agricoles. Une agriculture durable implique par conséquent le renforcement ciblé des milieux pédologiques (> pp. 10s et 14s). Dans le cadre d'une étude de longue durée sur le terrain unique au monde, des chercheurs suisses sont parvenus à mettre en évidence que des modes culturaux différents avaient un impact différent sur la vie dans le sol (> pp. 8s).
Dans les années à venir, de grands progrès sont à prévoir dans la compréhension de la biodiversité du sol. D'une part, l'exploration des corrélations écologiques s'est intensifiée; d'autre part, de nouvelles technologies de séquençage permettent, pour la première fois, de recenser avec précision des communautés microbiennes complexes dans le sol (> pp. 16s). Il est réjouissant de constater que le Réseau national d'observation des sols (NABO) a d'ores et déjà adopté ces nouvelles technologies dans son programme (> pp. 18ss).

Gregor Klaus est rédacteur de HOTSPOT et journaliste scientifique indépendant.
Contact: gregor.klaus@eblcom.ch

«On pourrait justifier un financement cent fois supérieur pour essayer de comprendre le sol»

Que sait-on sur la biodiversité dans le sol? Des organismes qui y vivent? Comment mieux protéger ce patrimoine naturel indispensable à l'homme? Entretien croisé avec deux sommités dans le domaine, Jean-Michel Gobat et Edward Mitchell.

HOTSPOT: Comment vous êtes-vous intéressés au sol? Quels sont vos parcours professionnels, vos spécialités?
Jean-Michel Gobat: Au départ, j'ai fait une licence en biologie. Au cours de ma thèse, je me suis intéressé à la pédologie, en autodidacte. Je travaillais sur les marais et je me suis rendu compte qu'il fallait que je me penche sur ce qu'on ne voit pas. Plus tard, je suis devenu maître-assistant en écologie végétale à l'Université de Neuchâtel, avant d'y monter un labo en pédologie. Je me suis mis à étudier les marais de la rive sud du lac de Neuchâtel et les zones alluviales de Suisse. Depuis, je connais bien les sols du canton. Figurez-vous qu'ici, dans un rayon de 25 kilomètres, on trouve environ 80% des types de sols de Suisse! Mon échelle d'études préférée dans la nature va de quelques centimètres à un hectare; en ceci, nous sommes différents, Edward et moi.
Edward Mitchell: J'ai suivi tous les cours de pédologie de Jean-Michel. Il m'a transmis sa passion des tourbières. Lors de mon master, j'ai étudié les amibes à thèque ou à coquille. Ces amibes vivent dans les mousses et sont sédentaires, si l'on peut dire, au contraire du pollen, qui voyage. Les restes de coquilles se conservent dans les sédiments et livrent un certain nombre d'informations passionnantes. Elles servent par exemple d'indicateurs en ce qui concerne les impacts indirects de l'homme sur les tourbières. Ensuite, aussi en autodidacte, je me suis focalisé sur les protistes, un groupe de micro-organismes beaucoup plus large, qui comprend en plus des amibes, tous les eucaryotes à l'exception des champignons, des plantes supérieures et des animaux. Maintenant, j'enseigne la protistologie et la biologie du sol à l'Université de Neuchâtel.

Pourquoi le sol reste-t-il «terra incognita»?
Gobat: A priori, le sol n'est pas très excitant pour un scientifique. C'est un terrain caché, dont l'observation n'est pas aisée. Ce qu'on peut analyser en laboratoire n'est en plus pas forcément représentatif de ce qui se passe réellement dans le sol. Par exemple, le choc de la

Le Calcosol leptique est un sol assez peu évolué, dont l'horizon brunifié est encore riche en carbonate de calcium. Gorges de l'Areuse, NE, 3. 4. 2007. Photo J.-M. Gobat.

L'Organosol holorganique est constitué d'une épaisse couche de matière organique très acide accumulée sur des gros blocs calcaires. Creux du Van, NE, 12. 6. 2013. Photo J.-M. Gobat.

Le Podzosol meuble rédoxique présente un horizon blanchi très appauvri et une accumulation de fer et d'aluminium dans l'horizon rouge sous-jacent, en conditions de légère hydromorphie. Forêt de Fontainebleau, France, 7. 9. 2006. Photo J.-M. Gobat.

mise en culture de bactéries peut modifier leur comportement. Par rapport aux autres sciences naturelles, cela ne fait pas longtemps que la pédologie est reconnue. Mais le savoir sur la biologie et la formation du sol grandit et s'affine.

Mitchell: La biodiversité régnant dans le sol est méconnue et largement sous-estimée. Maintenant que nous disposons de meilleurs outils (> pp. 14s et 16s), de microscopes plus performants, de méthodes moléculaires, nous sommes en train de nous rendre compte que ce que nous pensions être une seule espèce en représente une centaine, voire des milliers, qui occupent des positions très divergentes sur l'arbre du vivant. Cela donne le vertige.

Quelles sont vos principales découvertes?
Mitchell: Les organismes du sol sont essentiels, ils décomposent la matière organique, libèrent les composés dont les plantes ont besoin. Les protistes permettent d'approfondir certaines questions d'écologie microbienne, ils donnent des renseignements sur les changements qui ont eu lieu dans le passé. On les utilise aussi en éco-toxicologie pour détecter la présence de pesticides et de plomb par exemple. On peut estimer à un demi-million le nombre de protistes en Suisse et à 10–20 millions dans le monde. Il est d'ailleurs très probable que les parasites dominent la biodiversité. Ici, à Neuchâtel, nous avons par exemple étudié l'amibe *Hyalosphenia papilio,* un organisme chimérique, à la fois plante et animal qui vit dans les sphaignes des tourbières. Nous avons découvert qu'il en existait en fait douze espèces, que celles-ci n'avaient pas toute la même écologie, et qu'elles n'étaient pas cosmopolites. Les protistes illustrent parfaitement les défis actuels de l'étude de la biodiversité.

Gobat: Pas de découverte ultra-pointue de mon côté, mais une accumulation progressive de connaissances sur les premières étapes de la formation du sol et du rôle de la vie dans celui-ci. Pour moi, la découverte, c'est la mise en relation de plus en plus étroite de toutes ces connaissances! J'ai ainsi réalisé qu'il existait presque une «infinité» de sols. Pour simplifier, les pédologues en ont défini 100 à 200 types majeurs au niveau mondial; mais on peut déjà en retrouver quatre ou cinq dans une toute petite surface de forêt de chez nous. Un même type de sol peut être très différent en ce qui concerne les organismes qui y vivent, par exemple en raison d'épaisseurs différentes. La biodiversité des sols dépend du climat, de la topographie, de la végétation, de la géologie, de l'acidification, de la présence d'oxygène, entre autres facteurs.

Comment se répartissent les organismes dans le sol et comment cohabitent-ils? Pourquoi certaines espèces sont-elles plus rares que d'autres dans le sol?
Gobat: L'activité biologique se concentre dans les vingt premiers centimètres et c'est dans une couche de cinq centimètres qu'il existe le maximum de biodiversité. Mais le type de sol a aussi son rôle à jouer. On ne trouvera par exemple pas la grande faune macroscopique (lombrics, etc.) dans les tourbières. Lorsque ce-

Jean-Michel Gobat. Photo Maiann Suhner

la devient plus difficile pour la macrofaune, la mésofaune peut la remplacer en partie. Pour ce qui est de la façon de cohabiter des organismes, cela va de l'indifférence à la prédation, en passant par le parasitisme, l'entraide et la symbiose. Quant aux espèces rares, elles sont souvent liées à des sols rares, comme des sols gelés (permafrost) situés à basse altitude.

Mitchell: Il est difficile et dangereux de tirer des conclusions sur la rareté, la diversité et la répartition des espèces, car il y a de grandes inégalités dans la qualité et la quantité des données dont on dispose. Mais il est par exemple évident que les tourbières de Suisse ne sont pas très riches en espèces; par contre, celles qui y vivent sont rares et menacées, parce que ce sont des milieux très particuliers. Autre certitude: le sol contient des pathogènes ainsi que des espèces invasives, dont plusieurs espèces invasives de vers plats originaires d'Australie, Nouvelle-Zélande ou d'autres îles du Pacifique, prédateurs de mollusques et de lombrics.

Est-ce que des sols sont menacés ou ont disparu en Suisse?
Gobat: Par sa situation de carrefour climatique et géologique en Europe, la Suisse est particulièrement riche en types de sols. Elle en comprend une soixantaine parmi les majeurs. Si on part de Sierre pour monter jusqu'au Touno dans le Val d'Anniviers (VS), on traverse presque toute l'Europe du Sud au Nord en ce qui concerne les différents types de sol. Malheureusement, les sols suisses sont soumis à une pollution diffuse et il n'y a pratiquement plus aucun sol non influencé par l'homme. Même très pollué, le sol est toujours là. La destruction n'est pas visible, pourtant le fonctionnement est atteint. On peut revitaliser certains sols endommagés, mais pour d'autres, on ne peut rien faire que de les confiner, comme certains sols industriels très chargés en métaux lourds.
Mitchell: Une des plus grandes pollutions du sol en lien avec la biodiversité est l'apport d'azote (> p. 22s). C'est un phénomène universel qui provoque des changements notoires dans les communautés d'organismes. Deux autres destructions pernicieuses sont le compactage par des machines de plus en plus lourdes et l'érosion. Pour revenir aux tourbières, en Suisse, 90% d'entre elles ont été transformées en zones agricoles, en aéroports, etc. En détruisant ces sols, on a anéanti tous leurs organismes caractéristiques et libéré du carbone. On a aussi effacé à jamais le livre d'histoire qui permet de reconstituer l'évolution du climat, les activités humaines et la pollution au cours des siècles.

Existe-t-il une liste des sols à protéger? Des inventaires recensant les organismes du sol? Quels sont les défis à relever?
Gobat: Il n'existe pas de liste de sols menacés ou à protéger. La Suisse n'a en effet jamais élaboré de législation spécifique pour le sol, mais nombre de lois touchant à divers domaines y font référence (aménagement du territoire, sites contaminés, agriculture, environnement). Le but était de rendre attentifs un maximum d'acteurs. Néanmoins, les lois et ordonnances suisses concernant la protection des sols sont des modèles du genre, car le sol y est considéré à la fois comme base alimentaire et base des écosystèmes. Malheureusement, il y a souvent un pas entre théorie et application. Pour moi, il s'agit avant tout de protéger le contexte fonctionnel (> p. 10), de conserver au maximum la séquence des horizons dans les sols. En agri-

Edward Mitchell. Photo Maiann Suhner

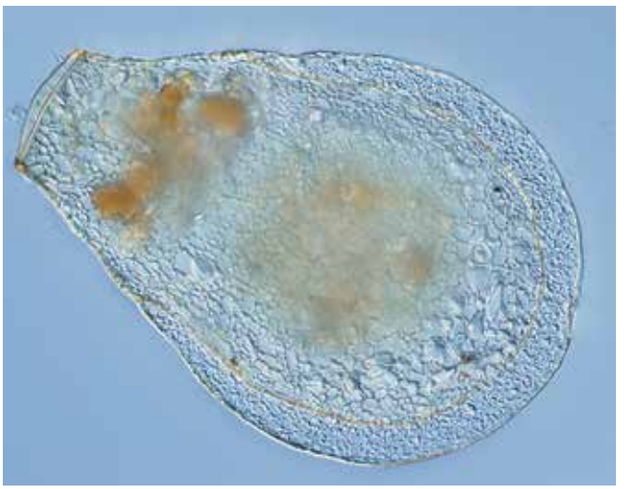
culture, le non-labour est une voie exemplaire qui se développe de plus en plus.

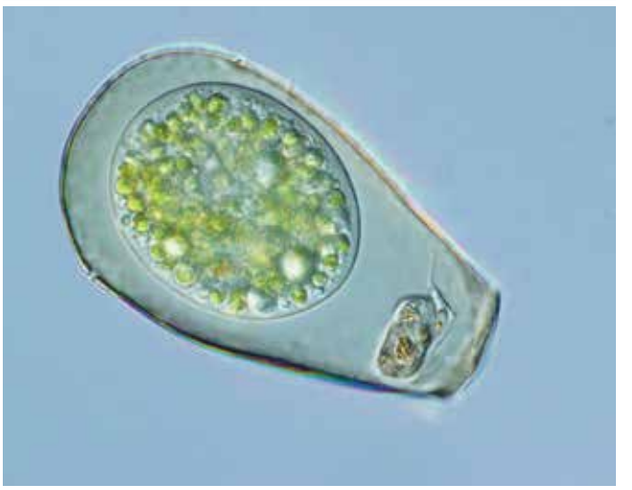
Mitchell: Cartographier toute la biodiversité du sol est un travail de très longue haleine. Cela devient possible avec les nouvelles méthodes de séquençage massif. Mais, il faut savoir interpréter ces données, comparer les séquences obtenues avec les bases de données existantes. Or, celles-ci sont incomplètes et comportent beaucoup d'erreurs. Nous avons donc plus que jamais besoin de former des taxonomistes. Si le premier défi est d'effectuer l'inventaire, le second est de procéder au monitoring. Or, les méthodes évoluent extrêmement vite. Comment garantir qu'on puisse comparer les dif-

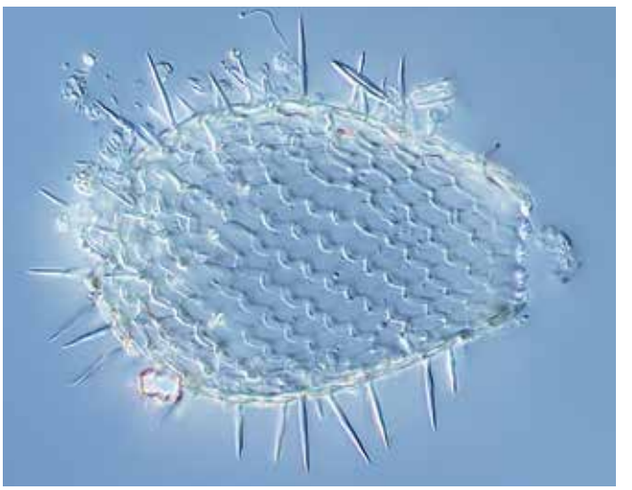
férents résultats entre eux dans quelques années?

Des espoirs? Des souhaits?
Gobat: Il y a une réelle volonté d'avancer dans la protection du sol en Suisse comme dans les pays voisins. Mon souhait est qu'on réalise à quel point le sol est fondamental et qu'on ait une vision à long terme de sa conservation et de son utilisation. Il faut redoubler d'efforts dans l'information au public et profiter de l'intérêt des enfants pour la nature: le sol est très attractif!
Mitchell: «Nous connaissons mieux la mécanique des corps célestes que le fonctionnement du sol sous nos pieds». La phrase attribuée à Léonard de Vinci (1452–1519) reste plus que jamais d'actualité. Les trois grands domaines de la science que sont l'astronomie, la physique et la biologie avaient des moyens semblables il y a un ou deux siècles, mais aujourd'hui, force est de constater que les deux premiers ont connu des développements massifs et disposent de moyens colossaux – satellites en orbite autour de la terre, grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN –, alors qu'en biologie, l'instrument de base reste le microscope. Pourtant, soigner et préserver le sol est capital. C'est lui qui nous nourrit. On peut émettre l'espoir que la tendance se renverse. On pourrait justifier un financement cent fois supérieur pour essayer de comprendre le sol.

Interview: **Cornélia Mühlberger de Preux,** journaliste environnementaliste, Lausanne; **Jodok Guntern** et **Maiann Suhner,** rédaction HOTSPOT







De haut en bas: **Nebela carinata** est une thécamibe des gouilles des haut-marais. C'est une redoutable prédatrice. Sa coquille est composée d'éléments siliceux produits par ses proies, principalement d'autres amibes.

Hyalosphenia papilio est une thécamibe typique des bas-marais acides à sphaignes et replats humides des tourbières. Elle est mixotrophe, c'est-à-dire qu'elle possède des algues qui lui permettent d'avoir un métabolisme à la fois «animal» et «végétal». Elle est aussi capable d'attraper d'autres protistes et des métazoaires comme les rotifères.

En ce qui concerne **Euglypha** cf. **ciliata,** il s'agit sans doute d'un complexe d'espèces où chacune a une préférence pour un habitat particulier. Ces espèces consomment des bactéries et probablement aussi des champignons et des protistes.

Difflugia leidyi est aussi une espèce des gouilles de tourbière. Elle consomme une diversité de micro-organismes. Sa coquille est formée d'éléments minéraux ou biogènes du milieux, dont des diatomées parfois encore vivantes.
Photos Edward Mitchell

Quels systèmes culturaux favorisent la vie dans le sol?

Dans le cadre d'un essai en plein champs unique au monde, menée à proximité de Bâle depuis 1978, des systèmes d'agriculture biologiques et conventionnels sont comparés à raison d'un assolement de sept ans. Les systèmes culturaux ont des impacts différents sur la vie dans le sol. Les processus biologiques notamment favorisent le nombre, l'activité et la diversité des organismes vivant dans le sol. Le développement de nouvelles méthodes a permis de compléter les acquis. *Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Jochen Mayer, Fritz Oehl, Lukas Pfiffner, Martin Hartmann et Franco Widmer*

Dans quelle mesure l'intensité d'exploitation (fertilisants, pesticides) se répercute-t-elle sur la biodiversité du sol? Le projet DOK, mené près de Therwil (BL) à l'initiative de la station de recherche Agroscope et l'Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, a permis de comparer divers systèmes culturaux sur une surface de départ homogène répartie entre 96 parcelles:

D – Biodynamique: Fumier composté, régulation mécanique des mauvaises herbes, extraits de plantes et préparations biodynamiques
O – Bio-organique: Fumier décomposé, poudre de roche, sulfate de potassium, régulation mécanique des mauvaises herbes, extraits de plantes et cuivre
K – Conventionnel (organique et minéral; depuis 1992 exploitation conforme aux prestations écologiques requises (PER)): Fumier tassé, fumure minérale (N, P, K), régulation mécanique des mauvaises herbes, herbicides, fongicides et insecticides, régulateurs de croissance
M – Conventionnel (seulement minéral; depuis 1992, PER): Fumure minérale (N, P, K), régulation mécanique des mauvaises herbes, herbicides, fongicides et insecticides, régulateurs de croissance
N – Contrôle sans fertilisation: ne fertilisation, préparations biodynamiques

Les systèmes culturaux D, O et K sont fertilisés à l'aide d'engrais de ferme à raison de 1,4 unité de gros bétail par hectare sous forme solide et liquide. Conformément aux directives du mode de production concerné, ils reçoivent les substances minérales, fertilisants synthétiques et produits phytosanitaires autorisés. La méthode minérale conventionnelle (M) ne recourt qu'à des engrais et pesticides synthétiques. Un mode cultural sans fertilisation (N) sert de contrôle. Les méthodes biologiques (D et O) présentent en moyenne des rendements d'environ 20% inférieurs à ceux des cultures conventionnelles (K et M) (Mäder et al. 2002).

Richesse et diversité dans les sols bio

Les premières mesures pédobiologiques furent effectuées au début des années 1990. Elles permirent de recenser la diversité et la densité des vers de terre, des organismes utiles (carabidés, staphylinidés, araignées, plus tard également d'autres animaux tels que nématodes, enchytréides et pucerons) ainsi que des champignons mycorhiziens, et de déterminer la biomasse microbienne et certaines activités biologiques spécifiques à l'aide de tests enzymatiques. À l'époque, les vers de terre étaient considérablement affectés par les pesticides très toxiques encore admis dans l'agriculture conventionnelle. Les cultures biologiques présentaient la biomasse lombricienne et le nombre d'individus les plus élevés. La biomasse lombricienne était de 30 à 40% et leur nombre, de 50 à 80% supérieurs par rapport aux cultures conventionnelles. La différence était encore plus grande en comparaison des sols soumis à une fumure purement minérale. Les espèces anéciques étaient présentes en moins grand nombre sur les parcelles conventionnelles que sur les surfaces vouées aux cultures biologiques D et O, ainsi que des exploitations ont pu le confirmer par la suite dans la pratique (Pfiffner et Luka 2007). Après l'interdiction des pesticides les plus douteux et l'introduction, en 1992, des prestations écologiques requises (PER) en tant que condition préalable à l'obtention de paiements directs, les populations de lombrics ont pu se redresser en partie (Birkhofer et al. 2008, Jossi et al. 2007, Pfiffner et Mäder 1997).

Les carabidés étaient plus variés et plus nombreux dans les deux systèmes culturaux biologiques que dans les systèmes K et M (Pfiffner et Niggli 1996). Sept carabes très menacés ainsi que des espèces exigeantes sur le plan microclimatique n'étaient présentes que sur des parcelles biologiques; d'autres espèces y étaient en plus grand nombre que dans les systèmes de culture conventionnels. Ce n'est pas surprenant, car certains pesticides peuvent tuer directement ces arthropodes et réduire leur offre en nourriture. La diversité de la flore adventice et la densité de population moindre sur les surfaces biologiques ont amélioré le milieu de vie de nombreuses espèces d'arthropodes.

Ce phénomène - présence d'espèces propres au mode de culture – a été confirmé par la suite dans le cadre d'expériences comparatives «on farm» de surfaces céréalières extensives (IP-Extenso) et de surfaces biologiques (Pfiffner et Lika 2003). De plus, les cultures biologiques présentaient une densité de prédateurs deux fois supérieure et une densité de pucerons deux fois inférieure, ce qui suggère un meilleur service écosystémique sur le plan de la régulation naturelle des ravageurs (Birkhofer et al. 2008).

Les spores des champignons mycorhiziens arbusculaires (> p. 14) étaient plus fréquentes et plus variées dans les cultures biologiques que dans les cultures conventionnelles, même s'il convient de nuancer la présence des espèces de mycorhizes: les espèces du genre *Glomus* étaient aussi fréquentes dans toutes les cultures, alors que les genres *Acaulospora* et *Scutellospora* étaient mieux représentés dans les cultures biologiques (Oehl et al. 2004).

Les engrais de ferme nourrissent les micro-organismes

Les analyses microbiologiques du sol se fondaient, dans les années 1990, sur le principe de la «black-box»: les méthodes de distinction des espèces faisaient en grande partie défaut et les micro-organismes du sol étaient considérés en bloc. La première méthode d'évaluation de la biomasse microbienne fut la méthode de fumigation-extraction au chloroforme. Elle fut utilisée pour la première fois en 1995 dans le cadre de l'essai DOK et révéla, dans les sols affectés à une exploitation biologique, un accroissement de la biomasse microbienne pouvant atteindre 40% par rapport aux cultures conventionnelles. Des différences similaires furent révélées par d'autres techniques.

Les trois systèmes utilisant des engrais de ferme ne se distinguaient pas chaque année, mais ils le faisaient toujours dans le même ordre: D > O > K. Les options à engrais de ferme présentaient toujours une biomasse microbienne bien supérieure à celle des variantes à fertilisants minéraux (Fliessbach et al. 2007). Outre la décomposition des restes de récolte, les activités microbiennes comprennent également la minéralisation des nutriments qui en découle pour la croissance des végétaux. La respiration des micro-organismes est un indicateur de leur activité. Par rapport à la biomasse microbienne, c'est le qCO_2 qui indique le besoin d'énergie des microbes lié au maintien de leur métabolisme dans leur environnement spécifique. Les cultures biologiques offrent des valeurs inférieures par rapport aux systèmes de fumure minérale, ce qui est interprété comme une amélioration de l'efficience dans l'utilisation de l'énergie présente dans les sources de carbone organique. Souvent, les différences de qCO_2 s'expliquent par une diversité accrue de microbes, selon le principe que les biocénoses complexes exploitent mieux les ressources disponibles pour développer de la biomasse que des communautés à structure simple (Fliessbach et al. 2007).

Nouvelles méthodes d'analyse

La détermination de la diversité microbienne n'était possible, jusqu'à l'introduction des techniques moléculaires, que par le biais de cultures dans des milieux de croissance spécifiques (plaques d'Agar). Elles ne recensaient toutefois qu'une fraction des micro-organismes présents dans le sol. L'une des premières techniques moléculaires reposait sur l'identification d'acides gras phospholipidiques (PLFA), éléments fonctionnels de la membrane cellulaire, qui permettent de distinguer les groupes d'organismes. Au cours des années 1990 furent utilisées les premières méthodes de génétique moléculaire, facilitant l'évaluation de la diversité sur la base du matériel génétique (ADN). Les premiers travaux méthodologiques débutèrent en 1998 par la comparaison de trois approches (PLFA, ADN et tests d'utilisation de substrats – BIOLOG), qui révéla que chaque approche méthodologique permettait des distinctions différentes.

L'application dans le cadre de l'essai DOK montra que les microflores se distinguaient sensiblement dans les sols soumis à une fertilisation organique ou non organique (Widmer et al. 2006). Il s'ensuivit des études complémentaires des microflores du sol en 2006 à l'aide des méthodes PLFA et ADN (Esperschütz et al. 2007, Hartmann et al. 2006), qui démontrèrent également l'impact de la fertilisation organique. Les analyses PLFA mirent aussi en évidence une distinction des deux cultures biologiques D et O par rapport à l'approche conventionnelle K. Une récente publication basée sur les dernières méthodes de génétique moléculaire à haute résolution (Hartmann et al. 2014) montre que les microflores de toutes les cultures se distinguent et se développent notamment dans différentes directions suite à l'emploi d'engrais de ferme de différentes qualités (> p. 16).

Les interventions à court terme interfèrent avec les effets à long terme

En conclusion, les analyses pédobiologiques permettent d'identifier les effets à long terme des méthodes culturales sur la vie dans le sol. Ces effets ont été interférés par des influences à court terme telles que le travail du sol, la fumure et les diverses cultures. Des effets favorables, aux lombrics par exemple, peuvent être annihilés par un travail du sol mal programmé (> p. 28). Les arthropodes utiles peuvent subir un préjudice direct ou indirect par suite de mesures culturales (emploi de pesticide ou d'herbicide, p. ex.). La plupart des organismes hétérotrophes et oligotrophes du sol sont nourris et favorisés par l'apport de substances organiques provenant de la végétation ou de la fertilisation organique. Si ces substances font défaut, les organismes du sol meurent de faim; leur quantité et leur activité diminuent.

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot

Vue aérienne de l'essai DOK en avril 2014. Photo Radio Télévision Suisse RTS

Andreas Fliessbach travaille à titre de pédo-écologiste depuis 20 ans au FiBL. Outre ses travaux dans le cadre de l'essai DOK, il s'est intéressé aux effets des métaux lourds et des pesticides sur les microbes du sol. Il dirige actuellement des projets de développement de la fertilité du sol.

Paul Mäder dirige l'essai DOK depuis 1987 au niveau du FiBL, où il dirige le département de pédologie. Son travail se concentre sur la comparaison des systèmes agraires.

Jochen Mayer dirige l'essai DOK depuis 2007 au niveau d'Agroscope. Ses travaux sur les interactions sols-racines, les flux de carbone et d'azote dans l'espace racinaire et les effets à long terme des cultures biologiques et conventionnelles se concentrent sur le projet DOK.

Fritz Oehl travaille depuis 20 ans en Suisse à titre de pédoécologiste, dont sept ans auprès d'Agroscope. Outre ses travaux sur la disponibilité des nutriments, il s'est notamment intéressé à la biodiversité des champignons mycorhiziens arbusculaires dans le sol de divers systèmes culturaux.

Lukas Pfiffner, scientifique en chef au FiBL, encadre des projets d'optimisation agro-écologique se concentrant sur la diversité fonctionnelle de divers systèmes culturaux.

Martin Hartmann travaille à l'Institut fédéral de recherche WSL de Birmensdorf (ZH). Il est écologiste microbien, spécialisé dans l'étude du microbiome à l'aide des dernières technologies de génétique moléculaire.

Franco Widmer dirige le groupe de recherche «écologie moléculaire» à l'Agroscope. Biochimiste et biologiste cellulaire de formation, il s'est spécialisé dans la caractérisation génétique de communautés microbiennes dans l'environnement.

Contact: andreas.fliessbach@fibl.org

Les organismes du sol n'aiment pas être dérangés

En matière de travail du sol, la culture fait face à un dilemme. D'une part, une exploitation intensive présente souvent des avantages agronomiques, du moins à court terme; d'autre part, elle implique un risque d'érosion élevée et porte préjudice à la vie du sol. Il s'agit de trouver un compromis permettant une exploitation durable et soucieuse du sol, sans pour autant réduire la productivité agricole. *Maike Krauss, Alfred Berner, Andreas Fliessbach, Lukas Pfiffner et Paul Mäder*

En agriculture, le travail du sol destiné à préparer une zone de semis ou à réguler les mauvaises herbes joue un rôle essentiel. Avec l'industrialisation, le développement des tracteurs et des machines a rapidement progressé, si bien que cette activité est aujourd'hui très intensive et que la profondeur du sol travaillé avoisine 20 à 30 cm. En même temps, la couche supérieure est souvent intégralement retournée. En cas de mauvaise exécution, il en résulte surtout un compactage du sous-sol, tandis que le risque d'érosion s'accroît en raison de l'absence de protection de la surface. On estime qu'à l'échelle mondiale, environ un tiers de la surface cultivée a été détruite par l'érosion en l'espace de trois décennies. Pour y faire face, des systèmes dits de non-labour («no till» en anglais) ont été mis au point: dotés d'un contrôle chimique des adventices et de machines spécifiques, ils permettent de déposer directement les semences dans un sillon. Comme le sol n'est plus retourné, l'humus se concentre à la surface, y améliore la structure du sol et permet une meilleure absorption d'eau. Ces systèmes de semis direct sont donc surtout répandus en Amérique du Sud, aux États-Unis, au Canada et en Australie, mais aussi en Espagne, où la disponibilité de l'eau pour l'agriculture est un facteur limitatif.

Nombreux essais sur le terrain

En Suisse, les techniques de non-labour sont utilisées sur environ 5% des surfaces cultivées. La charrue prédomine encore. Un changement de mentalité s'observe toutefois à différents niveaux. Comme les systèmes de semis direct se caractérisent par l'apparition des premières mauvaises herbes résistantes aux herbicides («superweeds») et que le recours à long terme aux herbicides pourrait s'avérer dangereux pour la santé et l'environnement, des chercheurs s'intéressent à la réduction de l'emploi d'herbicides dans ces systèmes. En Suisse, un suivi à long terme est menée sur la parcelle Oberacker à l'Inforama de Rütti (BE) par exemple, afin de comparer le non-labour et l'emploi de la charrue.

Une autre approche est suivie par le labour dit de conservation. Il peut consister à réduire la profondeur de labour ou à utiliser des machines travaillant à plat ou ne retournant pas la terre. L'objectif est de ménager le sol et d'exploiter les incidences positives du contrôle mécanique des adventices et de l'enfouissement des engrais de ferme tout en en réduisant les effets négatifs. Cette approche est étudiée par l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL) à Frick (AG, bio depuis 2003) et à Aesch (BL, bio depuis 2010) ainsi qu'Agroscope à Changins (VD, conventionnel) et à Reckenholz (ZH, essai FAST, bio et conventionnel depuis 2009). De plus, le FiBL perfectionne, dans des exploitations agricoles, des systèmes de culture sans herbicides impliquant une réduction du labour, et les étudie, du point de vue de l'évolution du sol, dans le cadre d'un programme du canton de Berne sur l'utilisation efficiente des ressources. Des tests sont également effectués sur des systèmes de semis direct moyennant des engrais verts à croissance dense, courbés par un cylindre à lames. La Confédération encourage ces formes de production écologiques telles que semis sur paillage et semis direct dans le cadre du programme d'utilisation efficiente des ressources de la politique agricole 2014-2017.

Du point de vue de l'agriculture biologique, le semis direct constitue une bonne option pour certaines cultures. Le travail du sol demeure toutefois essentiel dans ce système, pour pouvoir retourner les prairies artificielles au cours d'une période d'assolement, contrôler les adventices et stimuler la minéralisation de l'azote au printemps. A quoi bon tout ce travail si la charrue peut le faire en toute simplicité?

Le labour de conservation accroît la vie du sol

Il a déjà été signalé que le labour de conservation permettait la concentration d'humus dans les couches supérieures du sol et la formation d'une stratification analogue à celle d'une zone herbagère. L'amélioration de la structure pédologique et du régime hydrique qui en résulte a été confirmée dans pratiquement toutes les expériences (Gadermaier et al. 2012, Maltas et al. 2013, Chervet et al. 2006, Krauss et al. 2010, Fontana et al. 2015). Les lombrics en tirent largement profit, car leurs galeries et eux-mêmes en souffrent moins et que davantage de nourriture se concentre au niveau des horizons supérieurs (> p. 28) (van Capelle et al. 2012). L'expérience de Frick a mis en évidence, en cas de labour de conservation, un plus grand nombre de jeunes lombrics et quatre fois plus de cocons de lombric (Kuntz et al. 2013). L'essai mené à Oberacker a aussi révélé un accroissement des vers anéciques (creusant des galeries verticales) et un regain de biomasse lombricienne sur les surfaces affectées au semis direct (Maurer-Troxler et al. 2005).

Parcelle d'essai de travail du sol à Frick avant l'ensemencement en maïs en 2015. A gauche: labour de conservation et restes d'engrais verts à la surface du sol; à droite: labour classique. Photo FiBL

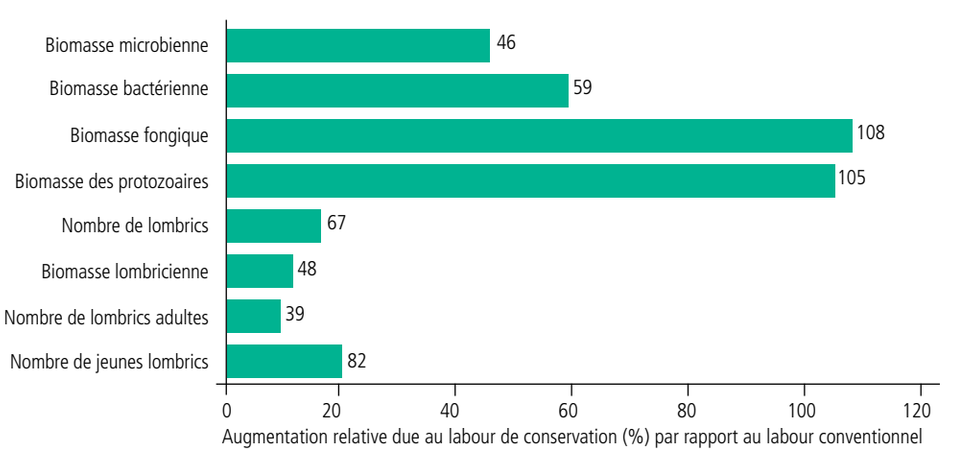
Sur le plan des micro-organismes, les sols soumis au labour de conservation présentaient, au bout d'une dizaine d'années, jusqu'à 46% de biomasse microbienne en plus (bactéries, champignons, protozoaires) par rapport au labour classique dans les dix centimètres supérieurs (Gadermaier et al. 2012, Kuntz et al. 2013). En même temps, sa composition évoluait en faveur des champignons (Kuntz et al. 2013). Dans le cadre du projet TILMAN-ORG, mené sur plusieurs sites en Europe, les travaux permettent également d'observer que le travail du sol exercent une influence notable sur la composition génétique et structurelle des populations de micro-organismes dans les horizons supérieurs (Fliessbach et al. 2014).
Les mycorhizes jouent un rôle capital dans l'apport nutritionnel et la formation d'agrégats solides dans le sol (> pp. 14s). La densité des spores et la richesse spécifique des mycorhizes affichent un net accroissement dans les tests de labour de conservation à Frick, comme l'ont montré les analyses morphologiques de spores de mycorhizes (Säle et al. 2015). Des analyses biomoléculaires ont révélé par ailleurs que non seulement la diversité spécifique s'est accrue, mais aussi la biodiversité intraspécifique d'une espèce souvent présente (Börstler et al. 2010).

Le volume de biomasse microbienne détermine l'ampleur de son activité. A Frick, par exemple, une plus grande activité microbienne a été observée dans les couches supérieures du sol soumis à un labour de conservation (Gadermaier et al. 2012, Krauss en préparation).
Concernant les organismes de surface, il a été établi que les coléoptères (Kromp, 1999) et les araignées (Thorbek und Bilde 2004) sont directement affectés ou détruits par le travail du sol. La rapidité de recolonisation de la parcelle labourée dépend des adventices et résidus végétaux subsistant en surface et nécessaires à leur alimentation et à leur protection. Les coléoptères, par exemple, sont plus fréquents sur le long terme dans les champs soumis à un labour de conservation (Kromp, 1999). En plus, on y a observé non seulement une couche d'adventices plus épaisse mais aussi une évolution vers des herbacées pérennes (Armengot et al. 2015).

Une poursuite de la recherche s'impose

En résumé, l'accumulation d'humus et l'accroissement de la biomasse végétale en surface dans les cultures soumises à un labour de conservation (y compris un semis direct) ont une incidence positive sur la vie dans et sur le sol. Les fortes atteintes liées au labour, en revanche, provoquent une perturbation régulière des couches supérieures du sol. Du point de vue de la protection des ressources et de la durabilité, le labour de conservation s'avère donc tout à fait souhaitable. Comme il est cependant lié à de plus grands risques agronomiques, qu'un savoir et une expérience complémentaire sont requis, de même que des investissements en équipement spécifique, il importe que la recherche, l'information et la formation poursuivent leurs efforts.

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot



Croissance relative des communautés microbiennes et des lombrics dans un système de labour de conservation à Frick, par rapport au labour traditionnel (0-10 cm, d'après Kuntz et al. 2013).

Les auteurs travaillent à l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL) de Frick.
Maike Krauss est géo-écologiste. Son travail se concentre sur l'impact climatique des systèmes de labour de conservation, en particulier dans des conditions biologiques.
Paul Mäder dirige le département Sols. Son groupe de recherche s'intéresse à de nombreux projets agricoles de longue. Paul Mäder a dirigé le projet TILMAN-ORG (tilman-org.net) sur le labour de conservation en culture biologique et il est impliqué dans un projet européen Horizon 2020 relatif à l'évaluation de la qualité du sol (iSQAPER).
Alfred Berner s'intéresse à la fertilisation organique dans le cadre du labour de conservation. Il dirige depuis 2002 des projets sur le terrain à Frick et à Aesch.
Andreas Fliessbach est pédobiologiste; il s'intéresse à l'influence de diverses mesures d'exploitation sur les micro-organismes. Il dirige de nombreux projets internationaux sur l'optimisation des systèmes par l'amélioration de la gestion de la substance organique ainsi que des rotations de cultures et le labour de conservation.
Lukas Pfiffner est entomologiste; il s'intéresse à la gestion de l'habitat dans des cultures optimisées dans l'optique d'un accroissement de la diversité fonctionnelle.
Contact: maike.krauss@fibl.org

Maintenir le cycle: rôle des micro-organismes du sol dans la dynamique du phosphore

Les micro-organismes peuvent absorber diverses formes de phosphore dans le sol. Ils jouent ainsi un rôle essentiel dans le cycle du phosphore. Faute de micro-organismes, seule l'assimilation de phosphore par les végétaux ferait face à la fixation croissante de phosphore dans le sol par le biais de processus de sorption. L'aptitude des micro-organismes à stocker et à mobiliser le phosphore pourrait être utile à l'agriculture. *Else K. Bünemann et Sabine A. Ragot*

Tous les êtres vivants ont besoin de phosphore pour le matériel génétique, l'approvisionnement des cellules en énergie et les membranes cellulaires. Les végétaux réagissent au manque de phosphore par une nette réduction de leur croissance et une coloration anthocyane typique. Même si le volume total de phosphore dans le sol est relativement élevé, des manques de phosphore peuvent survenir, dans la mesure où seule une très petite partie de ce phosphore est présent sous forme de phosphate dissous dans les eaux souterraines et susceptible d'être absorbé par les plantes. Ces réserves dissoutes sont reconstituées par la diffusion du phosphate dans la phase solide du sol. En principe, le phosphate présent dans le sol est cependant très inerte, car il est adsorbé sur les oxydes de fer et d'aluminium, et précipité avec le calcium. La principale adaptation des végétaux à la faible disponibilité du phosphore consiste donc à pénétrer le sol à l'aide d'un système racinaire aussi fin et étendu que possible. Une extension du système racinaire peut aussi être obtenue grâce aux champignons mycorhiziens (> pp. 14s).

Outre ces organismes symbiotiques, le sol contient des champignons et des bactéries saprophytiques, en mesure de mobiliser les formes de phosphore difficilement disponibles dans le sol, ce dont finalement d'autres organismes peuvent profiter. Il s'agit, d'une part, de minéraliser en phosphate le phosphore organiquement fixé et, d'autre part, de dissoudre les minéraux phosphatés comme l'apatite. L'importance relative de ces processus microbiens dans le cycle du phosphore à l'intérieur du système sol-plante n'a pas encore été quantifiée, car il est difficile, sur le plan méthodologique, de mesurer les processus biologiques dans le cadre de processus physico-chimiques omniprésents (sorption/désorption et solution/dissolution). De plus, les connaissances sont restreintes en ce qui concerne les principaux acteurs, c'est-à-dire les micro-organismes susceptibles de rendre disponibles certaines formes de phosphore.

C'est précisément là qu'intervient notre recherche. Nous essayons de répondre aux questions suivantes: comment mesurer les taux de conversion de phosphore organiquement fixé dans le sol? Et quels sont les (groupes de) micro-organismes particulièrement actifs dans la minéralisation du phosphore organiquement fixé? Ces deux domaines sont étroitement liés au développement de nouvelles méthodes. Nous présenterons ci-après – en guise d'exemple des fonctions remplies par les micro-organismes dans les flux de nutriments dans le sol – les principales conclusions de nos travaux de recherche des dernières années.

Conversion abondante de phosphore dans la biomasse microbienne

Selon le type de sol et son utilisation, 20 à 80% du phosphore total peut être présent sous forme organique dans les horizons supérieurs. Une répartition entre «phosphore organique mort» et «phosphore présent dans la biomasse microbienne» s'avère judicieuse, même si le phosphore fixé dans la biomasse microbienne représente, dans la plupart des sols, nettement moins de 10% de l'ensemble du phosphore organique. Néanmoins, il peut être considéré comme un élément moteur de la dynamique du phosphore dans le sol. Cela tient au fait que les micro-organismes assimilent beaucoup de phosphore en peu de temps et peuvent aussi modifier leur stratégie en cas de manque de phosphore. Dans ces conditions, non seulement l'efficacité s'accroît au niveau de la sorption de phosphate, mais davantage d'enzymes sont aussi sécrétées, susceptibles de diviser le phosphore organiquement fixé, ce qui libère du phosphate (voir graphique).

Dans un test de fertilisation mené par Agroscope sur une prairie à fromental riche en espèces près de Regensdorf/Watt (ZH), nous avons tout d'abord déterminé les taux des processus biologiques «minéralisation» et «immobilisation» par rapport aux taux des processus physico-chimiques (Bünemann et al. 2012). Dans ce but, un isotope radioactif de phosphore de durée de vie relativement courte (^{33}P) a été ajouté au sol, et sa répartition a été suivie pendant quelques semaines dans la solution de sol, la biomasse microbienne et la phase solide. Dans le sol de parcelles qui n'avaient pas été engraissées au phosphore depuis 18 ans, nous avons observé une assimilation microbienne du phosphore incroyablement rapide, de sorte qu'au bout d'une journée, 45% du ^{33}P ajouté se trouvait dans les micro-organismes. Sur des parcelles fertilisées depuis des années, nous en trouvions quand même encore 30%, ce qui montre à quel point les micro-organismes peuvent être compétitifs par rapport à la fixation abiotique du phosphore dans la phase solide du sol.

A vrai dire, cette immobilisation microbienne du phosphore constitue une concurrence pour les végétaux, car le phosphore microbien n'est pas assimilable par les plantes et doit être libéré par reminéralisation. Cela peut résulter d'une décimation de la population microbienne par des organismes tels qu'amibes et nématodes, situés plus haut dans la chaîne alimentaire. Les variations climatiques peuvent également influer. En cas de forte sécheresse et de réhumidification soudaine du sol, les cellules microbiennes peuvent être détruites. Concernant le sol de Regensdorf/Watt, nous avons pu mettre en évidence que le phosphore ainsi libéré était effectivement assimilable par les plantes (Bünemann et al. 2013). Certes, sur le terrain, les variations de la teneur en eau du sol sont rarement aussi extrêmes sous nos latitudes; cependant, la quantité de phosphore immobilisée chaque année par la biomasse microbienne est supérieure à celle assimilée par les plantes (Liebisch et al. 2014).

Quels micro-organismes peuvent diviser le phosphore?

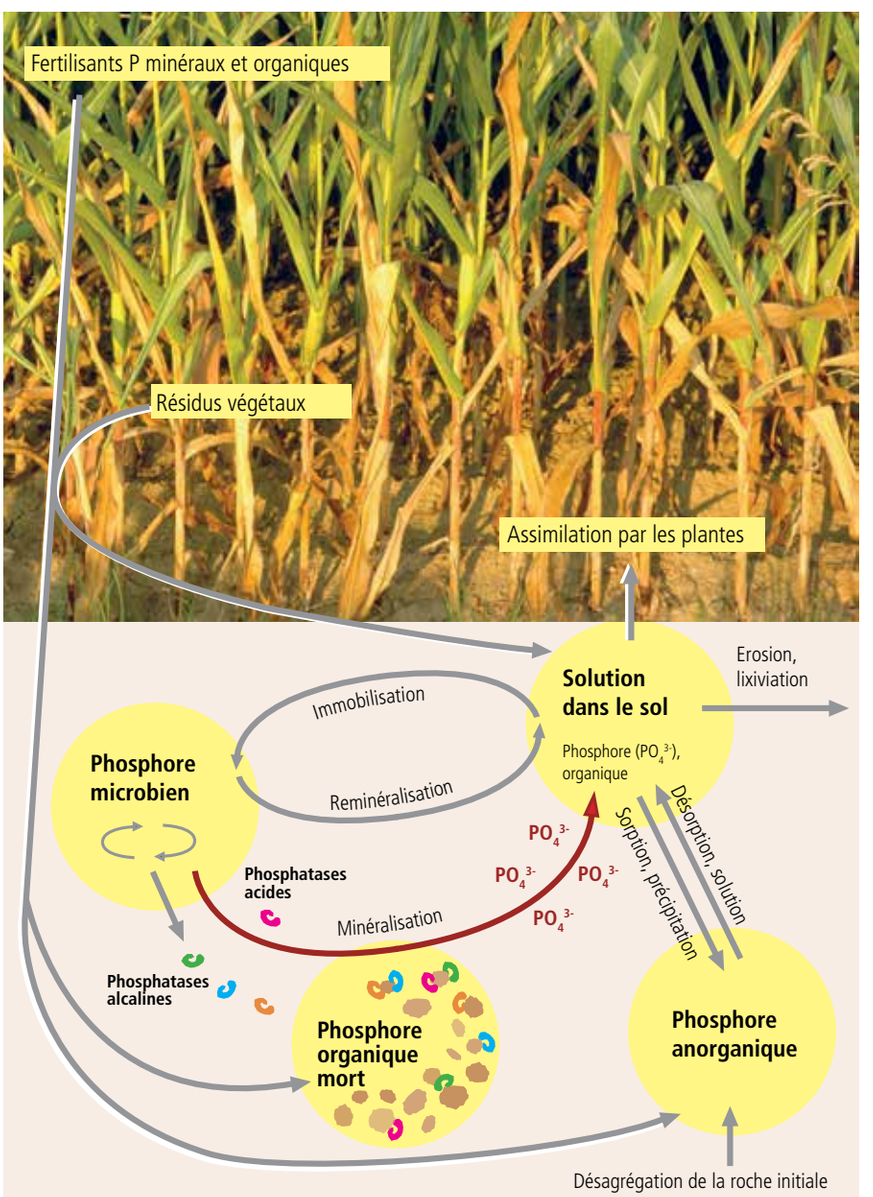
Dans l'étude de Bünemann et al. (2012), la minéralisation du phosphore organique mort était moindre que les flux microbiens directs de l'immobilisation et de la reminéralisation. Dans d'autres sols et écosystèmes, ce flux peut toutefois s'avérer très important. C'est pourquoi nous aimerions savoir quels micro-organismes sécrètent des enzymes capables d'hydrolyser le phosphore organique. Concernant le cycle de l'azote, il existe déjà des méthodes biomoléculaires établies permettant d'étudier, par exemple, la diversité de bactéries fixatrices de N_2 ou nitrifiantes dans le sol. A cet effet, des gènes dits fonctionnels, codant pour une enzyme déterminée, sont multipliés, à l'aide d'amorces, à partir de l'ensemble du matériel génétique extrait du sol pour être ensuite séquencés. La comparaison avec des bases de données, comme celle du Centre national pour les informations biotechnologiques (NCBI) aux Etats-Unis, permet de déterminer dans quels micro-organismes ces gènes fonctionnels sont présents. Concernant le cycle du phosphore, l'intérêt porte avant tout sur la phosphatase acide et trois différentes phosphatases alcalines (voir graphique). Jusqu'à présent, il n'y avait que des amorces très provisoires pour la phosphatase alcaline PhoD. Notre travail est parvenu à améliorer sensiblement la qualité des amorces de PhoD et de mettre également au point, pour la première fois, des amorces pour la phosphatase alcaline PhoX et la phosphatase acide acpA.

A l'aide de ces amorces, nous avons recherché les organismes souvent porteurs de gènes pour la phosphatase alcaline et acide dans le sol des herbages de Regensdorf/Watt. Les résultats provisoires de la phosphatase alcaline PhoD révèlent que ces gènes sont surtout présents dans les actinobactéries et les rhizobiums. Ces groupes microbiens sont aussi connus pour la décomposition du carbone et la fixation de N2. Nous avons pu également montrer que le pH du sol était un facteur de sélection pour des micro-organismes spécifiques et que la fertilisation au phosphore avait un impact négatif sur la diversité de ces micro-organismes. Nous poursuivons actuellement ces analyses pour les autres gènes indiqués et pour une vaste sélection de sols cultivés, prairiaux et forestiers, aussi bien en Suisse qu'en Australie. Nous espérons obtenir un tableau plus complet des principaux acteurs de la minéralisation du phosphore organique dans le sol.

Exploiter les capacités des micro-organismes

Sous nos latitudes, les sols présentant un manque notable de phosphore ne représentent qu'une fraction de l'ensemble des sols. Dans les régions tropicales, aux sols fortement érodés, la situation est tout autre. Pourtant, même dans ce cas, les micro-organismes peuvent mobiliser suffisamment de phosphore quand leur croissance est stimulée par des apports en carbone et en azote (Ehlers et al. 2010). Sur le terrain, il s'agit donc de promouvoir la substance organique du sol, pour pouvoir exploiter l'aptitude des micro-organismes à mobiliser le phosphore. A condition que les mécanismes de mobilisation microbienne, souvent spécifiques du sol, soient connus.

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot



Dynamique du phosphore dans le sol. L'intérêt est focalisé sur les processus microbiens dans la conversion du phosphore organiquement fixé. Photo Beat Ernst, Bâle. Source: E.K. Bünemann und S.A. Ragot

Else K. Bünemann travaille au sein du groupe Nutrition des plantes à l'EPF Zurich. Elle explore depuis 15 ans les processus microbiens dans les cycles de nutriments dans le sol. Contact: else.buenemann@usys.ethz.ch
Dans le cadre de sa thèse, **Sabine A. Ragot** s'intéresse, au sein du groupe Nutrition des plantes de l'EPF Zurich, à la mise au point de méthodes biomoléculaires permettant d'identifier les principaux acteurs de la minéralisation du phosphore organique par les bactéries du sol.
Contact: else.buenemann@usys.ethz.ch

«L'exploration de la biodiversité du sol est ma contribution à une agriculture durable»

Comment les scientifiques étudient-ils l'importance de la biodiversité du sol? Quels résultats obtiennent-ils? Entretien avec Marcel van der Heijden, responsable du groupe de recherche plantes-sol-interaction à l'institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich et professeur à l'Université de Zurich et d'Utrecht.

La pelouse située à l'entrée de la station de recherche Agroscope de Zurich est très colorée. Le personnel et les visiteurs savourent cette prairie riche en espèces. À la pause de 10 h, les chercheurs y boivent leur café, discutent et observent la nature. Le regard de Marcel van der Heijden ne s'arrête toutefois pas aux papillons et aux fleurs, il descend dans les profondeurs du sol. Depuis près de 20 ans, le chercheur étudie les mycorhizes, résultats de la symbiose entre champignons et racines dans le sol. À l'aide de leurs fins filaments, les champignons atteignent les minuscules pores du sol, y trouvent des nutriments inaccessibles aux racines des végétaux et les leur transmettent en partie. Les champignons se font payer en sucre, qu'ils ne peuvent produire eux-mêmes.

Marcel van der Heijden. Photo Gregor Klaus

Marcel van der Heijden: Cette prairie n'aurait pas du tout le même aspect sans les champignons mycorhiziens. Il n'y aurait pratiquement aucune herbacée en fleurs. Les graminées, en revanche, continueraient de pousser. Grâce à leurs fines racines, elles ne sont pas forcément tributaires des mycorhizes; elles descendent très loin dans le sol sans aucune aide. Par contre, la plupart des herbacées n'ont qu'une croissance chétive en l'absence de mycorhizes et elles ne peuvent rivaliser avec les graminées.

HOTSPOT: Combien d'espèces de champignons mycorhiziens vivent dans le sol de cette prairie?
van der Heijden: Dans les herbages, les mycorhizes arbusculaires prédominent; ils pénètrent dans les cellules corticales des racines de végétaux à l'aide de leurs cellules filamenteuses. 80% de toutes les plantes terrestres vivent en communauté avec ces champignons. À vrai dire, les mycorhizes arbusculaires ont une faible spécificité d'hôte. Au contraire des autres types de mycorhizes, leur diversité spécifique n'est pas très élevée. J'estime qu'une quinzaine d'espèces sont présentes dans cette prairie. Une seule espèce peut coexister avec de nombreuses espèces végétales et constituer ainsi un gigantesque réseau souterrain de racines interconnectées.

HOTSPOT: Comment peut-on déterminer la diversité spécifique des mycorhizes du sol?
van der Heijden: Les méthodes ont fortement évolué au cours des dernières années. Autrefois, il fallait isoler les spores de champignons. Aujourd'hui, nous déterminons l'ADN dans le sol et comparons les séquences. Le problème réside dans la difficulté de délimiter l'espèce chez de nombreux champignons, bactéries et autres micro-organismes. Si le matériel génétique est identique à au moins 97%, la plupart des chercheurs parlent aujourd'hui d'une même «espèce». Si c'est moins, ils distingueront deux espèces différentes. En dépit des progrès méthodologiques, le sol reste une «black box». Des questions fondamentales n'ont pas été élucidées. Mon objectif est d'apporter un peu de lumière dans l'obscurité.

Marcel van der Heijden y travaille déjà depuis sa thèse de doctorat, qu'il avait préparé dans le cadre du projet intégré Biodiversité du Fonds national entre 1996 et 1999. À l'époque, il avait créé, avec ses collègues, de petites pelouses calcaires maigres dans une serre, et il injectait dans le sol stérilisé une grande variété d'espèces de mycorhizes. Les effets sur la biodiversité en surface étaient extrêmes. Dès qu'une simple espèce de mycorhize était présente, la diversité spécifique des herbacées augmentait rapidement. Marcel van der Heijden et ses collègues avaient ainsi montré que la vie du sol revêtait une importance cruciale pour la biodiversité surfacique. Ils accédèrent sans tarder à une publication prestigieuse: les résultats de leur recherche furent publiés dans la célèbre revue NATURE (van der Heijden et al. 1998). Cette publication est encore toujours citée plus de 100 fois par an dans d'autres articles spécialisés. Qu'est-ce qui avait contribué à ce succès?

van der Heijden: J'étais au bon moment au bon endroit à la fin des années 1990. La recherche biodiversitaire s'était nettement intensifiée après le sommet de Rio. C'était très en vogue. Avec un projet en biodiversité, il

était possible d'accomplir un travail de pionnier. Nous étions une équipe motivée, et le système de modélisation – une pelouse calcaire maigre riche en espèces – était un excellent choix: nous n'aurions sans doute pas obtenu d'aussi beaux résultats avec un autre milieu.

HOTSPOT: Vos études ont permis de promouvoir en grande partie la compréhension de la biodiversité du sol. La vogue a-t-elle persisté?
van der Heijden: L'exploration de la biodiversité du sol reste un des grands défis en biologie. Nous profitons du fait que les méthodes de détermination des espèces dans le sous-sol sont simples et abordables. De plus, la politique et la société accordent à ce thème une importance croissante.

Marcel van der Heijden a aujourd'hui étendu ses activités de recherche et ses expériences à d'autres groupes d'organismes. Dans la serre d'Agroscope Reckenholz, il présente la structure d'une expérience achevée récemment. Une enseigne sur la porte précise: «Ne pas arroser, svp !». Derrière la porte se tiennent deux rangées de cylindres de verre hauts de 50 cm. Les vitres sont embuées, des tuyaux et des vannes pendent un peu partout.

van der Heijden: Nous avons rempli les cylindres d'un substrat stérile et créé un écosystème artificiel. Les substrats ont été complétés avec des communautés pédologiques de richesse spécifique variée et dix espèces végétales ont été plantées dans chaque cylindre. Les cylindres de verre sont des systèmes totalement fermés. Afin de ne pas être pollués par des organismes de l'extérieur, l'eau et l'air parvenant dans le système sont filtrés. Les résultats de cette expérience, publiée l'an dernier dans la célèbre revue PNAS de l'Académie américaine des sciences, ne sont pas passés inaperçus (Wagg et al. 2014). De nombreux groupes de chercheurs veulent reproduire l'expérience.

HOTSPOT: Qu'est-ce qui a suscité cet intérêt?
van der Heijden: Plus la diversité des organismes du sol est élevée, plus le système pédologique fonctionne bien. Aussi bien en surface que dans le sous-sol. Toutes les fonctions du sol étaient concernées. Une riche biodiversité dans le sol signifie une plus grande biodiversité végétale en surface, un plus grand stockage de carbone dans le sol, une meilleure décomposition du matériel végétal mort et une plus grande disponibilité de nutriments. Les organismes vivant dans le sol jouent un rôle crucial dans les milieux agricoles. Même les émissions de protoxyde d'azote du sol étaient réduites de plus d'un tiers dans les systèmes riches en espèces. Le protoxyde d'azote est un facteur important dans le débat sur le climat, car c'est un gaz à effet de serre très puissant, qui contribue au réchauffement climatique. On soupçonnait depuis longtemps que la biodiversité du sol jouait un rôle important pour les écosystèmes, mais cela n'avait pas encore été confirmé sur un plan expérimental.

Le groupe de recherche de Marcel van der Heijden mène actuellement une expérience à l'air libre. Plus précisément sur une toiture plate. Des récipients hauts de 80 cm et remplis de terre ont été installés dans le toit. L'étage inférieur n'est pas un logement, mais la centrale de réception de l'eau infiltrée. Partout, les tuyaux et les vannes, déjà familiers. L'eau infiltrée est captée et sa composition est analysée. Du blé pousse dans des pots larges de 60 cm. Comme dans une serre, la biodiversité du sol varie dans ces mini-champs.

van der Heijden: Les résultats provisoires de cette expérience nous ont particulièrement surpris. Dans les pots les plus riches en espèces, 70 kg d'azote de moins – par extrapolation sur 1 ha – ont été lixiviés par rapport aux pots ne présentant aucune vie pédologique. Autrement dit, la préservation d'une vie riche dans le sol contribue notablement à la protection des eaux. Faute de vie pédologique, les ruisseaux, les rivières, les lacs et les océans seraient bien davantage exposés à la surfertilisation. Nous avons constaté en même temps que les rendements étaient supérieurs à ceux de sols appauvris en micro-organismes.

HOTSPOT: Quels sont les facteurs préjudiciables aux organismes du sol dans les terres agricoles?
van der Heijden: L'absence de rotation de culture, l'emploi de certains pesticides, un labour trop fréquent et l'érosion du sol sont des facteurs préjudiciables. En Europe, il y a de plus en plus de paysans qui disent: mon sol ne vit plus correctement!

HOTSPOT: Dans quel état sont les champs en Suisse?
van der Heijden: Grâce à l'assolement, à une agriculture microstructurée et aux nombreuses exploitations qui associent culture et élevage, leur état est globalement meilleur que dans d'autres pays européens. L'influence de la politique agricole sur la vie du sol s'est avérée positive, surtout grâce aux rotations obligatoires. Ici, la différence entre culture biologique et culture conventionnelle n'est pas aussi grande au niveau de la vie du sol qu'aux Pays-Bas, par exemple (> pp. 8s et 16s).

HOTSPOT: Comment la situation peut-elle encore s'améliorer?
van der Heijden: Ma recherche a principalement pour objectif d'apporter une contribution à une agriculture durable. Le renforcement ciblé des écosystèmes du sol en fait partie. Nous avons montré jusque-là à quel point les organismes vivant dans le sol étaient importants. Nous allons maintenant plus loin et nous nous demandons: comment fonctionnent les écosystèmes du sol dans le détail? Comment mettre la diversité des micro-organismes utiles du sol au service de l'agriculture? Et comment la promouvoir par des mesures agricoles telles que la rotation des cultures, les cultures intermédiaires, la réduction du labour et la culture biologique? Dans le cadre du programme national de recherche PNR 68 «Utilisation durable de la ressource sol», nous augmentons actuellement de manière ciblée la quantité de champignons mycorhiziens sur huit champs différents répartis dans toute la Suisse. Nous voulons savoir si les rendements sont influencés par cette mesure. Je crois que la conscience de l'importance des micro-organismes du sol et la nécessité d'en prendre soin progresseront sensiblement à l'avenir. L'emploi d'énergie devient en effet plus cher et les engrais phosphorés se raréfient. En revanche, la biodiversité du sol aide les plantes gratuitement à absorber efficacement des nutriments comme le phosphore (> pp. 12s) et l'azote présents dans le sol.

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot

Interview: Gregor Klaus, rédaction HOTSPOT

Biodiversité pédologique: vastes études enfin réalisables

Les nouvelles technologies de séquençage permettent pour la première fois de recenser des communautés microbiennes complexes dans le sol. Les variations de la diversité spécifique ainsi constatées révèlent clairement l'influence que les activités humaines peuvent exercer sur les micro-organismes du sol. *Beat Frey, Franco Widmer et Martin Hartmann*

Photo: Expérience de passage d'engins sylvicoles lourds. En cas d'humidité notamment, le sol de la forêt peut être fortement compacté. Photo Roger Köchli, WSL

Les organismes du sol réagissent aux activités humaines par des variations de leur diversité et sont donc considérés comme d'excellents systèmes d'alerte précoce en cas de perturbations. Les menaces sont multiples pour les sols. Les principaux facteurs de risque sont les changements physiques tels que l'érosion, la perte d'humus et le compactage, ainsi que des modifications chimiques par des apports externes de polluants, de produits phytosanitaires et de fertilisants (cf. encadré).

La diversité microbienne des sols est extrêmement complexe et dépasse de loin la diversité animale et végétale. Les bactéries constituent le groupe le plus fréquent des micro-organismes pédologiques. On estime qu'entre 2000 et 18 000 espèces bactériennes et jusqu'à 10 milliards de cellules bactériennes vivent dans un gramme de terre. En raison de cette complexité, les études des micro-organismes du sol n'ont été longtemps possibles que dans une mesure très limitée, car seule une infime partie de ces organismes sont cultivables en laboratoire.

Au cours des dernières années, des progrès gigantesques ont été accomplis dans le domaine du séquençage de l'ADN, autrement dit le décodage du matériel génétique. Le développement des technologies de «next generation sequencing» (NGS) permettent pour la première fois de recenser l'extrême diversité des communautés microbiennes. A partir de l'ADN extrait du sol et de son séquençage, nous pouvons aujourd'hui mettre clairement en évidence les effets de l'activité humaine sur la composition des biocénoses microbiennes du sol (Hartmann et al. 2014, Hartmann et al. 2015). Le présent article a pour but de présenter cette approche, à la lumière de deux exemples, telle qu'elle est utilisée dans le groupe de recherche Processus rhizosphériques de l'Institut fédéral de recherche WSL et dans le groupe de recherche Ecologie moléculaire d'Agroscope.

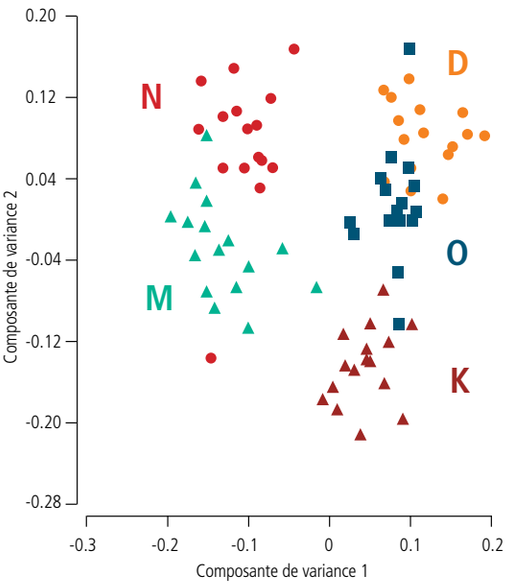
Compactage du sol en forêt

L'exploitation efficiente de la forêt impose le recours à des machines. Mais, depuis le début du nouveau millénaire, des engins forestiers de plus en plus lourds sont utilisés dans les forêts suisses, ce qui accroît le risque de dégradation du sol, et notamment de compactage. Les sols compactés souffrent d'une diminution du volume et des interconnexions des espaces poreux. Nous nous sommes demandé dans quelle mesure les sols forestiers et les organismes qui y vivent évoluaient sous la contrainte mécanique. Une question essentielle portait sur la charge limite au-delà de laquelle un sol est endommagé.

Pour notre étude, nous avons effectué une expérience à Ermatingen (TG) et à Heiteren (BE) (voir photo). La création ciblée d'ornières dans un gradient croissant d'humidité du sol a permis de provoquer une déformation grandissante de la structure pédologique. Juste avant les expériences et durant les quatre années qui suivirent, des échantillons de sol ont été prélevés à intervalles réguliers dans les ornières et à côté d'elles (Frey et al. 2011, Hartmann et al. 2014). L'ADN des échantillons fut ensuite ex-

trait en laboratoire et analysé à l'aide de méthodes modernes.
Au total, il a été possible, sur la base des séquences génétiques, de distinguer environ 7000 espèces de bactéries et 2500 espèces fongiques sur les deux parcelles. L'étude a démontré que les conséquences de la sollicitation du sol étaient considérables pour les champignons et les bactéries qui y vivaient ainsi que pour le rajeunissement des arbres. Les contraintes mécaniques favorisent les espèces bactériennes spécialisées dans des conditions pauvres en oxygène, ce qui provoque la formation de méthane et de protoxyde d'azote, néfaste pour le climat. En cas de très fort compactage, non seulement les bactéries aérobies, qui ont besoin d'oxygène pour survivre, disparaissent, mais aussi les champignons mycorhiziens vivant en symbiose avec les racines des arbres, et si importants pour leur croissance.
Au bout de quatre ans, certaines espèces de bactéries s'étaient redressées, mais d'autres bactéries ainsi que la plupart des champignons continuent de souffrir du compactage. Il est à supposer qu'il faudra plusieurs décennies pour que les sols se reconstituent intégralement après de fortes charges (> p. 28). Ces nouveaux acquis peuvent aider à établir des directives pour le travail sylvicole.

Systèmes culturaux
Outre les contraintes mécaniques liées au travail du sol, les apports de fertilisants et de produits phytosanitaires avant tout sont considérés dans le monde comme les principaux facteurs de risque pour les écosystèmes agricoles. Il est capital de veiller à un emploi modéré et ciblé des engrais et des pesticides, pour assurer une exploitation durable des surfaces agricoles. Nul ne sait encore toutefois comment ces facteurs culturaux influent sur les micro-organismes du sol et sur leurs fonctions (cycles alimentaires, contrôle des ravageurs, p. ex.).
L'essai DOK compare depuis 1978 divers modes de culture conventionnelle et biologique (> pp. 8s; Widmer et al. 2006). À l'aide des nouvelles technologies NGS à haute résolution, il est possible de montrer depuis peu que chaque système cultural héberge en principe des communautés microbiennes différentes (voir graphique; Hartmann et al. 2015). Les cultures ayant reçu des engrais de ferme pendant plusieurs décennies montraient toutefois des communautés microbiennes plus similaires entre elles que celles de cultures exclusivement soumises à une fertilisation minérale. Le recours modéré aux produits phytosanitaires a exercé, dans cette expérience, une influence relativement modeste. Les parcelles fertilisées aux engrais de ferme présentaient des micro-organismes qui jouent notamment un rôle dans la décomposition des composants organiques fournissant ainsi des nutriments au sol et assurant sa fertilité.
Sur le plan international, l'agriculture suisse se distingue par une spécialisation moindre et des exploitations mixtes, combinant élevage et cultures, et misant par conséquent sur des engrais de ferme tels que purin et fumier. Cela semble propice à la diversité des organismes du sol, car les parcelles fertilisées à l'aide d'engrais minéraux présentent moins d'espèces. Les cultures ne bénéficiant que d'une fertilisation minérale sont encore la norme dans de nombreux pays. Si toutefois les sols en culture biologique sont choisis comme critère d'une pédomicrobiologie variée et efficace, les surfaces exploitées à l'aide d'engrais de ferme conformément aux prestations écologiques requises (PER) seront très proches de cette norme malgré la fumure minérale complémentaire et l'apport modéré de pesticides.



Graphique: Des systèmes culturaux différents favorisent des communautés microbiennes différentes. Chaque point représente la communauté microbienne d'un échantillon de sol; les points proches les uns des autres présentent des communautés plus similaires. Les sols des cinq systèmes culturaux (> p. 8) hébergent des communautés microbiennes différentes.
D: biodynamique, O: bio-organique,
K: conventionnelle PER, M: conventionnelle minérale,
N: sans fertilisation
Source: Hartmann et al. 2015

Les nouvelles technologies: une chance
Les nouvelles méthodes de génétique moléculaire offrent la possibilité de mesurer l'efficacité des mesures d'exploitation et de documenter, par exemple, la promotion des micro-organismes utiles. La technologie NGS en particulier combine un volume abondant de mesures avec une résolution analytique incomparable de biocénoses extrêmement complexes. Ces qualités sont des prérequis essentiels pour pouvoir inventorier et surveiller un écosystème biologiquement complexe comme le sol sur une vaste échelle spatio-temporelle. Les programmes de monitoring comme l'Observatoire national du sol (NABO) (> pp. 18ss) ou le Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) peuvent désormais utiliser cette technologie afin d'étudier pour la première fois non seulement les propriétés physiques et chimiques d'un sol, mais aussi d'obtenir une compréhension plus profonde de la biodiversité pédologique.

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot

Organismes du sol menacés
La Liste rouge des champignons supérieurs menacés en Suisse (2007) souligne la mise en danger des champignons mycorhiziens dans les forêts du Plateau à la suite d'apports de nutriments atmosphériques, et en particulier d'azote. Dans les années 1980, un recul radical de certaines espèces de champignons mycorhiziens a été constaté aux Pays-Bas dans des zones fortement polluées par l'azote. Une expérience de fertilisation azotée menée dans les forêts des Préalpes fribourgeoises a abouti au même résultat: en cas d'apport élevé d'azote, les champignons mycorhiziens produisaient immédiatement beaucoup moins de fructifications; au bout de quelques années, ils disparaissaient complètement. Une tendance de longue durée dans la réserve de champignons de La Chanéaz (FR) a révélé que la part des champignons mycorhiziens, mesurée d'après les fructifications, avait diminué de près de 20% entre 1975 et 2006. Il n'est pas étonnant que la Liste rouge des espèces menacées contienne proportionnellement plus de champignons mycorhiziens que d'espèces décomposant la biomasse (saprophytes). Beatrice Senn et Simon Egli

Beat Frey travaille à l'Institut fédéral de recherche WSL. Il s'intéresse depuis plus de 25 ans à la pédomicrobiologie et dirige le groupe «processus rhizosphériques». Il enseigne depuis 2013 la pédobiologie à l'EPF de Zurich.
Franco Widmer dirige le groupe de recherche «écologie moléculaire» à l'institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich. Biochimiste et biologiste cellulaire, il s'est spécialisé dans la caractérisation moléculaire de communautés microbiennes dans l'environnement.
Martin Hartmann travaille à l'Institut fédéral de recherche WSL. Il s'est spécialisé dans l'écologie microbienne et l'étude du microbiome à l'aide des technologies modernes de génétique moléculaire.
Beatrice Senn-Irlet travaille à l'Institut fédéral de recherche WSL et s'intéresse à la diversité des champignons. Elle dirige le Centre national de données et d'informations sur le champignon, qui élabore les bases de la protection des espèces fongiques.
Simon Egli travaille à l'Institut fédéral de recherche WSL. Il dirige depuis plus de 30 ans le groupe de recherche «mycorhizes» et s'intéresse en particulier à l'importance fonctionnelle des champignons sylvicoles dans des conditions environnementales changeantes.
Contact: beat.frey@wsl.ch

Qu'en est-il des sols en Suisse? Études biologiques de l'Observatoire national des sols (NABO)

De nombreuses fonctions du sol sont tributaires des organismes qui y vivent. Pour obtenir en temps opportun des indications sur la dégradation du système pédologique, l'Observatoire national des sols (NABO) a enregistré à intervalles réguliers, depuis 2012, des paramètres pédobiologiques dans le cadre de son programme de mesures. *Anna-Sofia Hug, Andreas Gubler, Franco Widmer, Beat Frey, Hans-Rudolf Oberholzer, Raquel Campos-Herrera et Reto G. Meuli*

Le sol constitue la base de presque tous les milieux et fournit d'importants services écosystémiques. En font notamment partie la fixation biologique de l'azote, la décomposition de la matière organique, la production de denrées alimentaires et le filtrage de l'eau. La plupart de ces fonctions sont directement liées aux organismes du sol. La salubrité de l'eau potable et la qualité des aliments dépendent donc directement du bon état des sols et des organismes qui y vivent. Certaines questions s'imposent par conséquent: comment se portent les sols en Suisse? Leur fertilité est-elle garantie à long terme?

Depuis près de 30 ans, l'Observatoire national des sols (NABO) s'efforce de fournir des réponses à ses questions. Le NABO surveille la sollicitation des sols par les polluants organiques et anorganiques sur plus de 100 sites répartis sur son réseau national de référence (> carte p. 20). Le réseau de mesures est géré conjointement par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG); il s'appuie sur la loi sur la protection de l'environnement (LPE, 1983) et l'ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol, 1998). L'objectif central de l'OSol est la conservation à long terme de la fertilité du sol. Celle-ci peut être toutefois non seulement réduite par des atteintes chimiques ou physiques, mais aussi influencée dans une large mesure par les organismes vivant dans le sol. À cet égard, en dehors de leur nombre, la diversité et les fonctions remplies par ces organismes jouent un rôle essentiel.

Paramètres pédobiologiques au NABO

Les organismes du sol sont très sensibles aux modifications de leur environnement et peuvent fournir des indices précoces d'une évolution indésirable. Pour le NABO, il est donc essentiel d'intégrer des analyses pédobiologiques dans son programme de mesures. Sur le plan légal, la mission du NABO est précisée à l'art. 2a de l'OSol, à savoir le diagnostic de biocénoses typiques de leur station. Par ailleurs, la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS) requiert que soit assurée la surveillance de l'évolution de la biodiversité écosystémique, spécifique et génétique d'ici 2020 (objectif stratégique 10, OFEV 2012). Mais quels organismes trouve-t-on dans un sol? Le lombric, représentant sans doute le plus connu de la macrofaune du sol, se distingue par sa taille, et il est déjà relativement bien étudié (> p. 28). Mais il existe aussi beaucoup d'autres formes de vie dans le sol (> pp. 5ss et 14s). L'univers des micro-organismes du sol est jusqu'à présent encore très mystérieux. En guise de première étape de son exploration, le NABO a commencé, au printemps 2012, en collaboration avec Agroscope et l'Institut fédéral de recherche WSL, à mesurer certains paramètres pédobiologiques (respiration basale, quantité d'ADN et biomasse microbienne, déterminée par fumigation-extraction et respiration induite du substrat) au moyen d'échantillons composites de surfaces provenant de 30 sites sélectionnés (> carte p. 20 et photos p. 21). L'interprétation de ces mesures s'est aussi fondée sur d'importants paramètres parallèles tels que le poids spécifique de la terre fine, le pH et la teneur en carbone et en azote. Les premiers résultats révèlent que les sites cultivés tendaient à présenter des valeurs partout inférieures à celles des surfaces herbagères et sylvicoles. Par ailleurs, les diverses mesures de biomasse microbienne indiquaient des corrélations linéaires significatives soulignant la bonne qualité des mesures.

Au printemps 2015, les sites ont été sondés pour la quatrième fois. Cette série temporelle de mesures pédobiologiques sur des sites d'observation durable du sol constitue une étape importante vers l'accroissement du volume d'informations relatives aux valeurs localement typiques de paramètres microbiologiques et biomoléculaires. Les valeurs typiques de la station sont indispensables pour pouvoir véritablement classer dans le temps les modifications observées. Les valeurs mesurées sont-elles dans la normalité ou y a-t-il une bonne raison de s'inquiéter? Les valeurs comparatives concernant l'application et l'interprétation des paramètres pédobiologiques et fournies par le groupe de travail «Biologie du sol – application» (BSA) constituent une aide précieuse à cet égard (BSA 2009). De plus, les métadonnées enregistrées depuis plusieurs années (mode d'exploitation, rotation des cultures, p. ex.) sur les sites du réseau d'observation du NABO permettent une appréciation solide des mesures pédobiologiques et offrent une importante base d'interprétation.

Sol brun acide sur l'alpe Vorder Eggli à Saanen (BE). Si nous pouvions plonger dans le sol comme dans un lac, nous découvririons un monde fascinant, une combinaison de diverses couleurs et de formes de vie spécifiques. Mais le sol est difficile d'accès, bien qu'il soit si proche: nous vivons à sa surface, souvent dissimulée par une couverture végétale ou une couche de feuilles. Ainsi, le sol ne joue aucun rôle dont nous aurions conscience, et son importance pour la vie sur terre est totalement sous-estimée. Photo © Agroscope (Gabriela Brändle, Urs Zihlmann), LANAT (Andreas Chervet)

Analyses quantitatives complémentaires

Une fois connu le volume de biomasse microbienne présente sur les sites du NABO, il est intéressant de se demander quels organismes s'y trouvent. C'est pourquoi, dans le cadre du programme de mesure pédobiologique, les méthodes classiques de détermination microbiologique sont complétées par l'analyse génétique moléculaire, qui connaît un rapide développement. Un projet financé par l'OFEV a pour objectif d'évaluer la composition des communautés fongiques et bactériennes des 30 sites du NABO grâce à l'analyse des séquences d'ADN (à l'aide de technologies NGS, p. ex.; > pp. 16s). Ces méthodes, basées sur le décodage de la substance génétique, offrent de nouvelles possibilités dans l'exploration de la diversité des organismes du sol et de leurs fonctions, de même qu'un grand potentiel pour l'observation prolongée du sol. Concernant les services écosystémiques mentionnés au début, il est possible de formuler des énoncés au sujet de bactéries importantes pour le cycle de l'azote, par exemple. Il est aussi possible de faire une recherche ciblée de champignons et de bactéries présents dans des conditions aérobies et anaréobies, et susceptibles de renseigner sur le compactage du sol (Hartmann et al. 2013). L'essai DOK (> pp. 8s) a montré que certains modes d'exploitation influaient sur la composition des communautés microbiennes en fonction des types d'engrais utilisés (> pp. 16s). Une étroite corrélation a également été constatée entre la diversité et la composition des champignons mycorhiziens, les propriétés du sol et l'intensité de l'exploitation. Les modifications de la composition des champignons mycorhiziens peuvent renseigner sur l'évolution de la qualité du sol (Oehl et al. 2010).

Au printemps 2014, pour la première fois, deux échantillons composites supplémentaires furent prélevés sur chacun des 30 sites du NABO en vue d'effectuer des analyses d'organismes du sol plus grands. Dans le cadre du projet du PNR 68 «utilisation de nématodes dans la lutte contre les insectes nuisibles du sol», il a ainsi été possible de déterminer des biocénoses de nématodes à l'aide de méthodes de génétique moléculaire sur les 30 sites du NABO. L'étude a pour objet de déterminer les facteurs biotiques et abiotiques influant sur la présence de nématodes dans les sols suisses. Les premiers résultats montrent que cette utilisation influence à la fois la quantité et la composition de ce groupe d'organismes.

Les mesures répétées du NABO permettent, d'une part, de valider les résultats et, d'autre part, de mieux délimiter les biocénoses typiques de la station. À cet égard, l'analyse biomoléculaire utilisée pour l'accomplissement de ce mandat confié par l'OSol et la Stratégie Biodiversité Suisse constitue un instrument très important.

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot

Réseau de mesures du NABO. Depuis 2012, des études pédobiologiques sont effectuées sur 30 sites (représentés sous forme de carrés) (NABObio). © NABO 2015, © swisstopo 2015

● Réseau de référence NABO
◆ NABObio (terres cultivées)
◆ NABObio (surfaces herbagères)
◆ NABObio (forêt)

Coopération MBD – NABO

Un relevé pédologique représentatif de la portion du territoire suisse couverte de végétation a longtemps fait défaut. Un projet conjoint du NABO et du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) comble cette lacune. Tandis que le NABO bénéficie d'un vaste échantillonnage quadrillé, le MBD profite en contrepartie d'informations sur la qualité du sol et sa constitution sur chacun des sites.

Le réseau de référence du NABO ainsi complété représente une extension indispensable pour effectuer des évaluations à l'échelle nationale. L'échantillonnage conjoint de divers compartiments de l'environnement, dont les résultats offrent une plus-value réciproque concernant leur interprétation, combine un bénéfice synergétique élevé et un surcoût relativement modeste.

En l'espace de cinq ans, près de 1200 stations seront ainsi échantillonnées dans le cadre de l'indicateur Z9 du MBD «diversité des espèces dans les habitats» sur une grille régulière de 436 km de largeur de maille. Les prélèvements effectués jusqu'à présent sur les plantes vasculaires et les mousses seront complétés par un échantillonnage du sol. Sur chaque site, quatre échantillons d'un diamètre de 5 cm et d'une profondeur de 0 à 20 cm seront extraits, puis séchés dans le laboratoire de l'Observatoire national des sols (NABO), tamisés, recensés dans une base de données et archivés. Ainsi, pour la première fois, un ensemble d'échantillons de sol prélevés de manière cohérente à l'échelle nationale sera disponible. L'inventaire simultané de la diversité spécifique des végétaux permettra de mettre en rapport les communautés végétales et les principaux paramètres pédologiques, tels que pH, teneur en carbone et densité apparente. En raison de l'étendue de la population statistique et de sa représentativité surfacique, cet ensemble présente un énorme potentiel pour des évaluations régionales et nationales et peut aussi servir à divers systèmes d'indicateurs. De plus, ce projet comble une grande lacune du MBD. Les échantillons de terre fine archivés et le matériau squelette inventorié séparément (graviers et pierres) seront en outre disponibles pour élucider de nouveaux problèmes. **Reto Giulio Meuli**

En haut: échantillonnage sur une surface NABObio (10×10 m).
En bas: sur chaque site NABObio, un instrument de forage à gouge (diamètre 2,5 cm) permet de prélever trois à quatre échantillons composites de surface à raison de 25 prise de sol (0-20 cm). Photos Anna-Sofia Hug

Programme de recherche Agroscope «Biodiversité microbienne»

Les micro-organismes, omniprésents dans la biosphère, remplissent de nombreuses fonctions importantes. Comme la plupart ne sont pas directement perceptibles, seul un petit nombre d'entre eux ont été décrits jusqu'à présent; ils sont encore moins nombreux à être utilisés de manière ciblée dans l'agriculture et la filière alimentaire. Il a fallu l'apparition récente de nouvelles technologies pour pouvoir décoder la substance génétique (séquençage ADN) et réussir à recenser et analyser l'incroyable diversité de cet univers. Agroscope a identifié cette lacune et le potentiel gigantesque des micro-organismes, en lançant en 2014 le programme de recherche «Biodiversité microbienne», qui devrait s'y intéresser durant quatre ans. Il englobe quatre volets, dans lesquels des thèmes spécifiques seront traités. Trois d'entre eux se concentrent sur le sol, les plantes et les produits laitiers fermentés, dans lesquels l'ensemble de la communauté microbienne (le microbiome) sera étudiée. Le quatrième volet s'intéresse à la génomique microbienne, en rapide développement, ainsi qu'au traitement et à l'analyse des grandes quantités de données collectées (bioinformatique).

Agroscope a pour objectif une exploitation ciblée de la biodiversité microbienne dans l'optique d'une agriculture et d'une filière agroalimentaire durables, ainsi que d'une fourniture de produits agricoles combinant qualité et sécurité. Comme les micro-organismes peuvent aussi bien être l'ami que l'ennemi de l'homme, il s'agit également de créer les bonnes alliances.
Franco Widmer

Pour de plus amples informations:
www.agroscope.ch/mikrobielle-biodiversitaet

Anna-Sofia Hug a travaillé à l'Observatoire national des sols (NABO), à l'institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich. Géographe, elle dirige les études pédobiologiques dans le programme d'observation du NABO.
Andreas Gubler travaille à l'Observatoire national des sols (NABO), à l'institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich. Environnementaliste, il s'intéresse en particulier au dépouillement des données du monitoring.
Franco Widmer dirige le groupe de recherche «écologie moléculaire» à l'institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich. Biochimiste et biologiste cellulaire, il s'est spécialisé dans la caractérisation génétique moléculaire des communautés microbiennes dans l'environnement.
Beat Frey travaille à l'institut fédéral de recherche WSL. Il s'intéresse depuis plus de 25 ans à la pédomicrobiologie et dirige le groupe «processus rhizosphériques». Il enseigne depuis 2013 la pédobiologique à l'EPF de Zurich.
Hans-Rudolf Oberholzer travaille au sein du groupe «fertilité et protection du sol» à l'institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich; il est responsable de la pédomicrobiologie.
Raquel Campos-Herrera travaille actuellement comme post-doc à l'Université de Neuchâtel dans le cadre d'un projet du PNR 68, «Utilisation durable de la ressource sol» (sous la direction de Ted Turlings). Elle étudie depuis 14 ans les nématodes entomopathogènes et leur application dans la lutte biologique contre les ravageurs.
Reto G. Meuli est géographe, spécialisé dans la pédologie; il dirige depuis 2008 le groupe de recherche «Observatoire national des sols (NABO)» à l'institut Agroscope des sciences en durabilité agronomique (INH) de Zurich.
Contact: anna.hug@agroscope.admin.ch

Création de milieux maigres et promotion d'espèces menacées grâce au décapage du sol

Afin de préserver des populations viables à long terme d'espèces rares et menacées, le canton de Zurich doit satisfaire un réel besoin de restauration de sites maigres. Au contraire d'un amaigrissement résultant d'une exportation accrue de biomasse, le décapage des couches supérieures du sol donne rapidement de très bons résultats. Un projet de recherche entend évaluer l'importance du décapage du sol pour la biodiversité. *Pascale Weber*

Les sites maigres offrent un habitat à de multiples biocénoses. Bon nombre d'espèces végétales rares et donc aussi d'espèces animales rares ne sont présentes que sur des sites maigres en raison de leurs caractéristiques spécifiques; sur des sites plus riches, elles sont évincées par des espèces plus compétitives. Au XIXe et au XXe siècle, deux évolutions majeures entraînèrent la disparition d'une grande partie des milieux maigres dans le paysage aménagé par l'homme: l'intensification de l'agriculture et l'empêchement de la dynamique naturelle du sol.

L'intensification de l'agriculture et, partant, l'épandage à grande échelle de fertilisants engendrèrent une perte radicale de surfaces pauvres en nutriments, encore renforcée par l'accroissement des apports d'azote atmosphérique. La diminution des prairies maigres dans le canton de Zurich est révélatrice de la disparition des milieux pauvres en nutriments au cours des cent dernières années: depuis la fin du XIXe siècle, la superficie des prairies maigres est passée de 30 000 ha à 200 ha (rapport du canton de Zurich sur l'environnement 2008) (> p. 25), ce qui représente une réduction de plus de 99% (voir graphique).

Parallèlement à la diminution des milieux maigres, certains processus dynamiques entraînant fréquemment une altération des sols ont été de plus en plus muselés. La canalisation des cours d'eau et la consolidation des versants ont empêché la formation de surfaces brutes et pionnières. En matière de protection de la nature, l'encouragement et la facilitation des processus dynamiques figurent donc dans de nombreux écosystèmes comme un facteur déterminant (Bönsel und Matthes 2007). Cette seule mesure permet de sauvegarder à long terme les espèces et les biocénoses adaptées aux dérangements. Ainsi, par exemple, il est possible d'autoriser l'érosion d'une berge de cours d'eau ou des glissements de terrain pour autant que rien ne s'y oppose du point de vue de la sécurité. Les sites pionniers peuvent être créés de manière ciblée par une altération mécanique ou une restructuration du sol.

Les rares milieux maigres subsistant dans le canton de Zurich demeurent sous pression, soit parce que ces surfaces sont requises pour la construction de logements ou d'infrastructures soit parce qu'elles servent à la compensation de surfaces d'assolement accaparées sur d'autres sites. Finalement, les espaces ouverts maigres situés dans des zones à rendement marginal sont souvent abandonnés au profit d'un reboisement naturel.

Aujourd'hui, dans le canton de Zurich, plus des deux tiers de toutes les espèces végétales tributaires des milieux pauvres en nutriments sont menacées; et une cinquantaine d'espèces ont déjà disparu. Dans ce contexte, il est urgent de sauvegarder les milieux maigres subsistants et de restaurer ou recréer les milieux autrefois maigres.

Besoin de milieux maigres dans le canton de Zurich

Selon le rapport décennal relatif au programme de protection de la nature du canton de Zurich (service de protection de la nature 2006), la superficie des prairies maigres (au sens strict du terme) doit être étendue de moins de 200 ha à au moins 800 ha en l'espace de dix ans. Les mesures entreprises dans le cadre de la compensation écologique en agriculture vont certes dans la bonne direction, mais elles sont largement insuffisantes pour reconstituer des sites maigres présentant l'étendue et la qualité requises. En effet, une extensification de prairies précédemment fertilisées ne permet pas d'atteindre l'objectif sur une grande partie des sites. Les expériences d'amaigrissement de sol résultant d'une exportation de biomasse par suite de plusieurs fauches par an, n'aboutissent pratiquement à aucun effet d'extensification visible au bout de plusieurs décennies: biomasse et couvert végétal ne correspondent pas, loin s'en faut, aux valeurs d'une prairie maigre et pratiquement aucune espèce menacée n'y est présente.

Le décapage du sol comme mesure efficace

Des méthodes prometteuses et peu coûteuses sont donc recherchées pour pouvoir rétablir ou recréer en l'espace de quelques années des sites pauvres en nutriments. Les études scientifiques menées jusqu'à présent (Schütz et al. 2000, p. ex.) et le suivi des projets de décapage du sol destinés à la création de prairies maigres dans le canton de Zurich (service de protection de la nature 2005) montrent qu'une érosion du sol donne en principe des résultats positifs et fiables:

> La végétation recherchée des prairies maigres (humides et sèches) peut en général s'y établir en l'espace de quelques années.
> Les espèces végétales très rares et menacées peuvent y être favorisées en peu de temps. Dans certains cas, des espèces importantes, disparues à l'échelle régionale et appartenant au stock de semences de l'horizon pédologique dégagé, peuvent y réapparaître.
> La diversité spécifique de la flore et de la microfaune s'accroît fortement.
> La microfaune typique du site ainsi que des espèces rares et menacées recolonisent rapidement les nouveaux sites; elles sont donc indirectement encouragées par l'érosion du sol.
> Les surfaces sont peu productives et donc faciles d'entretien. Elles requièrent peu d'entretien à long terme, ce qui s'avère intéressant sur le plan économique et important sur le plan faunistique.

Comment la faune souterraine, les champignons et les micro-organismes du sol évoluent-ils après un décapage du sol? Les contrôles ont été peu fréquents voire inexistants jusque-là. Un projet de recherche est donc à l'étude, lequel entend combler cette lacune (voir encadré). De même, des comparaisons de surfaces amaigries et de surfaces voisines soumises au décapage du sol doivent être effectuées. Compte tenu des influences anthropogènes du sol (fertilisation, aménagement et empêchement de la dynamique du sol), les surfaces peu propices à la croissance et favorables à des communautés spécifiques variées ne peuvent sans doute être maintenues à long terme et étendues dans la mesure requise et en temps opportun que par l'application de diverses mesures et la conjugaison des efforts de toutes les parties prenantes. La décision de décaper le sol d'un site donné afin d'y créer un biotope précieux pour la protection de la

Diminution des prairies riches en espèces dans le canton de Zurich entre 1878 et 2006.

Source: Rapport sur l'environnement du canton de Zurich 2008

En haut: verdissement direct après décapage du sol sur l'Itzikerriet, à Grüningen (ZH). En bas: décapage des couches supérieures du sol sur le Pünt, à Grüningen (ZH). Photos Daniel Kreiner

nature requiert la prise en compte d'intérêts divers. Une étude préalable approfondie, une bonne information de toutes les personnes concernées, une exécution soignée ainsi qu'un entretien professionnel de la nouvelle surface sont indispensables.

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot

Pascale Weber est responsable suppléante du département Protection des espèces et des biotopes au Service de protection de la nature du canton de Zurich. Elle dirige notamment des projets théoriques et pratiques dans le domaine de la restauration des prairies maigres et de la biodiversité sylvicole. Jusqu'en 2013, elle faisait de la recherche à l'Institut fédéral de recherche WSL de Birmensdorf.
Contact: pascale.weber@bd.zh.ch

Foire aux questions de recherche

Le Forum Biodiversité Suisse entretient le dialogue et la coopération entre chercheurs et décideurs, dans l'administration, la politique, l'économie et la société. La «Foire aux questions de recherche» est un nouvel instrument visant à promouvoir l'échange entre recherche et pratique. Des questions de praticiens pourront être transmises aux institutions de recherche et les résultats de la recherche seront rendus accessibles aux hommes de terrain. A la suite d'une enquête auprès des services cantonaux de protection de la nature, une première série de questions a pu être soumise aux universités, à l'Institut fédéral de recherche WSL et à l'Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW). Une étude sur l'évolution de la biodiversité en fonction de la méthode d'amaigrissement et de décapage de la surface, menée à l'initiative du service de protection de la nature de Zurich, par exemple, a été transmise au WSL. Les résultats seront publiés sur la page Internet de la «Foire aux questions de recherche», qui se trouve sur le site de la CDPNP (Conférence des délégués à la protection de la nature et du paysage), et donc accessibles aux autres cantons.

L'intérêt des cantons ainsi que des partenaires de la recherche pour une meilleure interconnexion semble vif. Chez les étudiants en particulier, des travaux de bachelor et de master axés sur la pratique sont demandés, et un grand nombre de questions sont en suspens auprès des services compétents. Cependant, toutes les questions de praticiens ne se prêtent pas à la recherche scientifique, qui a défini des conditions claires en matière de faisabilité: la question doit être résolue à l'aide de méthodes scientifiques et utilisable en vue d'une publication dans une revue scientifique. En outre, la question doit s'inscrire dans la thématique d'un institut, et un financement minimum devrait être assuré. Depuis le lancement de la question jusqu'à la réponse, il faut compter au moins un an; les questions plus complexes requièrent souvent des projets de plusieurs années. En cas d'urgence, ce n'est donc pas à un institut universitaire mais à un bureau d'études que le mandat doit être confié. Maiann Suhner, Forum biodiversité suisse

Pour de plus amples informations:
www.kbnl.ch/de/6000.asp

La Confédération durant l'Année internationale des sols

En décembre 2013, l'Assemblée générale de l'ONU a déclaré 2015 Année internationale des sols. Cette campagne offre aussi en Suisse une excellente occasion de transmettre des informations relatives aux divers aspects du sol et à ses fonctions. Les manifestations se répartissent sur l'ensemble de l'année. Des fiches d'information mensuelles fournissent des renseignements surprenants et fascinants sur les organismes du sol et révèlent la beauté et l'utilité de ce monde caché. *Elena Havlicek*

Etant donné la multifonctionnalité des sols, plusieurs offices fédéraux, dont l'OFEV, et diverses institutions se sont associées pour définir les messages principaux et coordonner les activités, avec comme objectif global la sensibilisation sur l'importance et le rôle des sols pour la sécurité alimentaire et les fonctions écosystémiques.

Brochure tout public «Richesses du sol»
Publiée par la Confédération et le Programme national de recherche «Utilisation durable de la ressource sol» PNR 68, cette brochure présente les caractéristiques et le fonctionnement des sols. Publiée en 4 langues (français, italien, allemand et anglais), cette brochure a également pour objectif d'illustrer les fonctions des sols, avec des exemples pratiques, comme le système d'épuration des eaux de la ville de Bâle au travers des sols forestiers.

Commande/téléchargement:
www.bafu.admin.ch > Documentation > Publications de l'OFEV

Fiches d'information «La Vie dans les sols»
Publication tout au long de l'année (chaque 5 du mois) d'une fiche d'information sur un organisme particulier du sol. En plus des organismes souvent connus du public, comme le ver de terre, d'autres, moins populaires, y sont aussi présentés. Ont ainsi été présentés les amibes, prédateurs voraces et régulateurs des communautés de micro-organismes souterrains, ou encore les nématodes auxiliaires des cultures. Ces fiches s'adressent au grand public, avec le choix d'un style attractif et léger, mais toujours basées sur les dernières données scientifiques. En décembre, l'ensemble des fiches seront éditées dans une brochure et distribuées dans des lieux présentant un potentiel de public intéressé (musées d'histoire naturelle, centres d'information des parcs naturels, etc.)

Téléchargement:
www.sols2015.ch > Actuel > Fiches info

Concours de photographies
En collaboration avec des partenaires privés, un concours de photographies en lien avec le sol a été lancé début juin. Les photographes amateurs ou professionnels, jeunes ou moins jeunes, ont la possibilité de télécharger leurs images sur le site www.sols2015.ch. A la fin de chaque mois, un jury présélectionne les meilleures images et en décembre 2015 se tiendra une manifestation durant laquelle les gagnants seront désignés. Les 10 premiers recevront un prix (appareil-photo numérique offert par un sponsor).

Pour de plus amples informations:
> www.sols2015.ch: informations, matériel, liens, concours photo
> www.bafu.admin.ch > Thèmes > Sol > Dossier

Elena Havlicek, collaboratrice scientifique dans la section Sols de l'OFEV, est compétente en matière de protection des sols dans des projets soumis à l'EIE, de biologie et diversité des sols. Par ailleurs, elle enseigne à l'Institut de biologie de l'Université de Neuchâtel. Durant l'Année internationale des sols, elle coordonne les activités de la Confédération.
Contact: elena.havlicek@bafu.admin.ch

Concours de prairies: pleins feux sur la biodiversité

L'année 2015 se situe à la moitié de la décennie de la biodiversité. A cette occasion, IG Kulturlandschaft, l'Union paysanne suisse et le Forum Biodiversité s'associent avec d'autres organisations régionales pour mettre en lumière les prairies riches en espèces. Les plus belles prairies ont été recherchées dans cinq régions de Suisse, et leurs exploitants ont été distingués lors de remises de prix officielles. Les concours de prairies attirent, d'une part, l'attention sur l'importance des prairies riches en espèces et récompensent, d'autre part, les exploitants pour leurs prestations écologiques. *Jodok Guntern*

Les zones herbagères de Suisse ne présentent plus que des fragments résiduels de prairies riches en espèces. Cela concerne aussi bien les prairies et pâturages secs autrefois omniprésents (Lachat et al. 2010) que les prairies à fromental (prairies fleuries légèrement fertilisées), qui constituaient jusque dans les années 1950 les principales prairies fourragères de l'agriculture (Bosshard 2015). Ces îlots sont aujourd'hui entretenus par l'agriculture. Cependant, la population n'est pas souvent consciente des prestations fournies par les paysans au-delà du spectacle coloré offert par une prairie fleurie. La plupart des Suisses n'ont également qu'une connaissance insuffisante de la valeur d'existence et de la valeur d'usage des prairies riches en espèces.

À l'échelle planétaire, certains types de prairies présentant jusqu'à 90 espèces végétales par mètre carré figurent parmi les milieux les plus riches en espèces (Wilson et al. 2012). Les prairies maigres suisses hébergent parfois plus de 60 espèces végétales sur quelques mètres carrés. Une multitude d'autres organismes sont en interaction avec la diversité végétale. Ces processus constituent également la base des services écosystémiques rendus par les prairies riches en espèces et leur biodiversité, dont nous tirons bénéfice – fourrage riche en fibres, miel, pollinisation, ressources génétiques, protection contre l'érosion, assainissement des eaux, valeurs esthétiques et autres.

Ces concours de prairies ont pour objectif d'accroître la conscience de ces aspects et de la nécessité de promouvoir les prairies riches en espèces. Le concours 2015 a été soutenu financièrement, au niveau national, par le Fonds suisse pour le paysage, l'Office fédéral de l'agriculture, l'Office fédéral de l'environnement, la Fondation Gust et Lyn Guhl, la Fondation Temperatio, la Fondation suisse pour la protection et l'aménagement du paysage, la Fondation Erich Nelson, la Fondation Petersberg pro planta et natura ainsi que la Fondation pour la conservation internationale de la diversité végétale. Au niveau régional, d'autres organisations y ont pris part. La liste des lauréats 2015 figure sur le site Internet indiqué ci-dessous.

En 2016, les prairies les plus riches en espèces seront recherchées dans d'autres régions. **Souhaitez-vous mettre sur pied un concours de prairies avec votre organisation? Où voulez-vous en savoir davantage? Adressez-vous dans ce cas à IG Kulturlandschaft, organisatrice des concours.**

Pour de plus amples informations:
www.wiesenmeisterschaften.ch

Bibliographie: www.biodiversity.ch > Publications > Hotspot

Jodok Guntern est collaborateur scientifique auprès du Forum Biodiversité Suisse. Il est compétent en matière de biodiversité dans les terres agricoles.
Eva Spehn est également collaboratrice scientifique auprès du Forum Biodiversité Suisse, responsable de la coopération internationale.
Contact: jodok.guntern@scnat.ch

L'évaluation paneuropéenne régionale du Conseil mondial sur la biodiversité IPBES sera coordonnée depuis la Suisse
A l'instar de l'IPCC pour le climat, l'IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) entend adapter les acquis scientifiques pour la politique. L'évaluation régionale de la biodiversité et des services écosystémiques de l'espace paneuropéen (Europe et Asie centrale), que l'IPBES a entamée, sera fortement ancrée en Suisse: un des trois coprésidents assurant la direction scientifique du rapport est Markus Fischer, de l'Université de Berne, président du Forum Biodiversité Suisse. De plus, cinq autres experts de Suisse se sont vus confier des fonctions importantes. Le Forum Biodiversité Suisse est même parvenu, avec le soutien de l'OFEV et de l'IPBES, à obtenir pour l'Université de Berne le secrétariat de l'évaluation régionale, où trois nouveaux postes seront créés. Ils se chargeront de la coordination et de l'organisation du rapport régional, qui doit paraître en 2018. Pour cette raison, la première rencontre des auteurs a eu lieu à Engelberg, où 120 experts de toute la région se sont rencontrés du 31 août au 4 septembre afin de définir la structure et le contenu des différents chapitres. Eva Spehn

Inspection d'une prairie riche en espèces avec ses exploitants en Suisse orientale. Photo Martin Zimmermann

Poursuivre la diversification des variétés locales

La diversité de cultivars locaux est un des trésors les plus précieux de l'humanité. Elle sert de base à l'alimentation durable de la population mondiale. Il a fallu attendre un passé récent pour que ce constat parvienne à la conscience des décideurs. Qui dit variétés locales dit vie, mais qui dit vie dit aussi mouvement. Pour les plantes cultivées, cela implique une adaptation dynamique à l'évolution des conditions ambiantes. L'exemple du Rheintaler Ribelmais (maïs Ribel de la vallée du Rhin) illustre cette nécessité. *Barbara et Hans Oppliger*

Les variétés locales traditionnelles se sont adaptées à leur région au fil des siècles. Toutefois, les conditions environnementales peuvent évoluer de telle sorte que les plantes ne puissent plus s'adapter à la nouvelle donne si elles sont simplement conservées dans des banques de gènes. Les sols de la vallée du Rhin, par exemple, contiennent aujourd'hui beaucoup plus de nutriments qu'il y a cinquante ans, une partie provenant de l'atmosphère via les précipitations. Autre défi: le réchauffement climatique croissant, qui expose le Rheintaler Ribelmais à une bien plus forte pression infectieuse de la part de maladies fongiques telles que la pourriture fusarienne. Le réchauffement favorise, depuis quelques années, l'hivernage dans nos régions de champignons foliaires (helminthosporiums), qui n'étaient présents qu'au sud des Alpes jusqu'il y a vingt ans. Le Ribelmais, en revanche, n'a pas encore développé de résistances. Un troisième défi doit être relevé par les plantes en raison de la législation de plus en plus rigoureuse en matière de denrées alimentaires: aujourd'hui, des quantités parfois minimes de résidus fongiques peuvent compromettre leur qualité alimentaire.

Grande diversité génétique

Depuis des décennies, la production commerciale de maïs repose exclusivement sur des techniques hybrides. Ces variétés présentent une base génétique extrêmement étroite; chaque plante possède le même modèle génétique. Les variétés locales sont cependant génétiquement très variées: chaque plante possède une composition génétique unique. Le phénomène est comparable à la population humaine: chacun possède une empreinte génétique unique.

Les cultivars locaux sont également appelés «variétés populations». En cas d'amélioration ou d'adaptation d'une variété locale aux conditions ambiantes, il faut procéder avec beaucoup de précaution, pour que la diversité génétique soit maintenue ainsi que le caractère de la variété en question. Ce qui rend les variétés anciennes précieuses, ce n'est pas seulement la grande diversité génétique entre les différentes variétés et provenances, mais aussi la diversité intraspécifique.

L'association Rheintaler Ribelmais

La culture du maïs appartient à la vallée du Rhin comme la saucisse à rôtir Olma appartient à St-Gall. Les vastes champs de maïs forment un paysage typique de la région. C'est là qu'est né le Ribel, un plat traditionnel de plus de 300 ans. Le maïs a constitué pendant des siècles l'aliment de base de la vallée du Rhin, car les autres espèces de céréales n'offraient pas de bons rendements en raison de la forte pression fongique propre au climat chaud et humide.

Au cours du XXe siècle, le Ribel tomba presque dans l'oubli. Avec la création de l'association Rheintaler Ribelmais, une institution fut fondée en 1998 en vue de préserver ce patrimoine culturel. Aujourd'hui, chaque année, outre les vastes étendues de maïs fourrager, plus de 30 hectares sont consacrés au Rheintaler Ribelmais et plus de 40 hectares au maïs à polenta dans la vallée du Rhin.

Le Rheintaler Ribelmais fut le deuxième produit suisse inscrit en 2000 dans le registre national des produits bénéficiant d'une appellation contrôlée AOP. Il ne peut donc être cultivé et traité aujourd'hui que dans la vallée du Rhin.

Informations: www.ribelmais.ch

Préparer les populations pour demain

L'association Rheintaler Ribelmais (voir encadré) a appliqué, durant les douze premières années, la technique de conservation de la sélection massale; autrement dit, chaque année, sur le champ de multiplication des semences, les plus beaux épis des plantes les plus saines et les plus belles sont cueillis à la main pour constituer le matériel de base de la multiplication. Cette technique suppose cependant que seules les propriétés dominantes côté mère peuvent être jugées, ce qui implique que les améliorations sont effectuées très lentement et qu'un grand nombre de générations ne produisent que des améliorations mineures. L'association a donc lancé il y a six ans, conjointement avec la chaire de biodiversité et de sélection végétale de l'Université Hohenheim (Allemagne), un programme appliquant diverses techniques d'amélioration comparables entre elles. Ce programme entend découvrir les techniques recommandables pour préparer des variétés de populations génétiquement variées.

Mode de sélection optimal

L'association Rheintaler Ribelmais compare depuis 2010 la sélection de «demi-germains» et celle de «pleins germains» et mesure, tous les trois ans, l'efficacité de ses variétés sur le terrain. Elle veille en même temps à ce que chaque phase d'amélioration débute avec plus de 500 plants afin de maintenir une base génétique suffisamment large. Les descendants d'une plante sont semés en tant que familles, puis évalués. La plantation de la génération suivante s'effectue à partir de la semence d'origine des meilleures familles.

Par ailleurs, l'association examine avec la collaboration de l'Université Hohenheim si

la méthode de sélection de plantes haploïdes convient au sauvetage des variétés locales menacées. A cet effet, des plantes dotées d'un jeu de chromosomes simple sont temporairement cultivées, afin de mettre en évidence leurs propriétés, y compris les récessives. Il s'agit de rendre visibles en particulier les points faibles ainsi que les sensibilités aux maladies et aux facteurs létaux, parfois dissimulés chez les plantes diploïdes.
Dans le monde, et en particulier en Amérique latine, il existe encore des milliers de variétés locales de maïs. Si quelques épis de chacune de ces variétés sont conservés dans la banque de gènes, ainsi qu'il est prévu, et semés tous les 50 ans, ces variétés ne pourront pas suivre l'évolution des conditions ambiantes, mais stagneront et s'exposeront au risque de devenir totalement inutilisables, ce qui entraînera leur déclin. En cas de succès dans la recherche de techniques d'amélioration appropriées, comme dans le cas du Rheintaler Ribelmais, ces techniques pourraient s'appliquer à d'autres variétés de populations et contribuer à maintenir la compétitivité des variétés locales à l'avenir.

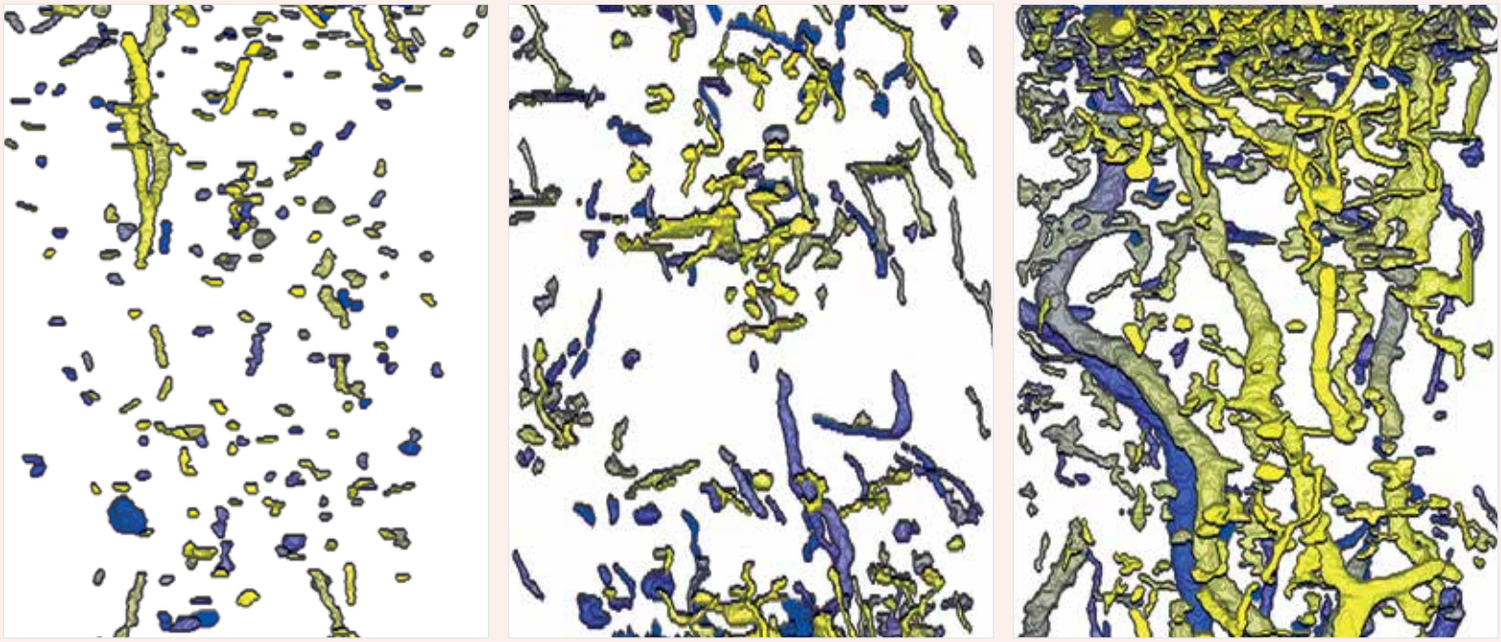
Aide financière au développement de variétés anciennes ou locales
Dans le cadre du «Plan d'action national pour la conservation et l'utilisation durable des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture» (PAN-RPGAA), l'OFAG peut soutenir financièrement des projets, visant à promouvoir l'utilisation des RPGAA. Des moyens sont encore disponibles, notamment dans la sélection ou le développement de variétés destinées au marché de niches. Condition requise pour le soutien: une part aussi élevé que possible de moyens propres et tiers. Les demandes de projet susceptibles d'être lancés en 2016 peuvent être déposées jusqu'au 15 octobre 2015.

Pour de plus amples informations sur le PAN-RPGAA et la soumissions des projets: www.blw.admin.ch > Thèmes > Variétés de plantes, sélection, ressources génétiques > Ressources phytogénétiques > PAN-RPGAA

En haut à gauche: Le Rheintaler Ribelmais constitue une population génétiquement variée. Des experts apprécient les différences génétiques, notamment par rapport à la sensibilité aux maladies fongiques (helminthosporioses).
En haut à droite: L'examen des plants de Rheintaler Ribelmais est fastidieux: des centaines de parcelles doivent être ensemencées séparément, puis examinées, récoltées et évaluées.
En bas: La production de pleins germains requiert un travail intense et précis.
Photos Barbara et Hans Oppliger

Barbara et **Hans Oppliger** ont tous deux étudié l'agronomie et travaillent au Centre d'agriculture de St-Gall (LZSG); ils possèdent l'entreprise RhyTOP GmbH. Ils ont suivi et accompagné divers projets menés dans le cadre du Plan d'action national PAN-RPGAA. Hans Oppliger est en outre directeur de l'association Rheintaler Ribelmais.
Contact: hans.oppliger@lzsg.ch

Quand les vers remplacent la charrue



Evolution du réseau de galeries créé par les vers de terre au cours du temps après un tassement contrôlé dans une parcelle de blé (1, 8 et 24 mois; taille de chaque image: 16×40 cm). Pour le rendu 3D, les couleurs sont jaunes au premier plan et bleues à l'arrière-plan.

Les techniques de travail réduit ou de non-labour du sol se développent en Europe en grandes cultures (quand le sol et la culture le permettent). Dans ces systèmes alternatifs se pose alors la question de la régénération des sols compactés suite à des passages d'engins en conditions humides. L'action des acteurs biologiques du sol (racines et macrofaune) joue un rôle substantiel, mais ni leur importance ni la vitesse à laquelle ils agissent ne sont connues précisément.

Pour étudier ces aspects, nous avons réalisé un tassement contrôlé sur une parcelle de blé en faisant passer un tracteur et une remorque (8 tonnes) chargée en conditions humides (25%). Nous avons ensuite prélevé des colonnes de sol au cours du temps (1, 8 et 24 mois après le tassement) à la fois sous les passages de roues (zone tassée) et hors des zones tassées (témoin). Les réseaux de galeries réalisés par les vers de terre dans des colonnes de sol ont ensuite été étudiés par tomographie aux rayons X grâce à un scanner médical.

Le sol avait, après tassement, une densité apparente de 1,57 g cm^{-3} jusqu'à 25 cm de profondeur. Un mois plus tard, nous constations que le réseau de galeries était presque totalement détruit. Un an plus tard, le réseau de galeries s'était développé, mais la continuité verticale était encore assez faible. Finalement, la restauration du réseau de galeries de vers de terre a pris 24 mois, date à laquelle il n'y avait plus de différence avec les colonnes témoin.

En conclusion, nous pouvons dire que les vers jouent un rôle actif dans la restauration des sols tassés, mais que cette action est lente (2 ans). Un mystère reste cependant entier: pourquoi les vers recolonisent ces zones? Deux explications sont envisageables: soit ils y sont poussés par la compétition spatiale entre vers, soit ces zones deviennent favorables parce qu'elles conservent plus longtemps l'humidité ou qu'elles contiennent plus de matière organique. Yvan Capowiez

Le ver de terre joue un rôle important dans l'architecture de nos sols. Photo Thomas Alföldi

Yvan Capowiez est chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) d'Avignon. Il a longtemps travaillé sur le comportement des vers de terre et leurs rôles dans les sols cultivés et il s'intéresse maintenant aux communautés d'araignées dans les systèmes cultivés.
Contact: capowiez@avignon.inra.fr