42 | 2020

scnat
académie des sciences naturelles

HOTSPOT

Le magazine du Forum Biodiversité Suisse

Biodiversité cachée

LA VIE DANS LE SOL

UNICELLULAIRES EN MAJORITÉ

À LA RECHERCHE D'ESPÈCES DANS L'ADN ENVIRONNEMENTAL

IMPRESSUM

HOTSPOT
Le magazine du Forum Biodiversité Suisse
42 | 2020

Édition
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 • biodiversity.scnat.ch

Rédaction
Gregor Klaus (GK), Daniela Pauli (DPa)

Traduction en français: Henri-Daniel Wibaut, Lausanne. **Mise en page:** Esther Schreier, Bâle. **Impression:** Print Media Works, Schopfheim im Wiesental (D). **Papier:** Circle Volume 100 g/m², 100 % Recycling.
Tirage: 3050 ex. en allemand, 900 ex. en français.

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 2021. Tous les numéros de HOTSPOT peuvent être consultés sur le site biodiversity.scnat.ch/hotspot au format PDF.

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 sur notre compte 30-169218-9, IBAN CH31 0900 0000 3016 9218 9.

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.

© Forum Biodiversité Suisse, SCNAT, Berne, octobre 2020

Page de titre
Stefan Eggenberg, directeur d'Info Flora, Centre national de données et d'informations sur la flore suisse, examine la discrète diversité des espèces sur un mur de la commune tessinoise de Cimadera. La photo fut prise lors d'un des reportages menés pour le livre *Arten vor dem Aus*, publié en août 2020 chez Haupt Verlag et édité par le Forum Biodiversité (voir p. 30 et carte jointe). Photo: Tomas Wüthrich, www.tomaswuethrich.ch

Éditorial

Avez-vous reconnu votre HOTSPOT? Pendant plus de 20 ans, notre magazine a été publié en grand format, avec trois photos en couleur sur la page de titre. Cela le rendait unique en son genre, mais aussi un peu plus difficile à manier. Nous avons donc décidé d'adopter le format normal A4. Nous avons repris en même temps le nouveau look de l'Académie suisse des sciences naturelles. Et comme HOTSPOT ne comporte plus, depuis cette année, 28 pages mais 32, il sera désormais envoyé sans être plié.
Tout cela ne change toutefois rien au contenu et à la qualité du magazine. HOTSPOT reste le magazine du Forum Biodiversité Suisse, consacré chaque semestre à un dossier spécifique et aux derniers acquis de la science et de la pratique. Il informe en même temps de l'actualité des offices fédéraux (OFEV et OFAG) ainsi que des activités de la Confédération en matière de monitorage.
Le présent numéro de HOTSPOT s'intéresse à cette partie de la biodiversité qui échappe normalement à l'œil humain. Il y est question des organismes de taille microscopique. Des espèces qui vivent sur des sites difficiles d'accès, ou que l'on avait ignorées jusqu'à présent, et des taxons que la science n'a découverts peu à peu que grâce à de nouvelles méthodes génétiques. Plus les mystères disparaissent autour de ces aspects largement méconnus de la biodiversité, plus il apparaît que la majeure partie de la diversité biologique se compose d'organismes minuscules. Ce qui nous semble important – fleurs, arbres, papillons, oiseaux, mammifères – ne constitue que la pointe de l'iceberg en matière de diversité des espèces.
Parmi les organismes les plus invisibles et en même temps les plus influents figurent les virus, comme le révèle la pandémie actuelle imputable à un coronavirus. Mais les virus font aussi partie de la biodiversité; leur variété est toutefois encore trop peu explorée par rapport à celle des protistes et des bactéries. Par conséquent, les estimations relatives au nombre d'espèces présentent une très large fourchette. Les virus ne sont pas le thème du présent HOTSPOT; mais nous leur consacrerons un numéro complet à un moment ou à un autre.

Je vous en souhaite une lecture passionnante!

Daniela Pauli
Responsable du Forum Biodiversité Suisse

Biodiversité cachée

4 **Invisible et pourtant là** | Introduction

6 **Les unicellulaires dominent l'arbre du vivant**

8 **La diversité cachée du sol régit le système terrestre**

10 **La vie fascinante des eaux souterraines**

12 **Il était une fois… Gelyella** | Interview

14 **Diversité piscicole cachée de Suisse**

17 **L'ADN environnemental révèle la diversité cachée des écosystèmes fluviaux**

18 **Biocénoses invisibles dans les aliments fermentés**

19 **Ecouter la biodiversité**

20 **Pourquoi nous ne percevons pas toutes les espèces**

21 **A la découverte de la biodiversité: huit exemples**

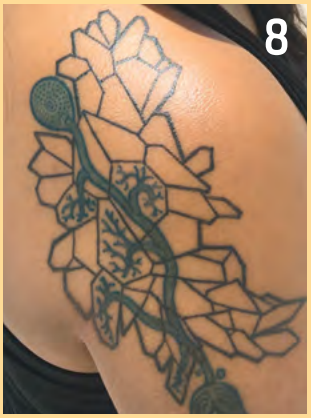
24 **Relevés de biodiversité: des données précieuses au potentiel considérable** | Office fédéral de l'environnement OFEV

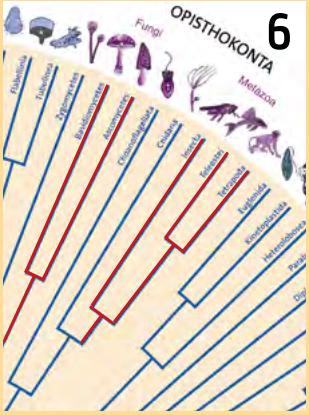
26 **A la recherche de la biodiversité cachée du sol** | Office fédéral de l'environnement OFEV

28 **Diversité aromatique de variétés anciennes de fruits** | Office fédéral de l'agriculture OFAG

30 **Nouvelles du Forum Biodiversité Suisse**

32 **La biodiversité cachée d'un baiser** | Portrait de la biodiversité





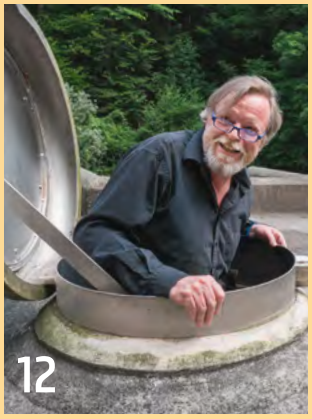


Photo Tomas Wüthrich

Remarque
Pour des raisons de place, la bibliographie citée dans les articles figure dans un document téléchargeable: **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

INTRODUCTION

Invisible et pourtant là

La vie sur Terre consiste en beaucoup plus que ce que nous voyons – ou voulons voir. Sa majeure partie est d'une taille microscopique, se déroule dans le secret ou en des lieux inaccessibles, n'est décelable que par des méthodes de laboratoire ou n'est tout simplement pas perçue. Pour que « loin des yeux » ne signifie pas en même temps « loin du cœur », le présent numéro de HOTSPOT se consacre à la biodiversité cachée et donne ainsi une idée de l'ampleur réelle de la biodiversité. Les nombreux articles qu'il contient montrent que la recherche ne se concentre nullement sur le monde visible, mais qu'elle s'efforce aussi de présenter une image équilibrée de la vie.

GREGOR KLAUS ET DANIELA PAULI

Dans la cuisine, l'éponge à vaisselle vit. Jusqu'à 54 milliards de bactéries vivent dans 1 cm^3 de tissu éponge – soit sept fois plus d'organismes que d'êtres humains sur cette Terre. C'est une véritable biocénose: outre les bactéries, on y trouve des virus antibactériens, des archées (ou bactéries primitives), des champignons et des animaux unicellulaires tels que les amibes. C'est pourquoi les experts de la santé recommandent de remplacer régulièrement ce microcosme fascinant que nous tenons dans la main tous les jours.

L'orchestre du sol

La vie sur Terre consiste apparemment en beaucoup plus que ce que l'œil humain peut percevoir. Les poissons colorés des récifs de corail et les fleurs des prairies ne représentent, avec tous les autres animaux, plantes et champignons pluricellulaires, que de petites branches de l'arbre de vie (p. 7). Comme le montrent les derniers acquis de la recherche (voir graphique), l'écrasante majorité de la biodiversité se trouve dans le secteur microscopique chez les organismes unicellulaires.

Les microorganismes ne dominent pas seulement le monde par rapport au nombre de leurs espèces, mais aussi du point de vue de la biomasse et du nombre d'individus, comme le révèle un examen du sol: le poids de la biomasse vivant sous un hectare de terre peut atteindre 15 tonnes. Il n'est donc guère étonnant que les organismes du sol participent dans une large mesure aux flux de matières locaux et mondiaux, et contribuent ainsi en grande partie à divers services écosystémiques (p. 8). Cependant, la majeure partie des biocénoses demeurent inexplorées. Cela s'applique même aux microorganismes, qui revêtent une importance capitale dans la fabrication d'aliments fermentés comme le fromage (p. 18).

Le projet «Sounding Soil», projet d'art et de recherche interdisciplinaire, a montré d'une manière peu conventionnelle que le sol était plein de vie. Le sol est exploré à l'aide de capteurs spécifiques. Outre les bruits de creusement et de rampement, il permet aussi d'entendre les animaux du sol communiquer et manger. Tout l'orchestre peut être écouté sur le site www.soundingsoil.ch.

La diversité des espèces dans un intestin en bonne santé est considérable. Le «cornichon» au centre appartient au genre *Epulopiscium*, qui a fourni jusqu'à présent les espèces de bactéries connues les plus grandes. La coloration de la diversité est le fruit d'une liberté artistique. Photo: © Martin Oeggerli / Micronaut 2015, supported HP Marti, Swiss TPH, Pathology, University Hospital Basel and School of Life Sciences, FHNW

L'écosystème humain

Les microbes ne jouent pas seulement un rôle important dans le sol, mais aussi sur et dans notre corps. Sur notre peau, nos dents et nos muqueuses ainsi que dans l'intestin, se bousculent une quantité considérable de bactéries, de virus et de champignons. Environ cent mille milliards de micro-organismes nous peuplent en permanence. Seuls environ trente mille milliards de cellules corporelles leur font face. Nous transportons constamment environ 2 kg de bactéries, dont la plupart se situent dans l'intestin (voir photo). Ce microbiome exerce une grande influence sur notre santé et notre bien-être (www.microbiotavault.org). Les microorganismes aident, par exemple, à combattre les agents pathogènes et à transformer efficacement la nourriture. Cela signifie toutefois aussi qu'une diminution de leur diversité ou un déséquilibre dans la composition spécifique du microbiome (provoqué, par exemple, par une alimentation déséquilibrée ou une hygiène excessive) peut entraîner des maladies et une baisse de rendement. De nombreux indices montrent que nous ne dégradons pas

seulement les grands écosystèmes, mais que nous sommes aussi sur le point de compromettre l'équilibre et la diversité de notre propre microbiome, acquis au cours des 300 000 dernières années.

Méthodes moléculaires

Il est permis d'affirmer que la vie existe partout là où une eau liquide et une substance organique sont présentes. Ce type de site se trouve sur plusieurs niveaux dans le sol: les eaux souterraines contiennent une multitude d'habitats riches d'une grande diversité biologique, parfois endémique (pp. 10-13). Les grottes et les captages d'eau potable constituent des accès importants à ces communautés spécifiques, mais elles ne sont pas les seuls. De nouvelles méthodes moléculaires permettent de découvrir des espèces rares ou difficiles à recenser, et d'identifier une biodiversité cachée. En fait surtout partie la détermination des espèces au moyen de l'ADN environnemental. Celui-ci profite du fait que les organismes transmettent en permanence à leur environnement de petites quantités d'ADN (p. ex. sous forme de mucosités, d'excréments, d'écailles, de poils et de résidus cellulaires). Cet ADN environnemental peut être isolé à partir d'un échantillon d'air ou d'eau. Si l'on en détermine la séquence nucléotidique et si on la compare avec une base de données de référence, il sera possible d'identifier les organismes présents dans l'échantillon (p. 17 et p. 25).

Les méthodes moléculaires permettent également une nouvelle approche de la diversité génétique de groupes d'organismes entiers, mais aussi d'organismes reconnaissables à l'œil nu, comme les poissons. Des découvertes passionnantes ont été effectuées dans ce domaine au cours des dernières années (p. 14). Il apparaît progressivement que la diversité piscicole de la Suisse a longtemps été sous-estimée. Par rapport à la sauvegarde de la biodiversité, cette carence en savoir est très problématique, car il est difficile de préserver une diversité que l'on ne connaît pas.

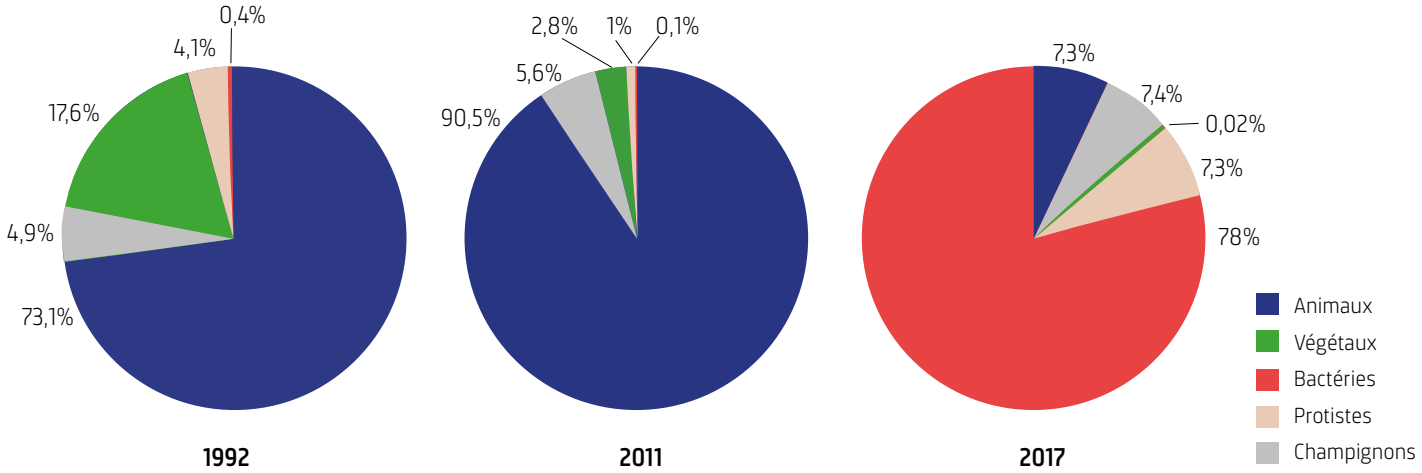
Un coup d'œil en vaut la peine

Des espèces animales connues peuvent également mener une vie si discrète que l'on ignore la densité de leur population et les lieux où elles sont présentes. Des méthodes comme la bioacoustique (p. 19) ainsi que des preuves indirectes (p. ex. excréments, plumes et traces) peuvent apporter une aide précieuse. Quand les chercheurs y regardent de plus près, ils découvrent une diversité fascinante (pp. 21-23 et p. 24).

Quiconque ne s'intéresse pas particulièrement à la nature n'identifiera toutefois pas au bord du chemin des espèces pourtant parfaitement visibles. On ne perçoit en effet que les espèces que l'on a déjà rencontrées ou avec lesquelles on a déjà vécu quelque chose (p. 20). Des études ont montré par ailleurs que le nombre d'espèces présentes dans des prairies riches en espèces était fortement sous-estimé. Il importe à cet égard de susciter la fascination de la diversité de la vie au sein du grand public; cela requiert également un engagement renforcé des chercheurs sur le plan de la formation et de l'information.

Pascal Moeschler, du Muséum d'histoire naturelle de Genève, a démontré de manière impressionnante que les gens pouvaient être aussi enthousiasmés par des espèces qu'ils ne peuvent même pas voir (p. 12): il est parvenu à faire de la publicité pour la biodiversité avec l'aide d'une espèce «invisible». Le minuscule crustacé Gelyella, qui vit exclusivement dans les eaux karstiques du Jura Neuchâtelois, est aujourd'hui considéré officiellement comme «icône suisse» – au même titre que Max Frisch, Maggi, le glacier d'Aletsch et Victorinox. •

GREGOR KLAUS est journaliste scientifique indépendant et rédacteur de HOTSPOT. **DANIELA PAULI** est biologiste et responsable du Forum Biodiversité Suisse. Contact: **daniela.pauli@scnat.ch**



Le nouveau camembert de la vie: Wilson (1992) estimait que trois quarts de toutes les espèces étaient des animaux (surtout des insectes). De nombreuses nouvelles espèces animales ont été découvertes au cours des 20 années suivantes, mais très peu d'espèces végétales (Mora et al. 2011). On sait aujourd'hui que les bactéries et les protistes (= organismes microscopiques composés d'une ou de quelques cellules et présentant un authentique noyau cellulaire) représentent la majorité de la diversité (Brendan et al 2017).

Les unicellulaires dominent l'arbre du vivant

Les animaux, les plantes et les champignons que nous pouvons voir et déterminer à l'œil nu n'occupent qu'une petite branche ramifiée dans l'arbre généalogique de tous les êtres vivants. C'est ce que montrent les données génétiques obtenues au cours des 20 dernières années grâce à de nouvelles méthodes. La majeure partie de l'histoire de l'évolution de la vie et, de loin, la plus grande diversité se trouvent dans les organismes unicellulaires «invisibles». JAN PAWLOWSKI

Pendant des siècles, notre vision de l'organisation du monde vivant se limitait aux organismes macroscopiques (principalement animaux et plantes) que l'on pouvait reconnaître morphologiquement et classifier. La découverte du monde microbien a permis d'élargir cette vision, mais les relations entre les différents groupes d'unicellulaires restaient difficiles à établir, tant leurs morphologies étaient différentes. Ce n'est qu'à la fin du siècle dernier, grâce au développement des approches génomiques, qu'il est devenu possible de reconstruire un arbre phylogénétique comprenant toute la diversité du vivant.

La systématique des microorganismes

Le fait le plus marquant dans un arbre du vivant basé sur les données génomiques (voir graphique), c'est l'immense diversité des microorganismes. Les plantes, les animaux, les champignons ne sont que des rameaux perdus parmi les branches que représentent les unicellulaires. Certes, les premiers dominent toujours en nombre d'espèces décrites. Mais cette dominance taxonomique est progressivement remise en question par les données issues de la génomique environnementale. Les nombreuses études dans ce domaine apportent un lot important de séquences inconnues d'organismes unicellulaires.

Comment est donc organisé ce monde des microbes? Tout d'abord, on y distingue trois grands domaines, appelés parfois des empires, représentés par les bactéries, les archées et les eucaryotes. Chez ces derniers, les cellules ont un degré d'organisation plus élevé, leur matériel génétique est situé dans un noyau cellulaire et une structuration a lieu à l'aide d'organites cellulaires. Ce système des trois domaines introduit par Carl Woese dans les années 90 semblait inébranlable. Mais la découverte en 2015 d'une nouvelle lignée d'archées, les Lokiarcheota, plus proche des eucaryotes que des autres archées, suggère que les archées pourraient être un groupe paraphylétique (ne comprenant qu'une partie des descendants d'un ancêtre commun) et qu'à la base, l'arbre du vivant ne comprenait que deux grands domaines: les bactéries et les archées-eucaryotes.

Une classification robuste

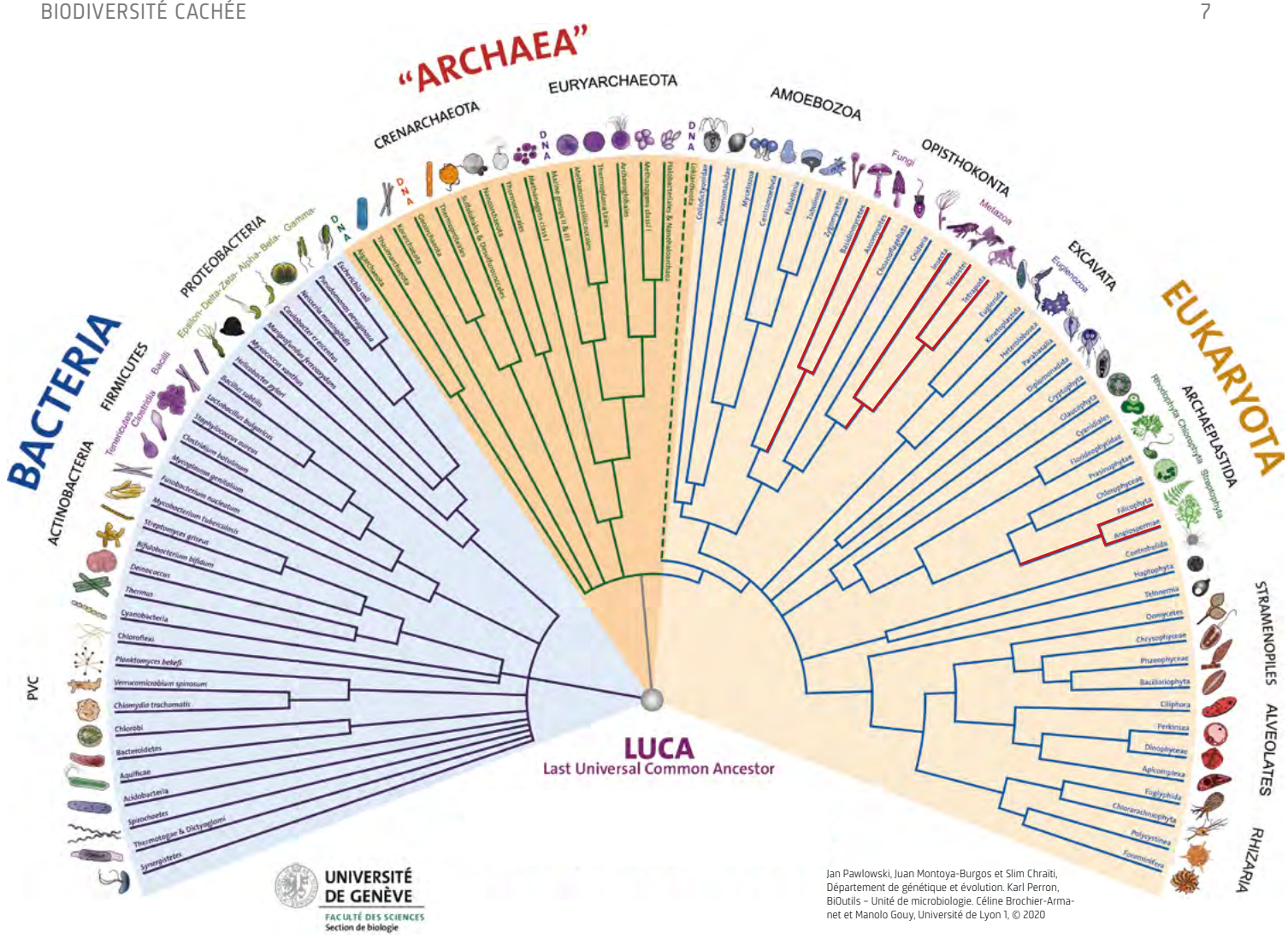
Chaque domaine est divisé en plusieurs phyla (embranchements), regroupés parfois en supergroupes ou superembranchements. On distingue 92 phyla bactériens et 26 phyla chez les archées. Certains de ces phyla sont représentés par un nombre important d'espèces cultivées et bien définis par les séquences des gènes ribosomiques et par des caractéristiques biochimiques. C'est le cas par exemple des alphaprotéobactéries, des actinobactéries ou des cyanobactéries. En même temps, il existe un nombre important de lignées bactériennes et de lignées d'archées dont aucun représentant n'a jamais été isolé ni cultivé et qui ne sont connues que par les séquences issues des études environnementales. Les relations phylogénétiques de ces lignées sont souvent irrésolues comme l'illustre le nombre important des branches qui se terminent à la base de l'arbre.

La situation est similaire chez les eucaryotes: on y distingue sept groupes majeurs qui comprennent la majorité de la diversité eucaryotique et de nombreuses lignées indépendantes, parfois représentées par une espèce cultivée et parfois uniquement par des séquences environnementales. Parmi les groupes majeurs, certains sont très bien définis comme les Archaeplastida (Plantae) caractérisés par la présence de plastes issus d'une symbiose primaire. D'autres sont définis principalement par des caractères moléculaires, puisque beaucoup de taxa appartenant à ces groupes partagent les mêmes caractères extérieurs et ne peuvent pas si ce n'est difficilement être distingués sur la base de leur morphologie. Le plus diversifié est le groupe des Opisthokontes, qui comprend à la fois les animaux et les champignons avec plusieurs lignées unicellulaires à leur base. Quant aux algues, tel que les diatomées, dont les plastes sont issus d'une symbiose secondaire, on les retrouve pour la plupart dans les Stramenopiles et les Alvéolés, qui forment avec les Rhizaria un supergroupe nommé SAR. Les analyses phylogénomiques récentes ont permis de regrouper certains phyla de protistes (Cryptista, Haptista) qui n'ont pas pu être inclus dans des groupes majeurs. En même temps, la monophylie d'autres grands groupes (Excavata) a été remise en question.

Bien que le squelette de l'arbre du vivant semble à présent bien établi et que la classification des microorganismes paraît relativement robuste, plusieurs questions restent encore ouvertes. Le défi majeur concerne la position de la racine de l'arbre et l'ordre des branchements à la base de chaque domaine. On assume que tous les organismes vivants partagent le même ancêtre commun (Last Universal Common Ancestor, LUCA). L'état actuel de nos connaissances ne permet pas de dire si celui-ci était proche d'une bactérie, d'une archée ou d'un virus. Par ailleurs, ces derniers ne sont pas présents dans l'arbre car leur matériel génétique est très spécifique et difficile à caractériser. Néanmoins, on ne peut pas exclure que les études futures vont découvrir des virus qui garderaient des signatures génétiques ancestrales et qui pourraient nous éclairer sur l'origine de la vie et des premiers organismes vivants.

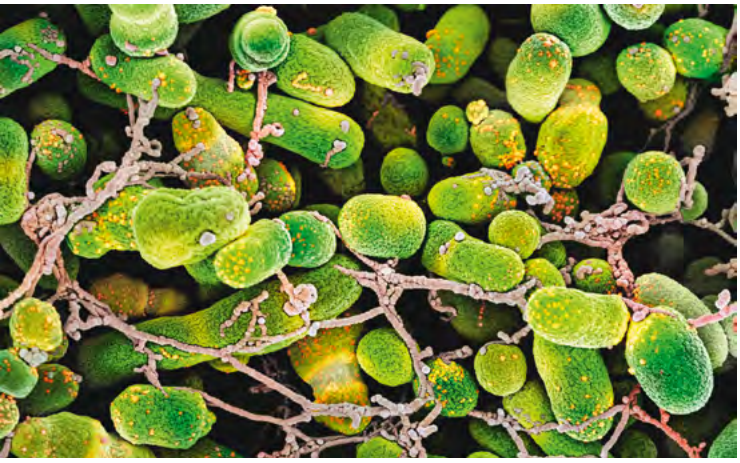
Nouvelles méthodes, nouvelles connaissances

Les travaux sur la systématique des microorganismes de ces 20 dernières années ont eu un effet spectaculaire sur nos connaissances et notre compréhension de l'évolution de la diversité du vivant. Ils n'ont pas seulement permis de mettre un peu d'ordre dans notre vision de ce monde si imperceptible, ils ont aussi apporté des explications à des phénomènes biologiques essentiels tels que l'origine et l'évolution de la symbiose. Certes, il n'est pas facile de reconstruire une évolution de plusieurs milliards d'années en se basant uniquement sur les connaissances très par-



Jan Pawlowski, Juan Montoya-Burgos et Slim Chraïti, Département de génétique et évolution. Karl Perron, BiOutils – Unité de microbiologie. Céline Brochier-Armanet et Manolo Gouy, Université de Lyon 1, © 2020

L'arbre du vivant illustre la relation entre tous les êtres vivants du monde. Là où les lignes se rencontrent, ils ont un parent commun. Les plantes, les animaux et les champignons, qui pour la plupart des gens constituent la «biodiversité», ne sont que de minuscules rameaux (en rouge) qui se perdent dans les branches des organismes unicellulaires. © Université de Genève, section Biologie



Beaucoup de lignées de bactéries se caractérisent avant tout par des séquences métagénomiques. La photo montre un représentant connu d'un groupe de bactéries qui a changé le monde: la bactérie racinaire *Rhizobium leguminosarium* fixe l'azote atmosphérique et vit en symbiose avec les légumineuses. Photo © Martin Oeggerli / Micronaut, 2016

tielles de quelques espèces vivant actuellement. On peut toutefois espérer que le développement de nouveaux outils en génomique environnementale ainsi que le séquençage du matériel génétique provenant d'une seule cellule contribueront à explorer encore plus activement cette partie de la biosphère qui reste encore largement inconnue. •

JAN PAWLOWSKI est professeur associé au Département de génétique et évolution de l'Université de Genève. Ses recherches portent sur l'évolution et la diversité des eucaryotes. Contact: **jan.pawlowski@unige.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Majorité invisible: comment les microbes du sol régissent le système terrestre

Une vie étonnamment riche, variée et fascinante règne dans le sol, sous nos pieds. Les organismes du sol participent dans une large mesure aux flux de matières et contribuent pour une bonne part à divers services écosystémiques.

MARCEL VAN DER HEIJDEN, ILDIKO SZELECZ, NOEMI PETER ET EDWARD MITCHELL

Les microbes représentent une majorité invisible et englobent une large part de la diversité génétique de la vie. On estime qu'un gramme de sol contient 10^{10}-10^{11} bactéries, 6000 - 50 000 taxons, 10^{4}-10^{6} protistes et jusqu'à 200 mètres d'hyphes fongiques. Il n'est pas inhabituel de constater la présence de 15 tonnes de biomasse vivante sous nos pieds. Ce chiffre, qui correspond à 20 vaches ou 200 moutons sur un hectare, est révélateur de la vie pédologique. Les microbes sont même présents dans des aquifères et des sols profonds, et un gramme de sédiments situés à 200 mètres de profondeur héberge des milliers de bactéries.

Bien que souvent invisibles à l'œil nu, et bien cachées sous nos pieds, un vaste éventail de créatures très diverses vivent sous terre. Les plus connues sont des animaux macroscopiques tels que les vers de terre, mais de nombreuses autres espèces d'invertébrés fascinants vivent dans le sol, comme les pseudoscorpions, ou les minuscules rotifères et tardigrades, dont la taille n'excède pas celle des grands protozoaires. Bon nombre d'exemples sont décrits dans l'Atlas mondial de la diversité des sols (Orgiazzi et al. 2016). Par ailleurs, presque toutes les plantes forment des associations symbiotiques souterraines avec des mycorhizes ainsi que des structures extrêmement complexes pour faciliter les échanges de nutriments entre les plantes et les champignons. Ces structures ont même inspiré des artistes et des tatouages. Saviez-vous que le plus grand organisme vit dans le sol? C'est un clone de champignon lignivore qui a colonisé une zone de 15 ha (soit 21 terrains de football) dans une forêt des États-Unis et pèse 10 000 kg (Smith et al. 1992). Des études récentes ont également commencé à cartographier l'immense biodiversité du sol, et des cartographies mondiales sont maintenant disponibles pour les vers de terre (Philipps et al. 2019), les mycorhizes (Davison et al. 2015), les champignons (Tedersoo et al. 2014), les protistes (Olieverio et al. 2020) et les bactéries dominantes (Delgado-Baquerizo et al. 2018). La diversité qui règne sous nos pieds est souvent beaucoup plus riche que celle que nous voyons en surface. Les forêts boréales, par exemple, sont dominées par quelques essences (pin, p. ex.); en même temps, il n'est pas rare de trouver plus de 50 espèces fongiques différentes à leurs pieds. De même, les tourbières boréales (minérotrophes et oligotrophes) sont dominées par quelques espèces végétales mais contiennent plus de 60 espèces de thécamoebiens (amibes à coquille) (Lamentowicz et al. 2010) et des milliers d'espèces de bactéries, champignons et autres protistes.

Moteur de précieux services écosystémiques

Les microbes du sol ne sont pas seulement variés et jolis. Ils remplissent également de nombreuses fonctions essentielles et régulent la productivité végétale. Dans les écosystèmes pauvres en nutriments en particulier, les symbiontes racinaires sont responsables de l'acquisition de nutriments limitatifs. Les champignons mycorhiziens et les bactéries diazotrophes fournissent environ 5-20 % (prairies et savanes) jusqu'à 80 % de l'azote (forêts boréales et tempérées), et jusqu'à 75 % du phosphore acquis chaque année par les plantes (van der Heijden et al. 2008). Les gens ne s'en rendent souvent pas compte, mais une part substantielle des nutriments contenus dans notre pizza ou notre pain quotidien sont dérivés du sol, et ont parcouru des chaînes alimentaires microbiennes extrêmement complexes.

Les microbes du sol, y compris les pathogènes, souvent méconnus, sont également des régulateurs importants de la diversité et de l'abondance végétale, animale et microbienne, ainsi que de la dynamique communautaire. Dans certains cas, l'établissement de plantes et d'animaux exotiques est facilité si leurs agents pathogènes sont absents de la zone nouvellement colonisée. À l'inverse, certains pathogènes introduits peuvent évincer des plantes autrefois communes (p. ex., graphiose de l'orme ou chalarose du frêne). Par ailleurs, des estimations prudentes suggèrent qu'environ 20 000 espèces végétales sont totalement tributaires de symbiontes microbiens pour leur croissance et leur survie (van der Heijden et al. 2008), ce qui souligne l'importance des microbes du sol en tant que régulateurs de la richesse spécifique des végétaux sur notre planète. En conclusion, quoiqu'invisibles à l'œil nu, les microorganismes constituent de très loin l'essentiel de la diversité. Cette diversité régit le système terrestre par son impact sur les cycles de nutriments et de carbone, et joue un rôle majeur dans la vie et la mort de tous les organismes macroscopiques. •

Les mycorhizes engagent des interactions avec la plupart des plantes terrestres, lesquelles bénéficient aux deux parties et génèrent des associations extrêmement complexes. Celles-ci ont inspiré des tatouages comme celui représentant des cellules racinaires avec champignon (structure bleue) sur le bras de la chercheuse américaine Shabana Hoosein. Photo: Marcel van der Heijden

Les organismes du sol renseignent sur l'âge des cadavres

Les organismes du sol sont en majorité tributaires de l'apport de carbone organique des plantes par le biais de déchets aériens et souterrains et d'exsudats racinaires. Cependant, d'autres sources significatives proviennent des animaux sous forme d'urine, d'excréments et de cadavres. Ces sources sont extrêmement concentrées et éphémères. Il en résulte une hétérogénéité spatiale et temporelle des ressources, qui contribuent à l'extrême richesse de la diversité des organismes du sol. Les cadavres ne représentent qu'environ 1% de l'apport de matière organique dans les écosystèmes terrestres, mais leur effet sur la végétation et les organismes du sol est évident, notamment de la part des grands mammifères (Carter et al. 2007). Un cadavre en décomposition constitue ce que l'on appelle un îlot de décomposition cadavérique (CDI) assorti d'un déversement de nutriments extrêmement concentrés limité dans l'espace et dans le temps (Carter et al. 2007).

À mesure que le cadavre se décompose, les conditions physico-chimiques du sol sous-jacent évoluent (Szelecz et al. 2018a; Mark et al. 2019) et les organismes du sol réagissent à ce changement (Szelecz et al. 2014; Metcalf et al. 2016). Il est ainsi possible de déterminer l'âge d'un cadavre en étudiant les communautés d'organismes du sol. Ce genre d'outil est très précieux dans les enquêtes criminelles car l'intervalle post-mortem (PMI) est une information essentielle qu'il est impossible d'obtenir au-delà de quelques semaines avec les méthodes conventionnelles d'entomologie médico-légale (Szelecz et al. 2018b).

La décomposition de cadavres de grands mammifères contribue à l'hétérogénéité de l'écosystème. Ici, en Patagonie (Chili), l'influence d'une carcasse de vache, qui forme ce que l'on appelle un îlot de décomposition cadavérique, est clairement visible. Photo: Edward Mitchell

L'étude des sols situés sous des cadavres présente également un grand intérêt pour la connaissance de la diversité du sol. En effet, une étude moléculaire des protistes du sol a montré que ces «indicateurs cadavériques» correspondaient à une diversité insoupçonnée et inconnue (Seppey et al. 2016). Les sols impactés par des cadavres, qui ne constituent pas forcément le premier choix des chercheurs, sont en fait d'excellents sites pour l'étude de la diversité pédologique inconnue. •

La preuve par le slip

Il est difficile de visualiser les processus pédologiques et de faire prendre conscience de toutes les activités qui se déroulent dans le sol. Pour cette raison, Agroscope a organisé l'an dernier une journée consacrée à la vie souterraine, s'inspirant de la campagne internationale #SoilYourUndies. L'idée est simple: il suffit d'enterrer un slip en coton dans le sol. Quelques mois plus tard, on observe ce qui s'est passé. Cela illustre d'une manière simple et visuelle ce qui se passe dans le sol (N.B. Il ne faut utiliser que

Dans le cadre de la campagne internationale #SoilYourUndies, le public est invité à enterrer des slips en coton dans le sol. Plus il sera décomposé au bout de deux mois, plus les organismes du sol auront été actifs… et plus le sol est en bonne santé. Photo: www.nicolaszonvi.com

des sous-vêtements en coton, les slips synthétiques ne marchent pas). Cette campagne a suscité un vif intérêt, même de la part de la télévision suisse, notamment du programme Glanz & Gloria, et de personnalités telles que Bo Katzman, Salomé Jantz & David Bröckelmann. On a observé, par exemple, que le changement climatique et en particulier la sécheresse réduisaient radicalement les processus pédologiques et les réseaux trophiques du sol. Même si elle ne paraît pas très sérieuse à première vue, cette campagne a visualisé avec simplicité et élégance que le sol n'était pas mort et que notre vie dépendait en réalité d'un grand nombre de processus pédologiques (production agroalimentaire, filtrage de l'eau et stockage de grandes quantités de carbone qui contribueraient sinon au réchauffement climatique, p. ex.). En 2021, nous poursuivrons notre campagne, et les agriculteurs et jardiniers intéressés peuvent prendre contact avec Marcel van der Heijden. •

MARCEL VAN DER HEIJDEN dirige le groupe de recherches Interactions plantes-sol à Agroscope. Il enseigne en outre l'agroécologie et les interactions plantes-microbiome à l'Université de Zurich de même que l'écologie des mycorhizes à l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).
ILDIKO SZELECZ étudie, en collaboration avec le Laboratoire de biodiversité des sols de l'Université de Neuchâtel, les effets des carcasses en décomposition sur la composition et la fréquence des organismes du sol.
NOEMI PETER a un doctorat en biochimie végétale et travaille à Agroscope et à l'Université de Zurich. Elle participe à un projet de Citizen Science sur la santé des sols et à un projet Horizon 2020 visant à harmoniser la recherche européenne sur les sols.
EDWARD MITCHELL dirige le Laboratoire de biodiversité des sols de l'Université de Neuchâtel. Ses recherches portent sur la diversité des organismes du sol, le rôle fonctionnel des organismes du sol peu connus et l'impact des activités humaines sur l'écosystème du sol. Contact **marcel.vanderheijden@agroscope.admin.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

La vie fascinante des eaux souterraines

La biodiversité du sous-sol et son importance sont encore insuffisamment explorées. De récentes études suggèrent que ces habitats présentent une grande diversité biologique, parfois endémique. De nombreuses découvertes ont été faites au cours des dernières années, notamment à propos des amphipodes. ROMAN ALTHER ET FLORIAN ALTERMATT

Si l'on recherche des exemples d'écosystèmes inaccessibles, on pensera peut-être à la banquise, aux forêts vierges ou aux abysses océaniques. Pourtant, un écosystème tout aussi peu exploré par rapport à la biodiversité est à notre porte, et plus précisément sous nos pieds. En y regardant de plus près, on découvre une vie très variée dans les couches supérieures du sous-sol (p. 8). Un peu plus bas se trouvent des eaux souterraines ou des grottes karstiques, que souvent on n'identifie pas immédiatement comme des habitats variés et échappent à l'observation directe.

En Suisse, environ la moitié des 40 espèces d'amphipodes connues vivent dans le sous-sol.

Cette lacune est d'autant plus étonnante que les eaux souterraines précisément contribuent en Suisse à assurer l'approvisionnement en eau potable salubre (Freiburghaus 2012). Par ailleurs, il n'existe aucun autre écosystème présentant une genèse aussi longue et des conditions relativement constantes. Pourtant, des nuisances croissantes liées au réchauffement, aux apports de pesticides ou à l'imperméabilisation du sol menacent non seulement la qualité et la quantité d'eau (Burri et al. 2019), mais aussi la faune souterraine et les services écosystémiques qui en découlent (Griebler et Avramov 2015). À l'inverse des écosystèmes de surfaces, les cycles écologiques, le rôle de certaines espèces, la composition des espèces ainsi que les incidences des influences anthropogènes dans le sous-sol sont peu connus (Saccò et al. 2019). En Suisse, jusqu'à présent, seuls les microorganismes ont été étudiés sur une grande échelle (OFEV 2019); concernant les habitants un peu plus grands du sous-sol, les données sont pratiquement inexistantes.

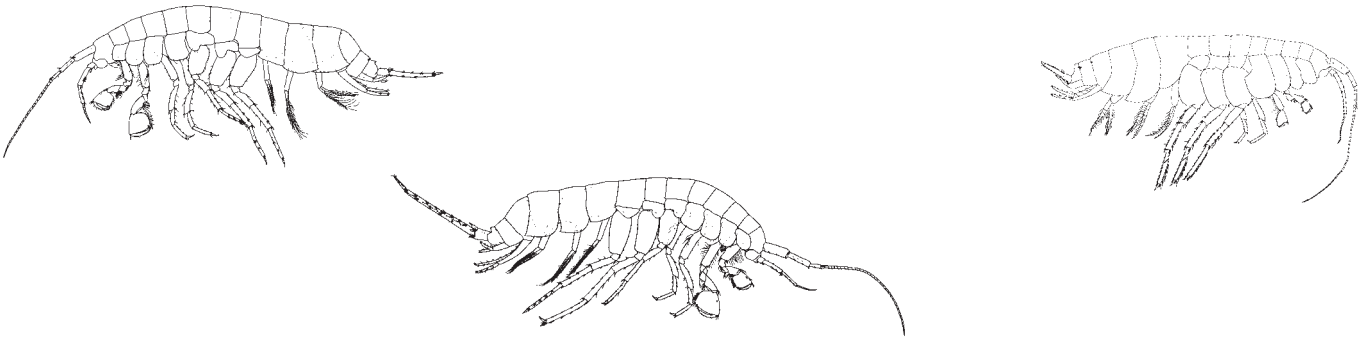
Amphipodes endémiques

Le sous-sol accueille en effet une macrofaune très variée (stygofaune) (Schminke et al. 2007). Les crustacés en particulier, surtout les isopodes et les amphipodes, y sont très répandus (Arndt et al. 2012). En Suisse, environ la moitié des 40 espèces d'amphipodes connues vivent dans le sous-sol, en particulier le genre *Niphargus* (Altermatt et al. 2019). Ces animaux sont des habitants typiques du sous-sol, souvent répandus sur une très petite échelle. Quatre de ces espèces – soit un dixième – sont endémiques en Suisse. Une part aussi élevée d'espèces endémiques n'existe dans aucun autre groupe d'organismes (Tschudin et al. 2017); chez les plantes, par exemple, seules six des quelque 3000 espèces présentes en Suisse sont endémiques. La Suisse assume donc une grande responsabilité internationale vis-à-vis des habitants du sous-sol.

Pourtant, pour pouvoir établir les bases requises, il faut pouvoir accéder au sous-sol. Les captages d'eau potable, où l'eau apparaît peuplée de ses habitants, offrent une possibilité de parvenir aux eaux souterraines. Des données ont été relevées dans certaines régions de Suisse pour la première fois en 2019. Des échantillons d'eau brute provenant de 313 chambres de captage du Plateau suisse ont été analysés du point de vue de la présence de stygofaune et les prélèvements ont fait l'objet d'une détermination morphologique et moléculaire (Alther et al. 2020). Il est apparu que, sur plus de la moitié des sites examinés, des organismes appartenant à 18 ordres biologiques étaient présents. Les amphipodes en particulier étaient très fréquents. Au total, 13 espèces différentes de *Niphargus* ont été découvertes, dont quelques-unes non encore décrites. Ces découvertes ont également confirmé la faible distribution de nombreuses espèces, souvent apparemment très spécialisées et issues d'une longue évolution.

Captage d'eau potable équipé d'un filet, permettant de capturer les amphipodes des eaux souterraines. Photo: Nicole Bongni / amphipod.ch

Les espèces souterraines ont une distribution faible, sont très spécialisées et issues d'une longue évolution.



Un sous-sol à protéger

Les grottes permettent un autre accès à la biodiversité souterraine. Ces «portes d'accès» ne sont toutefois pas facilement praticables. Au cours des dernières années, dans le cadre d'un projet de science citoyenne («Citizen Science»), de vastes échantillons d'organismes – en particulier d'amphipodes – ont pu être prélevés dans un certain nombre de grottes. Le projet a mis au jour, par exemple, dans le Hölloch, trois nouvelles espèces d'amphipodes (Fišer et al. 2017). Les espèces *Niphargus styx*, *Niphargus murimali* et *Niphargus muotae* (voir dessin ci-dessus) sont endémiques en Suisse et soulignent l'importance du sous-sol en tant qu'écosystème à protéger. La possibilité de faire encore ces découvertes en Suisse montre à l'évidence que la spéléobiologie fait ici figure de parent pauvre. D'autres pays comme la Slovénie, à vrai dire plus fortement marqués par des régions karstiques, possèdent déjà des groupes de recherche et des chaires d'enseignement dans ce domaine.

Même si les grottes et les captages d'eau potable offrent un accès aux communautés souterraines, les études sont coûteuses et fastidieuses, et les méthodes utilisées ne sont pas quantitatives. Par ailleurs, la détermination morphologique des découvertes requiert un gros travail. Au cours des prochaines années, des méthodes de recensement de la stygofaune au moyen de l'ADN environnemental devraient être développées (p. 17). Un échantillon d'eau devrait alors suffire pour l'étude du sous-sol, ce qui permettrait également de meilleurs relevés quantitatifs. Une meilleure compréhension de la stygofaune et de sa répartition facilitera la protection de cet écosystème et permettra de mieux prendre en considération la sauvegarde de la biodiversité. •

Les espèces d'amphipodes reproduites ci-dessus (de gauche à droite), *Niphargus muotae*, *Niphargus styx* et *Niphargus murimali*, ont été mises en évidence jusqu'à présent que dans le Hölloch (canton de Schwyz). La photo montre des spéléologues de la communauté de travail Hölloch à la recherche d'amphipodes. Illustrations: Cene Fišer/amphipod.ch; Photo: Franz auf der Maur / AGH

ROMAN ALTHER est collaborateur scientifique dans le groupe de recherche Altermatt à l'Eawag; il explore l'écologie et la diversité des amphipodes en Suisse. **FLORIAN ALTERMATT** est professeur d'écologie aquatique à l'Université de Zurich et à l'Eawag. Ses travaux de recherche portent principalement sur la biodiversité et l'écologie, en particulier dans les milieux aquatiques. Contact: **Florian.Altermatt@ieu.uzh.ch**

››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Il était une fois… Gelyella

Pascal Moeschler est conservateur du Muséum d'histoire naturelle de Genève et responsable du Centre chauves-souris (CCO). Sa spécialité? Raconter des histoires complètement nouvelles, surprenantes et fascinantes sur des espèces supposées peu attrayantes ou invisibles. Son interview donne un aperçu de sa philosophie, de ses croyances, de ses recettes et de ses utopies. CORNELIA DE PREUX

HOTSPOT: On ne regarde souvent la biodiversité que par un bout de la lorgnette: en l'évoquant, on pense notamment aux prés fleuris, aux marmottes, à l'aigle ou au loup. Comment expliquer cette perception étriquée?
Pascal Moeschler: Nous les humains, nous construisons la vision de ce qui nous paraît important dans la nature depuis la nuit des temps. Au fil des siècles, s'est ainsi mis en place un bestiaire culturel convenu avec quelques représentants de la faune et de la flore qui jouent les vedettes. Or, l'éventail du vivant est cent fois, mille fois plus vaste que ces animaux monuments, ces plantes emblématiques que nous convoquons et reconvoquons sans cesse. Avec la transition écologique, ces vieux bestiaires ne suffisent plus. Il est urgent de changer de lunettes.

Que proposez-vous pour mieux appréhender la biodiversité et rendre compte de son incroyable richesse?
À l'heure où nous sommes confrontés à la sixième extinction des espèces, le grand défi est de rendre rapidement visibles certains invisibles. Car être invisible, c'est être sans histoires et risquer de disparaître… Il y a quelque 50 000 espèces en Suisse et on communique avec 300-400 d'entre elles. C'est comme si on jouait au piano avec deux notes: avec deux notes, impossible de jouer la symphonie de la biodiversité! Il est urgent d'élargir le répertoire culturel, particulièrement au niveau des petites bêtes invisibles où se joue silencieusement la fonte accélérée de la biomasse et la perte irréversible de toute une partie de la biodiversité fonctionnelle et patrimoniale.

> Les animaux, les plantes vous disent des choses que ne vous disent ni la chimie, la bactériologie ou l'hydrodynamique.

Vous avez mis en lumière le minuscule crustacé *Gelyella monardi* et en avez fait un ambassadeur de la biodiversité, une icône helvétique. Pourquoi avoir choisi Gelyella?
La Gelyella vient pallier l'absence d'animaux emblématiques dans les eaux souterraines de la Suisse. C'est une sorte de fossile vivant qui mesure un tiers de millimètre de long, est anophtalme et appartient à un ordre de crustacés où il n'existe que deux espèces décrites dans le monde, toutes deux endémiques. L'une vit dans les gorges de l'Areuse, à Champ-du-Moulin, dans le canton de Neuchâtel, et l'autre à Saint-Gély-du-Fesc, près de Montpellier, en France. Notre pays a donc une responsabilité particulière par rapport à cette espèce. Une mission pourtant quasiment impossible: le copépode est pratiquement invisible à l'œil nu et évolue dans un milieu tout aussi invisible, les eaux souterraines! Le message de Gelyella est clair: nos aquifères souterrains ne sont pas uniquement des «mines d'eau», mais constituent également le réservoir d'une partie de la biodiversité remarquable et prioritaire de la Suisse. Au même titre que certaines forêts ou marais.

Comment toucher le public, comment gagner les cœurs avec une telle espèce?
Les êtres humains pensent le monde en récits, plutôt qu'en faits, en chiffres ou en équations. Les publications scientifiques ne suffisent pas, il faut des histoires. Les histoires ramènent les hommes aux récits anthropologiques et aux grands mythes fondateurs. L'art et la culture ont le pouvoir de changer notre rapport au vivant. Il nous faut convoquer de nouveaux acteurs dans nos jeux de représentation collective. Une fois formulés, ces indicateurs bio-culturels sont de formidables sémaphores! Les animaux, les plantes vous disent des choses que ne vous disent ni la chimie, la bactériologie ou l'hydrodynamique.

De quelle façon prennent forme ces indicateurs bio-culturels?
Il importe de rassembler un maximum d'informations et de connexions transversales et interdisciplinaires. L'objectif est de susciter de l'intérêt, de trouver des «attracteurs» pour dépeindre l'une ou l'autre espèce, soit d'imaginer des espaces de narration qui font pertinence par inférence, intriguent, provoquent des collisions créatives dans notre cerveau, émeuvent et peuvent servir de ressort dans les récits à faire vivre collectivement. Pour le minicrustacé translucide, j'ai trouvé neuf de ces attracteurs, le plus puissant étant le temps long. Car l'espèce nous entraîne dans une histoire vieille de 20 millions d'années. Tout en restant sur place, la Gelyella a passé de l'eau de mer à l'eau douce, résisté aux glaciations, et traversé toute cette colonne de temps, pour rencontrer les humains il y a 150 ans environ.

Comment se nourrit et se développe le récit autour d'une espèce?
Une fois l'animal décrit scientifiquement, on l'équipe de représentations qui s'enrichissent et se consolident mutuellement au fil des recherches, des rencontres et des partenariats. La Gelyella biologique devient un petit monde culturel en soi. Elle se développe dans Internet et les réseaux sociaux, intéresse l'administration, est associée à un projet de montre à Baselworld, intervient dans un roman policier. Elle donne lieu à une exposition, un conte écologique, un parcours vélo, des objets, une gourde SIGG, un couteau de poche, un calepin. Il faut raconter de manière différente selon le public auquel on s'adresse ou les supports de communication utilisés. On voit émerger une diversité de récits. Il est possible de doter d'une vie culturelle quasiment n'importe quelle bestiole ou plante. Si on a 50 000 espèces, on aura 50 000 start-ups, 50 000 histoires.

L'Expo Gelyella s'inscrit dans un projet national développé par Pascal Moeschler à la demande du Muséum d'histoire naturelle de Genève et en collaboration avec le Centre suisse d'information sur les espèces (InfoSpecies). Il a découvert le copépode endémique Gelyella dans divers canaux souterrains du Jura neuchâtelois. Les photos proviennent d'un des reportages menés pour le livre *Arten vor dem Aus* (p. 31). Photos: Tomas Wüthrich, www.tomaswuethrich.ch

Vous dites qu'il n'existe pas une seule recette. Pouvez-vous développer?
Face à la crise de la biodiversité, il s'agit de varier les approches, de sortir des sentiers battus. Pour les chauves-souris, j'ai été en contact avec 90 professions différentes: hauts responsables de l'armée, des ponts et chaussées, représentants des églises, menuisiers… Pour la Gelyella aussi, il a fallu partir de zéro et faire appel à l'esprit d'innovation. Selon les hasards, les opportunités, l'ontologie du projet, se déclenchent des effets de boule de neige susceptibles de prendre des directions imprévues. Tous ces projets ont cependant un trait en commun: ils périssent si d'autres personnes ne s'en emparent pas. Il faut transmettre des savoirs scientifiques, mais aussi de la liberté ainsi qu'un souffle de fierté. «On ne peut protéger que ce que l'on aime», disait le fameux paléontologue S. J. Gould. Je vous assure que beaucoup de personnes se sont mises à «aimer» Gelyella dans le canton de Neuchâtel!

L'art et la culture ont le pouvoir de changer notre rapport au vivant.

Cela semble incroyablement novateur. Quel rôle pourrait, selon vous, jouer la Suisse pour promouvoir et préserver la biodiversité?
La Suisse pourrait relayer certaines de ces nouvelles histoires naturelles locales, mais pas en donnant la leçon, en semant l'espoir. Elle pourrait faire du site de la Gelyella à Champ-du Moulin l'un des premiers sites Ramsar pour les eaux souterraines en Europe et dans le monde. J'espère que notre pays sera un jour en responsabilité de création, de proposition, d'inspiration et d'excellence par rapport à la biodiversité telle que nous devons l'appréhender aujourd'hui, de manière large et globale. En somme, qu'il fera pour cette dernière ce qu'il a accompli avec audace pour les oiseaux ou avec la création du Parc national suisse à la fin du XIXe siècle.

Avez-vous d'autres rêves, de nouveaux projets?
Faire du souci pour la biodiversité un label de qualité incontournable pour le développement de toute nouvelle production d'énergies vertes. Reconduire l'événement «La nuit est belle!», qui a vu s'éteindre l'éclairage public dans plus de 150 communes du Grand Genève le 26 septembre 2019, sur l'ensemble de l'arc lémanique, et pourquoi pas toute la Suisse. Ou encore sortir de l'ombre un autre crustacé endémique étonnant, le *Stygepactophanes jurassicus*, qu'on trouve dans une source au cœur de Delémont. Mais mon utopie la plus profonde s'adresse aux musées d'histoire naturelle. En plus de leurs activités traditionnelles, pourquoi ne pas en faire aussi des incubateurs, des laboratoires destinés à faire naître et décoller des idées et projets comme ceux dont nous avons parlé? Leur expérience unique entre science, nature et culture, agrémentée d'une volonté d'engagement créatif et vertueux innovant, apporterait beaucoup à la Suisse sociale, écologique et solidaire de demain en ces temps de l'anthropocène. •

CORNÉLIA DE PREUX est écrivaine et journaliste spécialisée dans le domaine de l'environnement..

La diversité cachée des poissons suisses

La diversité des espèces de poissons en Suisse a longtemps été complètement sous-estimée. Elle est en fait bien plus grande et comprend plusieurs niveaux interconnectés. Bien que la connaissance de la diversité et de la taxonomie des poissons suisses se soit considérablement améliorée au cours de la dernière décennie, elle continuera à se développer rapidement dans les années à venir.

JAKOB BRODERSEN ET OLE SEEHAUSEN

Lorsque les grands glaciers de la dernière période glaciaire se sont retirés du Plateau et des Préalpes, des rivières émergèrent de dessous la glace; les creux et dépressions dans le paysage se remplirent d'eau et se transformèrent en lacs. Ces régions avaient été dépourvues de poissons pendant environ 20 000 ans. C'est seulement au terme de la glaciation du Würm, il y a quelque 18 000 ans, que les choses changèrent.

Cela signifie que la biodiversité piscicole actuelle de la Suisse a disposé de relativement peu de temps, si on la mesure sur une échelle géologique ou évolutionnaire, pour recoloniser ce territoire à partir de refuges souvent distants, et pour s'adapter et se diversifier en Suisse. Pourtant, la Suisse est un haut lieu de biodiversité piscicole en Europe, ce qui s'explique en partie par le fait que les sources de plusieurs bassins fluviaux européens majeurs se situent en Suisse, la connectant ainsi avec divers refuges distants en plaine – et aussi en partie par le fait que le pays possède des habitats aquatiques uniques et variés.

On doit toujours être prêt à rencontrer des espèces qui ne sont pas attendues dans une zone particulière.

En dépit du travail pionnier et précoce accompli au sujet de la diversité piscicole de la Suisse, en particulier par Paul Steinmann au milieu du XXe siècle, une bonne partie de cette diversité fut par la suite oubliée, mal interprétée ou non décrite. Cependant, l'intérêt de la science s'est intensifié au cours des 15 dernières années, associant des méthodes classiques et modernes en écologie, taxonomie et génétique moléculaire et en intégrant la recherche taxonomique et biodiversitaire à la biologie de l'évolution. Ce regain d'intérêt révèle un tableau plus nuancé de la diversité piscicole spectaculaire des milieux aquatiques suisses.

Une biodiversité insoupçonnée en Europe

Chez la plupart des genres de poissons, des lignées évolutives profondément divergentes occupent les divers grands bassins versants européens: Pô, Rhône, Rhin et Danube. Ces lignées sont séparées depuis des centaines de milliers, voire plusieurs millions d'années et se sont tellement éloignées les unes des autres qu'elles sont devenues des espèces distinctes. Pourtant, la reconnaissance de ces espèces s'avéra lente, en grande partie parce que l'ichthyologie moderne des XXe et XXIe siècles était préoccupée par l'étude de la diversité piscicole dans des zones présumées moins bien étudiées de la planète, alors que l'ichthyologie européenne demeurait au stade de la science du XIXe siècle. Bon nombre des espèces isolées ne furent décrites ou revalidées qu'au cours des dernières décennies, et certaines sont restées non décrites jusqu'à ce jour.

Même une fois que les espèces sont décrites ou revalidées par des systématiciens, il faut encore en général plusieurs décennies pour que des révisions taxonomiques soient adoptées. L'étude de la faune piscicole suisse est particulièrement affectée par l'hétérogénéité des connaissances qui en résulte, car un grand nombre de systèmes fluviaux européens se rejoignent ici. Il y a dix ans seulement, on supposait que les mêmes espèces se répandaient dans un même bassin versant et, par conséquent, on ne dénombrait pour la Suisse qu'une cinquantaine d'espèces indigènes.

Le carrefour helvétique

La vitesse à laquelle la véritable diversité des espèces est apparue varie d'un groupe à l'autre, soit en fonction de la variation de l'intérêt économique ou public, soit en fonction de la facilité de dégager des différences phénotypiques caractéristiques. Par exemple, les espèces de barbes et de truites ont progressé plus rapidement (quoiqu'une riche diversité soit encore méconnue chez les truites), alors que de nouvelles espèces de vairons et de loches viennent seulement d'être découvertes.

Des études menées sur un large éventail de genres de poissons en Suisse commencent à révéler une grande diversité spécifique dans des groupes de petits poissons jusque-là totalement ignorés. Si l'on considère les études phylogéographiques et taxonomiques menées dans toute l'Europe sur ces groupes, ainsi que les données recueillies dans toute la Suisse, combinant les code-barres ADN, les phénotypes et les microsatellites ADN ou PSN (polymorphisme d'un seul nucléotide) de nombreux individus, il devient évident que la diversité des espèces de ces genres en Suisse doit être beaucoup plus élevée qu'on ne le supposait jusqu'ici.

C'est notamment le cas de petits poissons, commercialement insignifiants, comme les vairons et les loches. Chez les vairons *(Phoxinus* spp.), on supposait précédemment que le vairon commun *(Phoxinus phoxinus)* était présent en Suisse au nord des Alpes et que *Phoxinus lumaireul* vivait au sud des Alpes. Après le codage de centaines d'individus répartis sur l'ensemble de la Suisse, aucun vairon commun n'a encore été observé. En revanche, plusieurs autres espèces distinctes ont été identifiées, que l'on ne connaissait auparavant qu'en France méridionale et dans le bassin du Danube. Comme les espèces orientales (Danube) et occidentales (Rhône) se retrouvent en Suisse, la richesse spécifique y est particulièrement élevée. Cet exemple est représentatif de nombreux autres cas.

Fausses déterminations

Notre compréhension de la diversité et de sa répartition dépend fortement de notre aptitude à identifier les espèces sur le terrain.

Phénotypes de rotengle *(Scardinius erythrophthalmus:* les deux poissons du haut) et de scardole *(Scardinius hesperidicus:* les deux poissons du bas). Les rotengles présentent à l'évidence des nageoires rouges, la scardole au contraire, des nageoires brun foncé. Source: Projet Lac & Progetto Fiumi

Les espèces dont la présence n'est pas soupçonnée dans un lac ou une rivière peuvent être facilement prises pour des variantes locales d'espèces proches escomptées sur un site donné. Nous avons enregistré plusieurs cas de ce type ces dernières années, grâce à une attention particulière portée à la taxonomie phénotypique et à la vérification par codage à barres de l'ADN. Le rotengle *(Scardinius erythrophthalmus),* par exemple, est répandu et bien connu (et donc escompté) dans la plupart des régions situées au nord des Alpes, alors que son homologue italien *(Scardinius hesperidicus)* est beaucoup moins connu et n'a été observé qu'au sud des Alpes (et sa présence n'est donc pas escomptée au nord des Alpes). Ces deux espèces sont nettement distinctes sur le plan phénotypique (voir photo), le rotengle adulte présentant, par exemple, des nageoires rouges tandis qu'elles sont brun foncé chez l'espèce italienne. Malgré les observations relativement fréquentes de rotengles à nageoires brun foncé dans plusieurs lacs du Plateau suisse, personne n'a imaginé la possibilité que l'espèce italienne soit présente au nord des Alpes avant que le Projet Lac n'ait documenté sa présence dans les lacs septentrionaux. Il apparaît que les habitants de ces régions, y compris les ichtyobiologistes, étaient totalement inconscients de l'existence et des caractéristiques du rotengle italien et considéraient simplement ces individus à nageoires brunes comme une variante locale du rotengle.

Cet exemple nous rappelle que la recherche locale sur la biodiversité doit toujours garder à l'esprit la situation globale. Cela signifie que l'on doit toujours être prêt à rencontrer des espèces qui ne sont pas attendues dans une zone particulière. Bien que ce soit une pratique courante chez les ornithologues, c'est nettement moins souvent le cas chez la plupart des personnes qui s'intéressent aux poissons.

Radiations post-glaciaires

Les exemples mentionnés ci-dessus concernent des espèces négligées qui ont longtemps été des espèces distinctes en Europe. Bien que les populations de poissons en Suisse n'aient eu qu'une période d'évolution relativement brève à leur disposition après le retrait des glaciers, plusieurs nouvelles espèces se sont développées depuis la fin de la dernière période glaciaire. Exemple notable: les radiations évolutives répétées du corégone *(Coregonus* spp.) à partir d'un ancêtre commun qui aboutirent à quelque 40 espèces différentes, dont plusieurs se sont à nouveau éteintes lors de l'eutrophisation généralisée des lacs par les activités humaines au XXe siècle. Ces radiations ont entraîné le développement d'une grande diversité d'espèces dans des lacs aux conditions écologiques légèrement différentes, bien que le nombre et les caractéristiques de ces espèces varient légèrement d'un lac à l'autre.

Nous pensons qu'un phénomène similaire a pu affecter d'autres groupes de poissons. Un candidat très plausible est l'omble chevalier (complexe *Salvelinus umbla):* certaines espèces ont déjà été décrites, mais on soupçonne une diversité beaucoup plus grande, qui doit être étudiée et décrite plus en détail.

Diversité génétique intraspécifique

Un élément important de la biodiversité globale est la diversité intraspécifique. Une grande partie de cette diversité est invisible à l'œil nu et dépend de variations génétiques qui provoquent des

Six espèces de corégone du lac des Quatre-Cantons, occupant des niches écologiques différentes dans le lac. De haut en bas: felchen d'Alpnach (*Coregonus* sp. «Alpnacherfelchen»); balchen *(Coregonus* sp. «Bodenbalchen»); albeli *(Coregonus zugensis);* edelfisch *(Coregonus nobilis);* benthischer schwebbalchen *(Coregonus* sp. *benthic intermediate);* offenwasser schwebbalchen (*Coregonus* sp. *pelagic intermediate).* Source: Oliver Selz, Eawag

différences entre les individus, par exemple dans les processus physiologiques. Cela permet aux populations de s'adapter localement aux conditions environnementales spécifiques de l'endroit où elles vivent, comme on a pu le constater chez des truites vivant le long d'un gradient altitudinal: certaines variantes génétiques tendent à être observées plus souvent à haute altitude, illustrant probablement l'adaptation des truites à de grandes différences dans la température des eaux.

La diversité des génotypes au sein des populations est également une assurance de survie à long terme, car elle permet de s'adapter à des conditions environnementales en constante évolution. La conservation de la variation génétique intraspécifique au sein des populations et entre celles-ci revêt une importance capitale pour le maintien de la diversité spécifique dans un avenir où les changements écologiques poseront rapidement de nouveaux défis environnementaux aux populations de poissons.

Besoin de recherche

Une bonne partie de la diversité de l'ichtyofaune suisse nous échappe encore. Des études récentes dans des lacs et des rivières ont révélé une riche diversité à plusieurs niveaux, qu'il reste à décrire. Il s'agit notamment d'un omble nain à grands yeux que l'on trouve dans les eaux profondes du lac de Walenstadt, de populations génétiquement uniques de truites sans taches dans les cours d'eau du canton de Vaud et de silures génétiquement distincts dans la Singine. Grâce à la nouvelle prise de conscience de la biodiversité, nous sommes à l'aube de nombreuses nouvelles découvertes passionnantes dans le domaine de la diversité des poissons suisses. En même temps, nous sommes malheureusement à la croisée des chemins, car une grande partie de cette diversité est en train de disparaître avant même que nous puissions la documenter.

Dans l'ensemble, on peut dire que la diversité des poissons en Suisse est beaucoup plus grande qu'il n'y paraît et qu'elle englobe plusieurs niveaux interconnectés. Cette diversité va au-delà de ce qu'un seul expert peut déchiffrer en une vie. Mais sa partie inconnue doit également être protégée. Le Louvre à Paris abrite plus de 380 000 œuvres d'art, dont 75 000 sont des peintures. Toutes ces œuvres d'art représentent ensemble un tableau impressionnant de l'histoire de l'humanité, et personne ne pourra jamais en avoir une vision complète. La plupart des gens ne peuvent probablement nommer que la Joconde, la Vénus de Milo et une poignée d'autres œuvres qui attirent le public en masse au musée. Il en va de même pour les poissons de Suisse. Les espèces les plus connues sont celles qui sont pertinentes pour la pêche. Mais c'est toute la diversité à tous les niveaux qui contribue à la fascinante histoire naturelle et à la dynamique de la vie. •

Depuis que la science étudie les poissons en Suisse de manière plus intensive et avec des méthodes modernes, une image de plus en plus détaillée de la spectaculaire diversité des eaux suisses est apparue.

JAKOB BRODERSEN est chercheur à l'EAWAG et dirige le groupe d'écologie des poissons de rivière au sein du département d'écologie et d'évolution des poissons. **OLE SEEHAUSEN** dirige le département Écologie et évolution des poissons de l'EAWAG. Il est également professeur d'écologie aquatique à l'Université de Berne et co-directeur de l'Institut de zoologie de l'Université de Berne. Contact **Jakob.Brodersen@eawag.ch, Ole.Seehausen@eawag.ch** >>> Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

L'ADN environnemental révèle la diversité cachée des écosystèmes fluviaux

Le monitoring de la biodiversité est fondamental pour la compréhension et la conservation des écosystèmes. Des méthodes nouvelles, en particulier l'analyse de l'ADN environnemental, permettent une détection sans précédent d'espèces rares ou inaccessibles et l'identification de la biodiversité cachée. LUCA CARRARO, FLORIAN ALTERMATT ET ROSETTA C. BLACKMAN

Les études sur la biodiversité des écosystèmes dulçaquicoles mettent souvent l'accent sur quelques groupes d'organismes, tels que poissons, macro-invertébrés ou diatomées, et se fondent en général sur leur observation directe. Toutefois, ces approches occultent une grande partie de la diversité, notamment les microbes et les organismes difficiles à identifier.

Aare renaturée à hauteur de Brugg. À droite: Prélèvement d'un échantillon d'eau pour la détermination de l'ADN environnemental. Photos: Gregor Klaus; Florian Altermatt

Les récents développements de l'écologie moléculaire ont provoqué une révolution en matière de détection de la diversité cachée. L'ADN environnemental (ADNe) est censé changer la donne au niveau du monitorage de la biodiversité (Lawson-Handley 2015; Deiner et al. 2017). Un échantillon d'ADNe peut être prélevé dans l'eau, le sol ou l'air. L'ADN extrait de l'échantillon est une combinaison d'ADN excrété (peau, mucus, excréments et urine) et d'organismes entiers (microbes, p. ex.). L'ADN extrait est amplifié et séquencé, puis les séquences sont appariées à une base de données de référence, afin de permettre l'identification des organismes présents dans l'échantillon. Cette méthode d'échantillonnage est à la fois non invasive et parfaitement modulable (Altermatt et al. 2020), offrant ainsi la possibilité de détecter une biodiversité nouvelle et cachée qui n'aurait peut-être pas été détectable précédemment, ou sur des sites rarement soumis à un monitorage.

En collectant des échantillons d'ADNe, il est possible de rechercher une espèce particulière (détection spécifique). C'est utile dans la détection d'espèces non indigènes en passe d'être envahissantes mais encore présentes à faible densité, par le biais du monitorage du parcours suivi (eaux de ballast, p. ex.). Les échantillons d'ADNe permettent également d'observer des communautés spécifiques entières au travers de l'arbre du vivant (Altermatt et al. 2020). Cette approche, connue sous le nom de «metabarcoding», est particulièrement apte à détecter la biodiversité cachée d'espèces précédemment ignorées par les outils traditionnels (Blackman et al. 2017).

Autre aspect révolutionnaire des échantillons d'ADNe collectés dans les cours d'eau: un échantillon local d'eau permet de déduire des informations sur la biodiversité située en amont dans le bassin versant (Deiner et al. 2016). Comme l'ADN est transporté par le courant (Deiner & Altermatt, 2014), il est soumis à des processus de dégradation (Barnes et al. 2015). Par conséquent, ces données sur l'ADNe ne permettent pas une mesure directe de la biodiversité locale, mais elles contiennent des informations sur la présence d'espèces provenant de sites en amont. Le couplage de cette information avec un modèle mathématique basé sur des principes hydrologiques fondamentaux permet de reconstituer la répartition spatiale des taxons dans le réseau fluvial (Carraro et al. 2018) et d'en dériver des cartes de biodiversité d'une résolution spatiale inédite pour des bassins versants entiers. Ces cartes basées sur des modèles peuvent révéler des hauts lieux de biodiversité cachée et faciliter l'étude d'une biodiversité sinon inexplorée. •

LUCA CARRARO et **ROSETTA C. BLACKMAN** sont écologues aquatiques et travaillent à titre de chercheurs postdoctorants au laboratoire Altermatt, à l'Université de Zurich et à l'Eawag. Leurs travaux portent sur la modélisation de processus écologiques dans le temps et l'espace dans les réseaux fluviaux, et tout particulièrement sur les évaluations de la biodiversité basées sur l'ADNe. **FLORIAN ALTERMATT** est professeur d'écologie aquatique à l'Université de Zurich et à l'Eawag. Ses travaux de recherche se concentrent sur la biodiversité et l'écologie dans les cours d'eau. Contact **Florian.Altermatt@ieu.uzh.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Biocénoses invisibles dans les aliments fermentés

Le fromage, la choucroute et bien d'autres aliments sont produits à l'aide de certains microorganismes, qui revêtent une importance primordiale pour la diversité et l'authenticité des aliments. Ces communautés microbiennes sont toutefois encore très peu explorées.

ELISABETH EUGSTER, DANIEL HEINE ET CARLOTTA SARTORI

Environ un tiers des aliments que nous consommons chaque jour sont le fruit d'une fermentation (Xiang et al. 2019). Il s'agit de produits uniques et naturels, issus d'une longue tradition, comme le fromage ou la choucroute. La fabrication nécessite des matières premières fraîches et de très grande qualité, un savoir fondé ainsi que la maîtrise des processus de fermentation avec les microorganismes. Durant leur élaboration se déroulent une multitude de processus microbiens et biochimiques, qui rendent l'aliment sûr et durable et assurent son arôme incomparable, son aspect et sa valeur nutritive. Un grand nombre d'auxiliaires invisibles prennent part à ces processus.

Le microbiome des aliments fermentés consiste en communautés microbiennes de différentes espèces, actives à des moments différents et uniques en leur genre, selon leur habitat, au niveau de leur présence et de leur interaction. Tandis que, dans la choucroute, ce sont surtout les bactéries lactiques hétérofermentaires et homofermentaires qui interagissent (Zabat et al. 2018), le microbiome du fromage est plus varié et déterminé en plus par des moisissures, des levures, des bactéries acétiques et d'autres types de bactéries (Wolfe et Dutton 2015). Dans le seul lait cru, plus de 400 types différents de bactéries ont été identifiés (Quigley et al. 2013). Pour pouvoir étudier de plus près ces communautés microbiennes et leurs interactions complexes dans leur écosystème (Konopka 2009), il faut l'analyse séquentielle du patrimoine génétique des micro-organismes (Bokulich et Mills 2012). À cet égard, des microorganismes non cultivables sont également recensés. En plus du séquençage génomique des microorganismes présents, ces méthodes permettent également d'identifier les gènes réellement actifs. Il est ainsi possible d'établir aussi une caractérisation fonctionnelle du microbiome de l'aliment fermenté (Yeluri Jonnala et al. 2018).

Une analyse de l'ensemble de l'information génomique dans un fromage au lait cru de 90 jours a révélé une diversité surprenante de bactéries. Outre les bactéries lactiques connues, telles que *Lactobacillus, Streptococcus* ou *Brevibacterium,* provenant du lait cru ou de la fromagerie, ou ajoutées en guise de culture supplémentaire ou de démarreur de fermentation, l'analyse a mis au jour toute une série de bactéries inattendues mais taxonomiquement connues *(Weissella* ou *Rhodococcus*, p. ex.). De nombreuses séquences génétiques n'ont toutefois pas pu être affectées à un genre de bactéries (Bär et al. 2016). Les communautés microbiennes du fromage au lait cru ne sont donc pas seulement invisibles et très variées, elles sont aussi parfois encore inconnues.

D'autres méthodes et analyses s'imposent pour mieux comprendre, préserver et déterminer la biodiversité microbienne et l'influence des microorganismes sur les processus de fermentation ainsi que la qualité des aliments fermentés (Schmidt et al. 2019; Worrich et al. 2019). En fin de compte, une grande biodiversité microbienne contribue à la différenciation et à l'authenticité de nombreux aliments fermentés auxquels nous ne voulons pas renoncer dans notre alimentation (Kohn et Eugster 2014). •

La biodiversité microbienne génère des aliments fermentés uniques. Ici, du fromage au lait cru. Photo Switzerland Cheese Marketing SCM

Une grande biodiversité microbienne contribue à la différenciation et à l'authenticité de nombreux aliments fermentés auxquels nous ne voulons pas renoncer dans notre alimentation.

ELISABETH EUGSTER, CARLOTTA SARTORI et **DANIEL HEINE** travaillent dans l'enseignement et la recherche agro-alimentaire de la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires de la HES de Berne à Zollikofen. Ils participent à plusieurs projets relatifs aux processus de fermentation ainsi qu'aux interactions microbiennes dans les aliments fermentés. Contact: **elisabeth.eugster@bfh.ch** >>> Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Écouter la biodiversité

Les espèces animales qui vivent cachées ne sont guère visibles, même si elles ne sont pas microscopiques. Bon nombre d'entre elles émettent des sons; ainsi, leur présence peut être acoustiquement attestée dans une certaine zone. L'analyse des enregistrements ne révèle toutefois pas seulement la présence des espèces, mais elle permet aussi de découvrir leur vie. STEFAN SUTER

Beaucoup d'espèces animales produisent des sons pour communiquer. Il est possible de les utiliser pour distinguer les espèces de parents proches et d'espèces similaires ou tout simplement pour attester leur présence. Chez certains groupes d'animaux volubiles, l'enregistrement acoustique convient particulièrement bien (oiseaux, grenouilles, sauterelles, cigales et baleines, p. ex.).

Certaines espèces sont difficilement visibles, car elles vivent soit dans le secret, soit principalement la nuit. Ces deux aspects s'appliquent aux chauves-souris. Ces chasseurs nocturnes discrets s'orientent en fonction des ultrasons et trouvent ainsi leur proie. Des capteurs, capables de détecter des sons de haute fréquence, permettent de déterminer les espèces. La bioacoustique est aussi utilisée pour le monitorage des éléphants de forêt, difficiles à trouver malgré leur taille. Les éléphants communiquent entre eux à très basse fréquence (infrasons) et sur de grandes distances. Les basses fréquences sont moins atténuées par la dispersion et l'absorption et se diffusent ainsi loin dans l'espace.

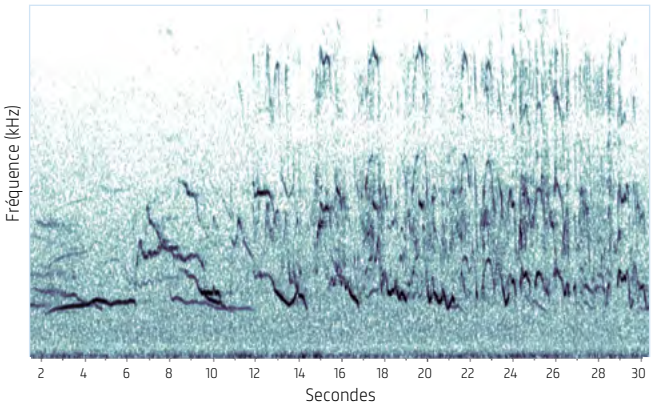
Chaque paysage possède, en fonction de sa biodiversité, un registre de sons qui peut fortement varier au fil des jours et des années. L'écologie du paysage sonore analyse cet ensemble de sons et ses composantes dans plusieurs régions de Suisse. Depuis quelques années, une voix marquante s'est ajoutée au paysage, celle du loup. Les loups communiquent entre eux par des hurlements sur de grandes distances. Dans de nombreux pays, le monitorage des loups s'effectue à l'aide de ce que l'on appelle les hurlements provoqués. Cette méthode consiste à se rendre sur des secteurs exposés dans la région habitée par le loup, et à hurler la nuit ou à diffuser des hurlements de loups enregistrés. Les loups répondent parfois (mais pas dans tous les cas) à un hurlement provoqué.

Si des meutes de loups sont établies dans une zone, il est également possible de le constater passivement à l'aide d'enregistreurs (voir photo). Les enregistrements sont effectués numériquement sur des cartes. Dans une région boisée sans obstacle topographique, et en cas d'absence de vent, les hurlements peuvent être enregistrés dans une bonne qualité jusqu'à une distance de trois kilomètres. Le principal avantage de l'enregistrement acoustique passif réside dans le fait qu'il ne dérange pas les loups. Autre avantage: l'enregistrement simultané sur des sites différents et parfois difficiles d'accès sur une période prolongée.

L'intelligence artificielle et l'apprentissage mécanique offrent de nouvelles possibilités concernant le traitement de données bioacoustiques. Des programmes bien rodés peuvent, par exemple, identifier des hurlements de loups dans des enregistrements de longue durée, ce qui réduit sensiblement la durée de l'analyse. Un enregistrement de hurlements est riche en informations, susceptibles d'être utilisées pour le monitorage et donc la gestion des loups (voir graphique). Il est possible, par exemple, d'examiner si des loups sont présents dans une zone, de combien de membres la meute se compose et s'ils se reproduisent.

Exemples de hurlements de loups en Suisse (TI, VD, VS):
https://wls.ch > Projets > Monitoring acoustique du loup

STEFAN SUTER est propriétaire et gérant de la société WildLife Solutions (WLS.CH); il enseigne à l'Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW), à Wädenswil. Ses travaux se concentrent sur le développement de nouvelles méthodes de monitorage de la faune sauvage ainsi que l'utilisation des technologies et des procédés les plus modernes pour l'amélioration constante de ces méthodes. Contact:
stefan.suter@zhaw.ch ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**



La photo de gauche montre un enregistreur équipé d'un microphone externe, capable d'enregistrer pendant plusieurs semaines. À droite, reproduction graphique de plusieurs fréquences (spectrogramme). L'abscisse indique le temps en secondes et l'ordonnée, les fréquences en kilohertz. Le volume des fréquences est indiqué par des couleurs: plus la couleur est foncée, plus la fréquence est haute. L'enregistrement porte sur les hurlements de loups au Tessin. Les trois fréquences différentes à la seconde 10 suggèrent que la meute se compose d'au moins trois adultes. Certaines hautes fréquences à partir de la seconde 12 indiquent des hurlements de louveteaux et donc la bonne reproduction de la meute. Photos Stefan Suter

Pourquoi nous ne percevons pas toutes les espèces

La perception des espèces dans la nature dépend fortement des espèces déjà rencontrées et avec lesquelles nous avons déjà vécu quelque chose. Par ailleurs, nous devons aussi identifier les caractéristiques permettant de distinguer les espèces les unes des autres. Étonnamment, les enfants connaissent déjà bon nombre de ces caractéristiques, mais souvent pas celles utilisées par les outils de détermination. BARBARA JAUN-HOLDEREGGER

L'observation d'un merle nourrissant ses petits, l'admiration de la forme d'une orchidée, le plaisir de toucher du lichen – pour beaucoup ce sont des expériences connues et appréciées. Le contact quotidien des enfants avec la nature ne cesse toutefois de décroître depuis des décennies, et donc aussi les chances d'un lien émotionnel avec la nature. De plus en plus souvent, le premier contact avec des plantes et des animaux s'effectue par le truchement d'un média, alors que les contacts originaux se raréfient. La rencontre passive d'espèces par le biais des médias ne suscite guère davantage de curiosité chez les enfants ni le désir de découvrir activement des êtres vivants, ce qui est une condition préalable à l'identification des espèces et à la reconnaissance de la biodiversité (Eberbach et Crowley 2009).

La perception d'un organisme dépend en premier lieu de lui-même. Souvent, les plantes ne sont pas perçues spécifiquement, mais constituent un fond vert. Cela tient au fait que l'œil humain non initié ne peut guère saisir les subtiles différences entre divers individus ou espèces, si les plantes n'ont pas de fleurs ou n'ont que des fleurs discrètes, ce qui est le cas pour beaucoup de végétaux sauvages. Manque aussi l'instant du mouvement, qui permettrait à certaines plantes de se démarquer de la masse verte (Wandersee et Schussler 2001). Beaucoup de gens souffrent donc de «cécité végétale».

La perception des animaux dépend également de leur visibilité ainsi que de leur proximité systématique: les mammifères sont mieux perçus que d'autres vertébrés et ceux-ci, mieux que les invertébrés. Au contraire des mammifères «charismatiques», les invertébrés suscitent en outre souvent la répugnance ou le dégoût – mais pas toujours: les papillons, par exemple, sont considérés comme des êtres inspirants et dignes de confiance (Breuer et al. 2015).

> **«J'ai découvert le lichen. Au début, je pensais que c'était du chewing-gum.»**
>
> Déclaration d'un jeune de 12 ans après l'exploration d'un mur de pierres

Peu d'études ont été menées jusqu'à présent sur la manière dont les humains (et surtout les enfants) identifiaient les plantes et les animaux, Dans une étude menée dans le canton de Berne (Jaun-Holderegger et al. 2020, en prép.), des élèves du niveau intermédiaire ont joué le rôle d'animateurs de radio. Ils avaient pour mission de décrire à un public imaginaire deux espèces connues et deux espèces inconnues de la plupart, sous la forme de «réflexions à voix haute». Les quatre espèces étaient la fraise des bois, la pipistrelle commune, le géranium Herbe à Robert et le carabe coriacé. Les enfants ont eu plaisir à remplir leur mission et fait preuve de bravoure. Que l'espèce ait été connue ou non, ils ont décrit en détail quatre à six éléments de la plante et même huit à neuf parties du corps des animaux. Concernant la description des plantes, la tige et les feuilles étaient beaucoup plus souvent mises en avant que les fleurs, ce qui donne à réfléchir car, pour les profanes, la plupart des clés de détermination sont axées sur la couleur des fleurs. Chez les animaux, c'est surtout l'aspect général (taille et couleur) que les enfants remarquaient en premier, et non les aspects scientifiques tels que la structure du corps chez l'insecte. Il est intéressant de noter que les enfants ayant une meilleure connaissance des animaux désignaient davantage de caractéristiques.

> **«Si on connaît le nom, c'est parfait. Après, on sait à quoi ça sert et si on peut manger le fruit. C'est important pour moi de savoir si c'est toxique.»**
>
> Fille, 10 ans

La plupart des enfants jugeaient important l'acquisition de connaissances sur les espèces, qu'ils considéraient comme faisant partie de la culture générale (voir citations). Ils le faisaient moins sur la base d'arguments écologiques qu'en termes de toxicité et de comestibilité. D'autres questions posées aux élèves montrèrent que la connaissance des espèces était surtout transmise dans la famille et non à l'école. En période de déclin de la biodiversité et de diminution des contacts avec la nature chez les enfants, les résultats soulignent l'importance de cet apprentissage à l'école. •

BARBARA JAUN-HOLDEREGGER enseigne la matière Nature, homme et société à la Haute école pédagogique de Berne. Sa thèse de doctorat portait sur la connaissance des espèces et l'apprentissage de la nature par des élèves de niveau intermédiaire. Elle s'intéresse tout particulièrement à l'initiation à la biodiversité au niveau primaire et à la perception multidimensionnelle de la biodiversité. Contact: **barbara.jaun@phbern.ch**

›› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

À la découverte de la biodiversité: huit exemples

La biodiversité se dissimule parfois très bien. À l'aide de méthodes modernes, par hasard ou au prix d'une observation attentive, les chercheurs découvrent toutefois constamment des espèces jusque-là inconnues, comme le montrent les exemples suivants.

Le secret du rocher tacheté

Plus de 3000 espèces de lichen sont connues dans l'Arc alpin. Le groupe le plus riche en espèces appartient aux lichens crustacés pétricoles, qui recouvrent les parois rocheuses et les éboulis de montagne et confèrent ainsi aux paysages alpins leurs couleurs spécifiques. Parmi les espèces les plus discrètes, peuvent prospérer sur un bloc rocheux des dizaines d'espèces d'à peine un centimètre, que l'on peut distinguer sur le terrain à partir des teintes grises et brunes finement nuancées ainsi que des formes de leurs fructifications.

Les lichens donnent leur patine spécifique aux surfaces rocheuses. Photo: Christoph Scheidegger

En février 2020, pendant une promenade sur le col du Julier, j'ai découvert parmi les *Ophioparma ventosa,* bien visibles, et les *Calvitimela aglaea,* de petits individus d'une couleur allant du sable au saumon, aux fructifications alvéolées gris mat. *Ingvariella bispora,* telle était mon hypothèse. C'était une espèce que j'avais souvent rencontrée précédemment dans le Bassin méditerranéen, mais encore inconnue en Suisse. Au cours du week-end de la Pentecôte 2020, armé d'un marteau et d'un ciseau, j'ai pu prélever un petit échantillon. La vérification microscopique des spores a confirmé mes suppositions sur le terrain. Le bloc rocheux de serpentinite se trouve sans doute à cet endroit depuis le retrait des glaciers, et les lichens l'ont colonisé depuis lors. Cette perle du col du Julier était tout simplement demeurée cachée jusque-là. C'est un des rares sites connus de cette espèce dans les Alpes. •

CHRISTOPH SCHEIDEGGER, Institut fédéral de recherche WSL, Swiss Lichens, **christoph.scheidegger@wsl.ch**

Les organes de copulation révèlent la diversité des araignées

Ma première découverte a eu lieu dans les Alpes suisses. Déjà à l'époque, je m'intéressais tout particulièrement aux Erigoninae Emerton, un des groupes d'araignées les plus riches en espèces et les plus délicats morphologiquement. Les chordes dorsales de ce petit mâle de 2 mm sont exceptionnelles. Lors de la détermination de milliers d'araignées, un exemplaire se fit remarquer. Son «cou» était un peu plus gros que chez ses congénères présumés. L'étude des organes de copulation typiques de cette espèce révéla en fin de compte de nombreuses autres différences. Génial, une espèce nouvelle! Nous découvrîmes d'autres mâles et leurs femelles dans d'autres échantillons et sur le site à l'occasion d'une recherche complémentaire. Comment donc *Caracladus zamoniensis* avait-il pu être ignoré aussi longtemps? Le matériel des musées des cinq dernières années révéla que cette nouvelle espèce avait déjà souvent été collectée. En raison de sa chorde dorsale apparemment unique en son genre, personne n'avait toutefois étudié de près ses organes de copulation.

L'espèce d'araignées récemment découverte *Caracladus zamoniensis* appartient aux Erigoninae Emerton, qui présentent des chordes dorsales très visibles. Photo: Holger Frick

Ce genre de découverte se produit au prix d'un examen attentif mais aussi devant sa porte – du moins si l'on est disposé à fouiller dans la lisière d'aiguilles de pin, sous la neige, à 2000 m d'altitude. •

HOLGER FRICK, Musée d'histoire naturelle de Bâle, **holger.frick@bs.ch**

Diversité entre les enclos

Les zoos sont des lieux de rencontre entre les êtres humains et les animaux exotiques. Enfants et adultes découvrent leurs modes de vie fascinants et sont informés des menaces d'extinction. Avec des parcelles proches de la nature, qui séparent les différentes installations, les zoos offrent de multiples habitats aux petits animaux et végétaux sauvages. Dans le cadre d'une étude de trois ans, des spécialistes ont étudié la diversité souvent inobservée des espèces qui vivent librement entre les enclos du jardin zoologique de Bâle.

Le zoo de Bâle recèle, entre ces parcelles, une grande diversité d'espèces indigènes. Photo: Bruno Baur

Le résultat a même étonné les experts: plus de 3100 espèces de plantes, mousses, champignons, lichens et animaux ont ainsi été mis en évidence, y compris insectes, vers de terre, gastéropodes, araignées, cloportes, poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères et chauves-souris. Cette diversité d'espèces, qui échappe aux visiteurs du zoo, dépasse largement les chiffres officiels des espèces d'animaux répertoriés dans le zoo de 11 ha (528 espèces; situation au 31. 12. 2019). En outre, parmi les espèces observées, 113 figurent sur les listes rouges de la Suisse. L'étude montre qu'en cas d'entretien proche de la nature, un parc municipal peut contenir une diversité d'espèces étonnante et une valeur naturelle élevée. •

BRUNO BAUR, Biologie de conservation de la nature, Université de Bâle. **bruno.baur@unibas.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Chalcidoidea: diversité insoupçonnée

Les Chalcidoidea sont des prédateurs importants des insectes phytophages et jouent un rôle déterminant pour l'équilibre d'un écosystème naturel. Là où ces guêpes font défaut, les parasites prennent souvent le dessus. Pourtant, cette famille reste en grande partie inexplorée, et de nouvelles espèces sont régulièrement découvertes, même en Suisse. Ainsi, le 28 février 2004, ma collègue Jacqueline Grosjean ramassa sur le trajet pour aller à son travail au Musée d'histoire naturelle de Berne – qui plus est dans l'environnement stérile d'un passage autoroutier souterrain près de Niederwangen – la chrysalide d'un vulcain. Peu après en sortit une armée de minuscules Chalcidoidea, d'un vert métallique, qui s'y étaient développées au détriment du papillon.

La guêpe *Pteromalus briani* a été baptisée d'après l'un des cofondateurs du groupe des Rolling Stones. Photo: Hannes Baur

La découverte de ma collègue parvint sur mon bureau. En regardant au microscope, je me rendis compte que ces exemplaires appartenaient à une espèce de Chalcidoidea encore inconnue. En tant que découvreuse, Jacqueline Grosjean pouvait choisir le nom de cette nouvelle espèce. Fan absolu du groupe de rock des Rolling Stones, elle voulut donner à cette espèce le nom d'un de ses membres fondateurs Brian Jones, né un 28 février. En son honneur, la nouvelle guêpe s'appelle désormais *Pteromalus briani* (Baur 2015). •

HANNES BAUR, Musée d'histoire naturelle de Berne. **hannes.baur@nmbe.ch**
›› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Nouvelle espèce de champignon sur des hêtres aux portes de Zurich

Chaque année, en Suisse, des dizaines de champignons sont observés pour la première fois et leur présence, publiée sur swissfungi.wsl.ch. *Petrakia liobae* est une espèce nouvelle, car ce type de champignons est tout neuf pour la science (Beenken et al. 2020). Il provoque l'apparition de cercosporioses brunâtres sur les hêtres. De petites conidies blanches, visibles à l'œil nu, s'y développent. Avec ses éléments asexués, le champignon se propage durant l'été dans la couronne des arbres. Les feuilles infectées tombent à l'automne. Durant l'hiver, les fructifications sexuées se forment dans la litière, et des spores en sortiront au printemps (en même temps que les feuilles du hêtre). Un nouveau cycle commencera. L'arbre peut vivre avec cette maladie.

Cercosporiose aux conidies blanches typiques de *Petrakia liobae* sur des feuilles de hêtre. Photo: SwissFungi

Cette espèce de champignon fut découverte par hasard sur le Zürichberg et reçu le nom de sa découvreuse, Lioba Paul. Entretemps, elle a été trouvée dans plusieurs pays d'Europe. Malgré des symptômes visibles, cette maladie du hêtre était passée inaperçue jusque-là. Comment est-ce possible? On croyait initialement que le champignon avait été introduit depuis le Japon (Gross et al. 2017). Des analyses génétiques ont toutefois révélé l'unicité de cette espèce. Il s'ensuivit que le champignon avait dû être introduit à partir d'une autre région. Ou bien est-il indigène? On ne le sait pas (encore). Il est intéressant de noter que *Petrakia liobae* a également été observé dans les Pyrénées, refuge glaciaire du hêtre. En cas d'introduction, le champignon avait donc sans doute dû se propager très vite et très loin. Une étude génétique doit apporter la réponse. •

ANDRIN GROSS, VALENTIN QUELOZ, LUDWIG BEENKEN, Institut fédéral de recherche WSL. **andrin.gross@wsl.ch**
›› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Monitoring de la biodiversité: découverte rare

En juillet 2017, Sonja Gerber captura une femelle de moiré des Grisons *(Erebia flavofasciata)* sur le versant sud du Simplon près de Gondo. La collaboratrice du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) était précisément en train de suivre un itinéraire prescrit par le MBD. Elle ne s'imaginait sans doute pas qu'elle rapporterait la première preuve de la présence de ce papillon extrêmement rare dans le canton du Valais. Jusqu'à présent, en Suisse, seule une vingtaine de sites était connus dans les Grisons et le Tessin. Par ailleurs, le moiré des Grisons a été observé sur quelques sites en Autriche et en Italie voisine, et peut donc être considéré comme une espèce endémique des Alpes centrales. Cette espèce colonise les pelouses alpines et les mégaphorbiaies garnies de rochers, où elle est présente à l'échelon local et sous forme de populations peu nombreuses.

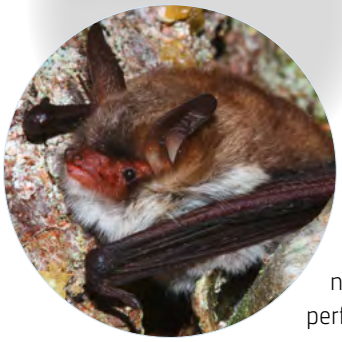
Moiré des Grisons: exemplaire de sa première découverte en Valais. Photo: Matthias Plattner

Une nouvelle découverte dans un groupe d'espèces aussi bien étudié que les papillons diurnes est déjà en soi quelque chose de particulier. Que la découverte ait eu lieu dans le cadre du MBD est remarquable à double titre, car le programme est conçu pour l'étude du paysage normal et que les raretés sont donc fortuites. Dans le cas présent, il se peut que le processus systématique ait précisément mené à cette découverte inattendue. Des recherches complémentaires par l'expert en papillon Vincent Baudraz ont en outre révélé que le papillon observé par la collaboratrice du MBD n'était pas un individu égaré, et qu'une petite population était effectivement présente sur le Simplon. •

MARKUS FLURI et **MATTHIAS PLATTNER,** Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD), **plattner@hintermannweber.ch**

Nomen est omen: une chauve-souris cryptique

Les chauves-souris constituent environ un tiers des espèces de mammifères sauvages de Suisse. Étudiées depuis longtemps par les systématiciens, on pensait leur diversité bien connue. Pourtant, les découvertes de ces deux dernières décennies se sont succédées, avec pas moins de quatre espèces nouvelles signalées dans notre pays. La dernière en date est le murin cryptique *(Myotis crypticus)*, découvert en 2018, et que l'on confondait jusqu'ici avec le murin de Natterer *(M. nattereri)* (Juste et al. 2018).



Le murin cryptique *(Myotis crypticus)* ne peut être déterminé qu'à l'aide de méthodes du génie génétique
Photo: Manuel Ruedi

Ces découvertes ont été rendues possibles grâce à l'emploi de techniques moléculaires toujours plus performantes. Alors que nos prédécesseurs devaient se contenter d'étudier la morphologie de ces animaux discrets, on peut aujourd'hui mesurer, à l'échelle continentale, les échanges de gènes entre populations. C'est ainsi que l'on s'est rendu compte qu'une espèce morphologiquement cryptique (d'où son nom!) échangeait des migrants dans toute l'Europe de l'Ouest, y compris la Suisse, mais quasiment pas avec les populations d'Europe du Nord ou de l'Est. Il a donc fallu se rendre à l'évidence que ces deux grandes régions abritaient deux espèces évoluant indépendamment. •

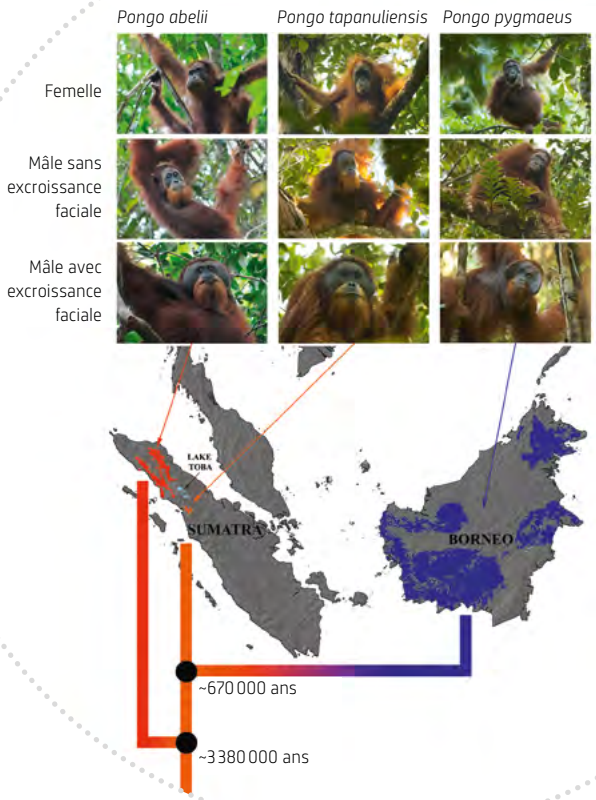
MANUEL RUEDI, Muséum d'histoire naturelle de la ville de Genève, **manuel.ruedi@ville-ge.ch.** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Nouvelle espèce de primate découverte sur l'ordinateur

Un des aspects les plus fascinants de la science réside dans les découvertes ni planifiées ni prévisibles. La découverte et la description d'une troisième espèce d'orang-outan en 2017 furent le fruit du hasard. Depuis longtemps, on connaissait une espèce d'orang-outan à Bornéo et à Sumatra. Dans le cadre de notre recherche génétique à l'institut anthropologique de l'Université de Zurich, nous avions déjà exploré intensivement depuis 2005 les structures génétiques des populations d'orang-outan de ces deux espèces sur leurs îles respectives. Les populations de Batang Toru, situées tout au sud de l'aire de distribution de l'orang-outan à Sumatra, apparaissait différente des autres populations septentrionales dans nos études génétiques antérieures. Mais nous n'avions pas accordé une grande importance à nos résultats à ce moment-là.

À l'occasion d'une rencontre fortuite avec des collègues lors d'une conférence à Chicago, lesquels avaient pu par chance mesurer un crâne de Batang Toru, je découvris que la morphologie crânienne et dentaire de l'orang-outan mâle de Batang Toru se distinguait nettement de celle des autres orangs-outans décrits jusque-là – ce qui suggérait également qu'il pouvait s'agir d'une espèce particulière! Notre travail génomique, jusque-là très avancé, révéla enfin, par le biais de simulations complexes sur des superordinateurs, que les premiers orangs-outans, venus d'Asie à Sumatra il y a plus de 3 millions d'années, constituaient une lignée directe avec la population de Batang Toru. Ainsi, *Pongo tapanuliensis,* nommé d'après la région où cet animal est présent, est la première espèce de primate découverte en partie sur ordinateur. •

MICHAEL KRÜTZEN, Institut anthropologique, Université de Zurich, **michael.kruetzen@aim.uzh.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**



Depuis 2017, les orangs-outans de Sumatra se répartissent entre deux espèces.
Graphique: Université de Zurich

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Relevés de biodiversité: des données précieuses au potentiel considérable

Les programmes cantonaux et nationaux de surveillance de la diversité biologique fournissent des jeux de données considérables, permettant de répondre à de nombreuses questions et de mettre en lumière des relations écologiques. La surveillance porte également sur des groupes d'espèces discrètes tels que les organismes aquatiques et les mousses. Des méthodes sophistiquées permettent de mettre en évidence des espèces sinon invisibles et de distinguer des espèces difficiles à différencier.

La combinaison des données fournit des informations essentielles

NICOLAS MARTINEZ, CHRISTIAN STICKELBERGER, FABIO FÄSSLER, NICOLAS STREBEL ET TOBIAS ROTH

Plus de 2000 volontaires étaient sur le terrain entre 2013 et 2016 pour recenser les oiseaux de Suisse. Il en résulte une vue d'ensemble unique en son genre de la répartition et de la situation actuelle des oiseaux nicheurs (Atlas suisse des oiseaux nicheurs, Knaus et al. 2018). Ce savoir peut être combiné à d'autres données, permettant de mettre en relation la présence des espèces et la qualité de leur habitat – le cincle plongeur et la bergeronnette des ruisseaux, par exemple, qui se nourrissent tout deux d'organismes aquatiques invertébrés (Martinez et al. 2020). Une partie des carrés kilométriques examinés pour l'Atlas des oiseaux nicheurs ont fait l'objet de relevés sur les populations d'organismes aquatiques invertébrés (gastéropodes, crustacés, sangsues, éphéméroptères, plécoptères et trichoptères, p. ex.) ainsi que sur la richesse structurelle des eaux. Cela permet de tirer des conclusions sur la qualité de l'eau. Les données proviennent de projets cantonaux, du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) ainsi que de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA).
Les cincles plongeurs occupaient 25 % des surfaces examinées et la bergeronnette des ruisseaux, 41 %. La combinaison des données relatives à la présence des oiseaux et à la qualité des eaux a révélé que ces deux espèces étaient d'autant plus fréquentes que l'état écologique de l'eau était bon et l'offre en nourriture abondante. Le cincle plongeur se montrait à cet égard nettement plus difficile que la bergeronnette des ruisseaux; il était totalement absent sur les rives des cours d'eau d'une qualité insuffisante. Cela peut s'expliquer par la plus forte spécialisation alimentaire: les cincles plongeurs se nourrissent exclusivement des larves d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères ainsi que de *Blephariceridae* et de simulies, tandis que les bergeronnettes des ruisseaux se nourrissent également des adultes ainsi que d'insectes terrestres. Le cincle plongeur est donc un bon indicateur de la qualité écologique des cours d'eau.
Il est intéressant de noter que l'offre en nourriture exerçait une plus grande influence sur la présence des cincles plongeurs et des bergeronnettes des ruisseaux que la proximité naturelle de l'eau. Cela pourrait s'expliquer par l'impact en partie positif d'aménagements artificiels: les consolidations riveraines, les ponts et les passages souterrains sont en effet souvent utilisés par les deux espèces pour se reproduire. •

NICOLAS MARTINEZ, CHRISTIAN STICKELBERGER et **TOBIAS ROTH** travaillent pour la société de conseil en environnement Hintermann & Weber SA, qui coordonne les travaux destinés au MBD. **FABIO FÄSSLER** travaille au service de protection de la nature du canton de Zurich. **NICOLAS STREBEL** est employé au département Surveillance de l'avifaune de la Station ornithologique suisse de Sempach. Contact **martinez@hintermannweber.ch**
››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Le cincle plongeur est un bon indicateur de la qualité écologique des cours d'eau. Photo: www.naturfoto-schaffner.ch

Un haut-marais sans sphaigne? Ce n'est pas bon signe!

ARIEL BERGAMINI

On dénombre en Suisse 1100 espèces de mousse, soit deux tiers de toutes les espèces européennes. La diversité spécifique locale peut s'avérer surprenante: jusqu'à 60 espèces peuvent vivre sur un vieil érable de montagne isolé dans un pâturage.
Les hauts-marais et les bas-marais constituent un habitat important pour de nombreuse mousses. Jusqu'à présent, dans les marais d'importance nationale et les quelque 2000 surfaces (de 10 m2) consacrées au suivi de la protection des biotopes (WBS), 328 espèces de mousses ont été observées. Sur 11,3 % des surfaces vivent davantage d'espèces de mousses que d'espèces de plantes vasculaires.

Les sphaignes sont les principaux formateurs de tourbe. Aucun haut-marais ne peut subsister sans elles. Photo: Ariel Bergamini

Les hauts-marais jouent un rôle tout particulier car ils doivent exclusivement leur existence aux sphaignes *(Sphagnum* spec.), qui structurent cet habitat et déterminent en grande partie d'importantes fonctions écosystémiques (stockage du carbone et de l'eau, filtre à nutriments, p. ex.). Sur les 33 espèces de sphaignes vivant en Suisse, 27 ont pu être mises en évidence dans le cadre du WBS. La plupart de ces espèces sont exclusivement présentes dans les hauts-marais.
En vérité, des sphaignes devrait être observées sur toutes les surfaces situées dans des hauts-marais. Pourtant, le WBS indique qu'aucune sphaigne ne pousse sur près d'un cinquième des surfaces (17,3 %). À cela s'ajoute que la couverture des sphaignes dans les hauts-marais ne s'élève en moyenne qu'à 43%; un tiers des surfaces d'étude des hauts-marais présentent même une couverture inférieure à 10 %. Cela peut s'expliquer en partie par la situation des surfaces sélectionnées au hasard, mais le nombre demeure étonnamment bas. Dans les hauts-marais en croissance, on devrait s'attendre à plus de 80 % de couverture de sphaignes.
Les résultats suggèrent également le mauvais état écologique de nombreux hauts-marais. Les résultats, publiés en 2019, du suivi de la protection des biotopes en Suisse avait révélé que les hauts-marais s'étaient enrichis en nutriments et asséchés au cours des 20 dernières années. Les directives légales (conservation intégrale des objets) ne sont donc pas observées. •

ARIEL BERGAMINI dirige le groupe de recherches Dynamique des habitats à l'Institut fédéral de recherche WSL. Ses travaux de recherche portent sur les problèmes liés à la biodiversité et à son évolution.
Contact: **ariel.bergamini@wsl.ch**

Indigènes ou envahissantes? L'ADN environnemental révèle l'identité des grenouilles vertes

BENEDIKT SCHMIDT

Les études sur la biodiversité fournissent des données de base concernant l'évolution de la nature et jouent un rôle essentiel dans la définition des mesures de conservation et de promotion. Pour que les données soient fiables, il importe que les relevés sur le terrain mettent en évidence et déterminent correctement un maximum d'espèces. Dans certains cas, c'est impossible. Les espèces européennes de grenouilles vertes, par exemple, représentent un complexe de plusieurs espèces apparentées et formes hybrides que l'on ne peut guère distinguer à l'œil nu. Les deux espèces indigènes de Suisse sont la grenouille de Lessona et la grenouille verte, une forme hybride. Depuis les années 1960, d'autres espèces du complexe des grenouilles vertes ont été introduites en Suisse. Elles sont difficiles à distinguer morphologiquement, d'autant que les espèces indigènes et exogènes se croisent. Dans le cadre du suivi de la protection des biotopes en Suisse, mais aussi pour l'élaboration de la nouvelle liste rouge, il importait de déterminer, sur les sites de reproduction des amphibiens d'importance nationale, la part des populations de grenouilles vertes consistant en grenouilles de Lessona et en grenouilles vertes, et l'ampleur du mélange avec les espèces introduites.
À cet effet, des échantillons d'eau ont été collectés et analysés afin de déterminer les espèces dont l'ADN était présent dans l'eau. Les résultats sont préoccupants: la grenouille de Lessona et la grenouille verte n'ont été observées que sur la moitié des sites de reproduction des amphibiens où la présence du complexe des grenouilles vertes pouvait être attestée. Les deux espèces indigènes ne vivent exclusivement que sur un cinquième de ces sites. Des espèces introduites sont également présentes sur les autres sites. Les résultats montrent que les espèces indigènes du complexe des grenouilles vertes sont largement évincées par les espèces introduites, et qu'une réévaluation du statut sur la liste rouge interviendra. Même si la détermination de l'ADN environnemental améliore la pertinence du monitoring, un recensement traditionnel des effectifs sur le terrain continue de s'imposer pour des questions importantes (les espèces se reproduisent-elles? Quelle est la taille des populations?). •

Les espèces européennes de grenouilles vertes représentent un complexe de plusieurs espèces apparentées et de formes hybrides que l'on ne peut guère distinguer à l'œil nu. Photo: Thomas Reich

BENEDIKT SCHMIDT est collaborateur scientifique au Centre suisse de coordination pour la protection des amphibiens et reptiles de Suisse (info fauna karch) et responsable d'un groupe de recherches à l'Institut de biologie de l'évolution et des sciences environnementales de l'Université de Zurich.
Contact: **benedikt.schmidt@ieu.uzh.ch**

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement 0FEV

À la recherche de la biodiversité cachée du sol

Dans le cadre du plan d'action Biodiversité, il importe également de préserver et de promouvoir la diversité biologique du sol. Afin d'apporter de la lumière sur cette boîte noire et de fournir les bases nécessaires à l'adoption de mesures, un projet de recherche a été lancé, utilisant des méthodes modernes de génétique moléculaire. Les résultats des avant-projets montrent que des communautés microbiennes caractéristiques vivent dans le sol. FRANCO WIDMER, JOHANNA MAYERHOFER, FLORIAN GSCHWEND, MARIA DEL CARMEN FERNANDEZ BRAVO ET JÜRG ENKERLI

Le terme de microbiome est aujourd'hui un concept fréquent, utilisé dans de nombreux contextes. Le terme décrit l'ensemble des microorganismes vivant dans un habitat et interagissant avec celui-ci. Il peut s'agir de notre intestin, de la peau ou du corps tout entier. On estime que nous sommes colonisés par davantage de cellules microbiennes que nous n'avons de cellules corporelles. Mais l'importance de ces microorganismes (ou du microbiome) ne concerne pas seulement l'être humain – ils jouent également un rôle essentiel dans l'environnement (p. 8). Sans avoir connu la fonction primordiale du microbiome, Aristote (384-322 av. J.-C.) aurait déjà déclaré: «Le sol est l'estomac et l'intestin de la plante».

Composition artistique sur le thème de la diversité de la vie dans le sol.
Illustration: Maria del Carmen Fernandez Bravo

Le sol recèle une quantité incroyable de microorganismes. Jusqu'à présent, toutefois, seul peu d'entre eux ont été décrits, et rares sont ceux dont on connaît la fonction et le rôle dans l'écosystème. Cela s'explique notamment par le fait que les microorganismes ne sont pas identifiables à l'œil nu et que beaucoup ne peuvent être facilement cultivés. Des études plus poussées sont donc nécessaires, pour mieux comprendre le microbiome dans l'environnement. À cet égard, les méthodes de génétique moléculaire constituent une aide précieuse. Elles permettent l'identification des microorganismes par l'analyse du patrimoine génétique (ADN), en déterminant la séquence de sections spécifiques de l'ADN (gènes dits marqueurs).

Communautés d'espèces dans le sol

Nous sommes aujourd'hui en mesure d'isoler le patrimoine génétique d'un échantillon du sol, le métagénome, et d'en extraire les gènes marqueurs microbiens (pour les bactéries ou les champignons, p. ex.). Il est ensuite possible de les décoder au moyen d'un séquençage d'ADN à haut débit moderne, capable de fournir plus de 10 millions de séquences par analyse. Nous pouvons ainsi recenser toute la communauté d'un échantillon du sol et déterminer sa composition et sa diversité à l'aide de méthodes statistiques et bioinformatiques. Les communautés microbiennes de différents sols peuvent ainsi être décrites et comparées, et leur variation peut être suivie.

Nos études montrent que les communautés microbiennes du sol reflètent parfaitement son utilisation (voir graphique p. 27). Sur 30 sites de l'Observatoire nationale des sols (NABO), nous avons pu montrer que les microbiomes bactériens et fongiques se distinguaient nettement sur dix sites champêtres, prairiaux et forestiers (ainsi que leur utilisation). Par ailleurs, chaque site présente une communauté microbienne stable et caractéristique, ce qui révèle que celle-ci est marquée par les facteurs environnementaux et l'utilisation du site (Gschwend et al. 2018). Ce constat est corroboré par les résultats des études menées dans le cadre de l'essai DOK, qui compare des systèmes d'agricultures biologiques et conventionnels (Hartmann et al. 2015). Les communautés microbiennes caractéristiques peuvent être utilisées pour recenser l'état d'un sol et les éventuels changements subis par un site. Ainsi, une saturation locale en eau (Gschwend et al. 2020) ou une compaction du sol (Hartmann et al. 2014) peuvent provoquer des changements dans le microbiome du sol, dans la mesure où certaines espèces profitent de nouvelles conditions et où d'autres se montrent moins fréquentes.

Par ailleurs, nous avons également montré que des mesures agronomiques spécifiques ne provoquaient pas forcément une modification du microbiome. Par exemple, l'épandage de *Metarhizium brunneum*, un champignon utilisé pour la lutte biologique contre les ravageurs en culture céréalière, n'a provoqué aucun changement dans le microbiome du sol (Mayerhofer et al. 2017). Cela montre que l'analyse du microbiome constitue un élément extrêmement pertinent pour l'évaluation de la biosécurité de stratégies phytosanitaires biologiques alternatives mais aussi conventionnelles.

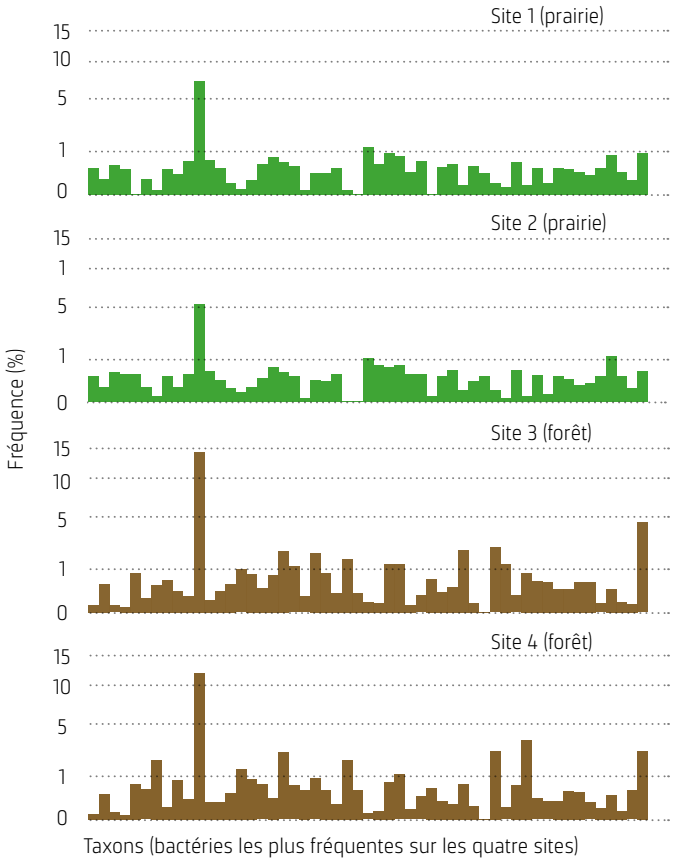
Ces acquis permettent d'obtenir des informations sur les fonctions des microorganismes locaux, en renforçant notre compréhension des processus microbiens du sol. Cela offre, d'une part, la possibilité de créer des communautés dans le sol et de les influencer de telle sorte que les microorganismes utiles soient favorisés, au détriment des microorganismes toxiques. D'autre part, il est également possible d'identifier les sites susceptibles d'accueillir des champignons rares, par exemple, présentant un intérêt particulier et méritant d'être protégés. Cela offre enfin la

possibilité de mettre en évidence des modifications spécifiques des microbiomes et de les exploiter en tant qu'indicateurs du développement des conditions pédologiques.

Coopérations performantes

Dans le cadre du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD), la biodiversité de divers groupes d'organismes est examinée en permanence et à l'échelle nationale. Nous avons eu la possibilité d'analyser des échantillons de sol provenant de 255 sites du MBD situés dans toute la Suisse. Les résultats obtenus jusqu'à présent en ce qui concerne les communautés bactériennes montre que le pH du sol est le premier facteur d'influence, suivi par la disponibilité des nutriments et la texture du sol, l'altitude et le volume des précipitations ainsi que le type d'exploitation du sol et de végétation, qui exercent tous une grande influence sur la composition des communautés bactériennes (Mayerhofer et al. 2020). Sur la base de ces données, nous pouvons déjà expliquer plus de la moitié des différences entre les communautés bactériennes du sol. Cela montre également que certains facteurs d'influence ne sont pas encore répertoriés et que des efforts supplémentaires sont requis pour les identifier et pouvoir ainsi décrire les communautés microbiennes du sol à l'aide de modèles. Il apparaît également que nous ne pouvons pas parler d'un seul microbiome du sol, mais de nombreux microbiomes différents. Le défi que représente une classification de groupes de microbiomes apparaît clairement quand on réalise que nous avons recensé environ 50 000 types différents de bactéries sur les seuls 255 sites du MBD.

À cela s'ajoute qu'il y a dans le sol de nombreux autres groupes d'organismes, parfois microscopiques et donc difficiles à recenser. Dans le cadre d'un nouveau projet sur la biodiversité microbienne du sol, nous voulons étendre les analyses à ces organismes microscopiques dans le cadre du plan d'action lié à la Stratégie Biodiversité Suisse (voir encadré) et d'une coopération entre Agroscope, le WSL et la HES de Changins. Il est prévu d'effectuer un relevé supplémentaire de la biodiversité des protistes (HES Changins), des nématodes (WSL), ainsi que des microarthropodes (Agroscope), sur les sites du NABO, pour lesquels des données sur les bactéries et les champignons sont déjà disponibles. Nous étudierons comment la biodiversité de ces groupes d'organismes dépend du type d'exploitation du sol et du site, et comment elles interagissent. Par ailleurs, les données du MBD doivent être complétées au sujet de la biodiversité des champignons. Cela permettra de formuler des énoncés sur la biodiversité des champignons à l'échelle nationale et complétera les relevés morphologiques à l'aide de nouvelles approches moléculaires. Ce nouveau projet fournira un ensemble de données sans précédent sur la biodiversité des organismes microscopiques du sol suisse et constituera une base pour la suite des relevés et leur intégration dans l'observation du sol. •



La détermination des fréquences relatives de divers taxons permet de représenter leurs structures communautaires et de les comparer mathématiquement et visuellement. L'exemple présente 53 taxons bactériens fréquents, observés sur deux sites prairiaux et deux sites forestiers mais cela ne reflète qu'une petite partie des 6193 taxons bactériens découverts dans les quatre sols. Il est intéressant de noter que pour le taxon le plus fréquent mis en évidence aussi dans le sol des prairies et des forêts à l'échelle mondiale, il n'y a pas encore de possibilité de cultiver des souches, de les isoler et de les décrire physiologiquement. Il n'a donc été désigné jusqu'à présent que par l'appellation *«Candidatus Udaeobacter»*. Cet exemple illustre l'importance de l'approche moléculaire au niveau du recensement intégral de la biodiversité microbienne dans l'environnement.

La Stratégie Sol de la Confédération s'inscrit dans le plan d'action Biodiversité

Le sol joue un rôle primordial pour la biodiversité. L'élaboration d'une stratégie de préservation du sol constitue donc une des mesures du plan d'action liée à la Stratégie Biodiversité Suisse, adoptée par le Conseil fédéral en 2017. En mai 2020, le Conseil fédéral a approuvé la Stratégie Sol, élaborée conjointement par l'OFEV, l'ARE et l'OFAG, et harmonisée avec d'autres offices fédéraux intéressés ainsi que les cantons. La Stratégie Sol constitue la base stratégique de la sauvegarde à long terme des fonctions du sol ainsi que la base du nouveau centre de compétences Sol (KOBO). Les objectifs ont été clairement définis, notamment en ce qui concerne la biodiversité. Ainsi, l'objectif 8 relatif à l'agriculture stipule: «Pas de perte persistante de biodiversité et d'activité biologique du sol en raison de l'exploitation agricole.» •

FRANCO WIDMER dirige le groupe de recherches Ecologie moléculaire à la station Agroscope de Reckenholz. Ces travaux de recherche portent notamment sur le recensement de la diversité microbienne des sols ainsi que sur les facteurs anthropologiques et écologiques qui les influencent. **JOHANNA MAYERHOFER, FLORIAN GSCHWEND** et **MARIA DEL CARMEN FERNANDEZ BRAVO** font partie du groupe de recherches Ecologie moléculaire à la station Agroscope de Reckenholz. **JÜRG ENKERLI** est Senior Scientist et vice-directeur du groupe de recherches Ecologie moléculaire. Contact **franco.widmer@agroscope.admin.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'agriculture OFAG

Diversité aromatique de variétés anciennes de fruits

La diversité des variétés de fruits est gigantesque. Elle apparaît déjà dans l'aspect des différents arbres. Si l'on observe les différents fruits, la diversité est encore plus évidente. Il existe, par exemple, une pomme piriforme, dont le contour ressemble davantage à celui d'une poire. Ou bien la pomme d'api étoilée, dont la forme inhabituelle saute aux yeux. Mais la plus grande diversité se manifeste lorsque l'on goûte les fruits. Même si des variétés différentes peuvent paraître semblables, la différence apparaît dès la première bouchée. ROMANO ANDREOLI, BETTINA HÄNNI ET JAKOB SCHIERSCHER

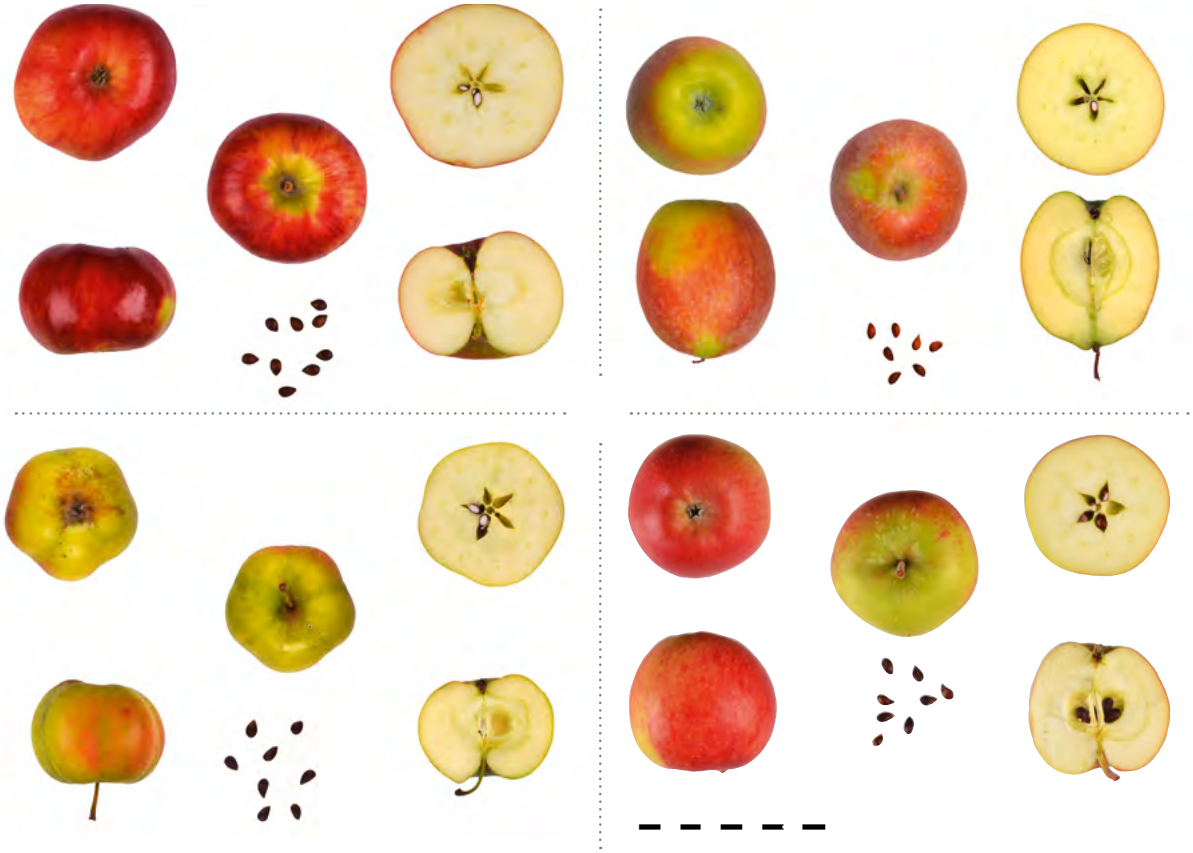
Depuis 20 ans, Agroscope mène des projets à Wädenswil concernant la sauvegarde des variétés anciennes de fruits. Au cours des premières années, il s'est agi de faire un inventaire national. En Suisse, rien qu'en ce qui concerne les principales variétés de fruits (pommes, poires, prunes et cerises), plus de 2500 variétés ont été trouvées. Pour l'instant, nous nous préoccupons principalement de la description et de l'utilisation des variétés inventoriées.

Chaque variété est documentée par des photos (voir plus bas) et décrite en fonction des descripteurs prescrits. Cette description contient également les propriétés internes. Certains fruits sont si acides que l'on se demande si l'on n'a pas goûté un citron par inadvertance. Ou bien un arôme exotique vous entraîne dans un pays lointain alors que vous mangez une poire «normale» et qu'il neige au dehors.

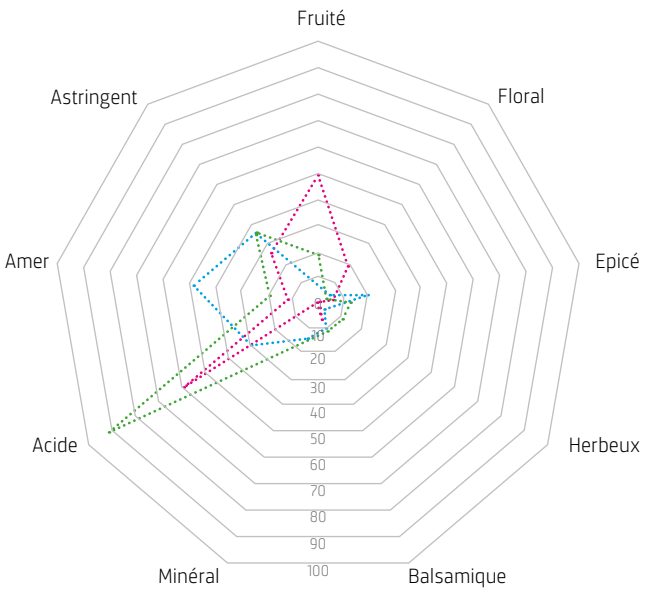
Utilisation des variétés anciennes de fruits

Beaucoup de fruits ne déploient leur plein potentiel qu'après une transformation. Ainsi, les tanins de la pomme, qui peuvent déranger à la dégustation, sont très demandés pour la production de certains types de cidre, car ils donnent au produit final la structure souhaitée (Inderbitzin et al. 2018). Autrefois, de nombreuses variétés avaient une utilisation explicite (séchage, cuisine, pâtisserie, distillerie ou production de moût). Une grande partie du savoir correspondant a disparu au fil des années.

En ce qui concerne la sauvegarde et l'appréciation des variétés anciennes, le savoir relatif au potentiel d'exploitation et aux différentes possibilités d'utilisation est toutefois primordial. Il est aujourd'hui évalué dans le cadre de différents essais. Ainsi, des eaux-de-vie pures ont été fabriquées à partir de variétés anciennes de prunes, de cerises et de poires. Un autre essai est actu-



Chaque variété de fruits inventoriée est documentée photographiquement dans le cadre des projets du PAN. Les photos présentent les variétés ‹Engishofer›, ‹Birnapfel›, ‹Api étoilée› et ‹Erdbeerapfel› (de haut en bas et de gauche à droite). L'échelle correspond à 10 cm.



Description sensorielle du cidre pur dérivé de trois variétés de pommes sur une échelle de 0 à 100. Concernant la ‹Engishofer› (vert), l'acidité prédomine nettement, tandis que la ‹Rothenhauser Holzapfel› (rouge) offre également un arôme nettement fruité en plus de l'acidité. Bien que la troisième variété s'appelle ‹Die Süssen› (les sucrées) (bleu), l'amertume y est très marquée.

ellement en cours avec des variétés anciennes de pommes. L'aptitude de la production de jus a déjà été étudiée. À cet égard, le jus de la ‹Erdbeerapfel›, riche de son arôme de pomme fruité et harmonieux, s'est avéré très convaincant. D'autres jus ont éveillé des associations avec l'ananas, la cannelle ou le thé. Outre la transformation, les variétés anciennes sont également très intéressantes pour la sélection, car elles permettent d'élargir la base génétique et d'hybrider les propriétés positives (Kellerhals et al. 2018).

Un cidre unique

La transformation en cidre constitue une bonne possibilité d'utilisation des variétés anciennes de pommes. Cette boisson jouit d'une popularité croissante depuis quelques années. Le «new cider» en particulier, qui se révèle souvent plus sucré et contient des agents aromatiques parfois ajoutés, est en vogue (Inderbitzin et al. 2018). Les fournisseurs de cidre sont aujourd'hui très nombreux en Suisse: depuis les exploitations agricoles, qui produisent ou font produire leur propre cidre avec leurs fruits, jusqu'aux petites entreprises et aux vignerons réputés, qui étendent leurs activités, en passant par les grandes cidreries (Schaub 2018, Vombach 2020).

Pour soutenir cette tendance, 40 variétés anciennes de pommes furent testées dans les années 2015 à 2018 du point de vue de leur aptitude à la production de cidre. Le choix des variétés se fonda notamment sur la résistance à la maladie, la jutosité, la fréquence de culture et certains aspects historiques. La fabrication des cidres purs, analytiquement examinés, fut standardisée. Par ailleurs, un panel de spécialistes jugea la qualité sensorielle (Inderbitzin et al. 2016).

L'examen analytique aboutit, comme prévu, à de grandes différences en ce qui concerne la teneur en sucre, en acide et en tanin (Inderbitzin et al. 2018). Les différences sont également tangibles dans la description sensorielle (voir graphique). Ainsi, le goût acide prédominait nettement chez la ‹Engishofer›, alors que la ‹Rothenhauser Holzapfel› offrait un arôme fruité en plus de l'acide présent. Contrairement à son appellation, la variété ‹Die Süssen› (les sucrées) présentait surtout de l'amertume. Ainsi, un profil spécifique peut être établi pour chaque variété et comparé avec d'autres. Bien sûr, des facteurs tels que la maturité à la récolte influencent aussi l'arôme (Inderbitzin et al. 2018). Les résultats analytiques et sensoriels détaillés des 40 variétés ainsi que d'autres propriétés telles que la résistance à la maladie peuvent être consultés en ligne (voir adresse plus bas).

La sélection ou le mélange ciblé des variétés permet de créer des cidres uniques à volonté. De plus, la préférence accordée aux variétés régionales ou historiquement intéressantes génère des avantages au niveau de la commercialisation. Enfin, la culture de variétés anciennes favorise la diversité fruiticole visible et aromatique en Suisse et contribue à la sauvegarde de ces ressources génétiques. Il vaut donc la peine de goûter l'un ou l'autre de ces cidres suisses et de se laisser entraîner dans un voyage aromatique et gustatif. •

Projets PAN de l'OFAG

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), de nombreux projets ont été soutenus depuis 1999, dont ceux concernant les ressources génétiques fruiticoles.

Les informations sur les différentes variétés se trouvent dans le système d'information national: **www.pgrel.admin.ch**

ROMANO ANDREOLI, géographe, dirige les projets PAN relatifs à la description et à l'utilisation des ressources génétiques fruiticoles. Ces projets sont menés par Agroscope à la demande de FRUCTUS, association pour la promotion des variétés anciennes de fruits, et avec le soutien financier de l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG). **BETTINA HÄNNI** et **JAKOB SCHIERSCHER** sont ingénieurs en environnement et collaborent à ces projets. Contact **romano.andreoli@agroscope.admin.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

Informations complémentaires

Informations sur le projet Cidre (résultat, guide des variétés, vidéos, publications)
››› **www.nuvog-cider.agroscope.ch**
››› **https://apps.agroscope.info/s/bevog/cider**

Résultats du concours des jus de fruits et cidres suisses organisé par Fruit-Union Suisse et Agroscope
››› **www.fruchtsaft-cider.ch**

Résultats de l'essai de jus de fruit avec des variétés anciennes de pommes
››› **https://apps.agroscope.info/s/bevog/saft/**

Résultat de l'essai d'eaux-de-vie avec des variétés anciennes de fruits
››› **https://apps.agroscope.info/s/bevog/edelbrand/**

Information sur l'association pour la promotion des variétés anciennes de fruits
››› **www.fructus.ch**

scnat
académie des sciences naturelles

Nouvelles du Forum Biodiversité Suisse

ÉTUDE ACTUELLE

Subventions dommageables à la biodiversité en Suisse

Afin de remédier au déclin de la biodiversité, la Confédération et les cantons financent diverses mesures de promotion de la biodiversité. En revanche, un multiple de ces montants sert à subventionner des activités qui portent un préjudice direct ou indirect aux écosystèmes et aux espèces. C'est non seulement inefficient d'un point de vue économique, mais aussi une raison pour laquelle l'appauvrissement de la biodiversité ne peut être enrayé en Suisse.

En ratifiant la Convention sur la diversité biologique, la Suisse s'est engagée, au niveau international, à éliminer progressivement ou à réformer jusqu'en 2020 les subventions dommageables à la biodiversité (CBD 2011). Le Conseil fédéral a confirmé cette intention dans le plan d'action relatif à la Stratégie Biodiversité (Conseil fédéral suisse 2017). Afin d'avancer dans la mise en œuvre de cet objectif, l'Institut fédéral de recherche WSL a établi un inventaire aussi complet que possible des subventions préjudiciables à la biodiversité avec la collaboration du Forum Biodiversité Suisse.

L'analyse a porté sur les principaux secteurs responsables du déclin de la biodiversité: agriculture, sylviculture, transport, production et consommation d'énergie, développement urbain, tourisme, traitement des eaux usées et protection contre les crues. L'inventaire de ces subventions a permis d'identifier 160 d'entre elles, susceptibles d'avoir un impact – inintentionnel – préjudiciable à la biodiversité.

Dans 60 % des cas, il a été possible de retrouver ou de calculer le montant des subventions. Au total, chaque année, des aides de l'État d'un montant de 40 milliards de francs ont une incidence négative sur la biodiversité. Même si l'impact varie sensiblement d'une subvention à l'autre, et s'avère difficile à quantifier ou à comparer, cette somme révèle un besoin d'intervention urgent en Suisse. Les acquis de cette étude permettront à la classe politique, par rapport aux subventions existantes et futures, d'identifier les conflits d'objectifs avec la protection de la biodiversité, de les éliminer ou en tout cas de les réduire. •

› Rapport complet (seulement en allemand): **www.wsl.ch/subventionen**
› Fiche d'information (en allemand, en français et en anglais): **biodiversity.scnat.ch** › publications › factsheet

SASCHA ISMAIL est collaborateur scientifique au Forum Biodiversité Suisse et enseigne la phytoécologie à la HES de Suisse orientale. Au Forum, il est notamment responsable du projet Subventions dommageables à la biodiversité. Contact **sascha.ismail@scnat.ch** ››› Bibliographie **biodiversity.scnat.ch/hotspot**

NOUVELLE PARUTION

Livre sur l'extinction des espèces en Suisse

Le déclin mondial de la diversité biologique compte parmi les plus grands défis de l'humanité. En Suisse également, de nombreuses espèces animales, fongiques et végétales fascinantes disparaissent sans qu'on s'en rende compte, car elles ne trouvent plus d'habitat approprié.

Une gestion durable de la nature n'est finalement possible que si les habitants de notre pays perçoivent la biodiversité et son évolution et soient informés de son (mauvais) état. Ce n'est pas encore le cas. Les sondages montrent que le grand public porte encore un jugement beaucoup trop positif sur l'état de la biodiversité en Suisse.

Un des objectifs du Forum Biodiversité Suisse consiste à formuler des faits scientifiques à l'attention de la classe politique et du public et d'accroître la volonté d'agir. Nous avons notamment envoyé les deux journalistes Gregor Klaus et Nicolas Gattlen, ainsi que le photographe Tomas Wüthrich, à la recherche des derniers survivants de onze espèces fortement menacées, en compagnie d'experts qui étudient ces espèces. Ils ont écouté par exemple le chant d'un discret criquet chanteur sur les berges du Rhône et recherché des crustacés préhistoriques dans le karst Neuchâtelois, des coquillages dans les ruisseaux et les fleurs d'une gentiane spécifique des pâturages tessinois. Il en a résulté des histoires passionnantes sur des végétaux, des animaux et des champignons fascinants, ainsi que sur les êtres humains qui s'efforcent de les sauver. Les reportages révèlent l'ampleur de ce dépérissement massif anthropogène, mais aussi les possibilités de l'enrayer. Le Forum Biodiversité Suisse a publié ces reportages dans le livre *Arten vor dem Aus* (disponible uniquement en allemand). Il est en vente dans le commerce depuis août 2020. •

Gregor Klaus, Nicolas Gattlen et Daniela Pauli (2020): **Arten vor dem Aus – Zu Besuch bei aussterbenden Tieren und Pflanzen in der Schweiz.** Forum Biodiversité Suisse. 256 pages, 75 photos couleurs, 11 dessins. Haupt Verlag, 39 CHF
ISBN 978-3-258-08201-1, disponible également en ebook

PROJET COMMUNAUTAIRE

Davantage de biodiversité dans l'espace urbain

Les zones urbaines recèlent un potentiel encore trop peu exploité pour la sauvegarde et la promotion de la biodiversité. Des mesures de construction, un entretien proche de la nature et la mise en réseau ciblée des espaces verts permettraient d'améliorer beaucoup de choses – non seulement pour la faune et la flore, mais aussi par rapport à la qualité de la vie. Dans le cadre du projet communautaire «Co-créer la biodiversité en milieu urbain», le Forum Biodiversité Suisse s'engage dans cinq projets pilotes visant à développer les connaissances et les pratiques de base. Il s'agit notamment d'améliorer la perception et l'appréciation de la biodiversité chez toutes les parties prenantes et d'instaurer un nouveau comportement décisionnel. Nous espérons ainsi en dégager des acquis précieux, susceptibles d'être appliqués à l'ensemble de la Suisse. •

Informations **www.biodiversite-urbaine.ch**

DANIÈLE MARTINOLI est collaboratrice scientifique au Forum Biodiversité Suisse, où elle est notamment responsable du projet Co-créer la biodiversité en milieu urbain.
Contact: **daniele.martinoli@scnat.ch**

CONGRÈS

SWIFCOB 21, 5 février 2021, Berne.

Recul de la biodiversité et changement climatique: aborder ensemble la transformation

Le déclin de la biodiversité et le changement climatique ont des incidences écologiques, sociales et économiques massives et constituent donc les deux grands défis environnementaux d'origine anthropique. Leurs évolutions sont étroitement liées et s'influencent mutuellement. Les acquis scientifiques et les options d'action destinés à remédier au changement climatique et au déclin de la biodiversité sont bien documentés. Cependant, leur mise en œuvre et leur intégration synergique au-delà des divers secteurs et régions n'en sont qu'à leurs débuts; dans la politique et l'économie, la priorité est aujourd'hui nettement accordée aux mesures concernant le changement climatique. Il s'agira à l'avenir de mieux exploiter les possibilités de synergies et de remédier globalement aux conflits entre la sauvegarde de la biodiversité et la protection du climat. Le congrès SWIFCOB 21 du Forum Biodiversité Suisse de SCNAT (5 février 2021, UniS, Berne) réunira les deux domaines thématiques ainsi que leurs communautés, en vue de débattre conjointement des défis et des solutions. •

Informations **biodiversity.scnat.ch/swifcob**

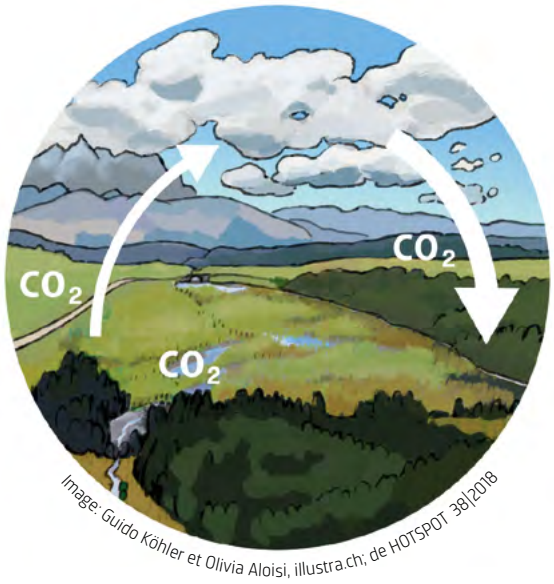


Image: Guido Köhler et Olivia Aloisi, illustra.ch; de HOTSPOT 38|2018

Portrait de la Biodiversité

La biodiversité cachée d'un baiser
Si cette preuve d'amour dure 10 secondes, 80 millions de bactéries seront transmises, appartenant à d'innombrables espèces. L'échange a pour effet que la plupart des couples présentent un microbiome similaire dans la région buccale. La photo montre la diversité bactérienne entre les papilles gustatives de la langue. Photo: © M Oeggerli / Micronaut 2019, supported by Pathology and Microbiology, Univ. Hospital Basel, and C-CINA, Biozentrum, University Basel

scnat
académie des sciences naturelles