

VBBio-Bulletin-BioSA Nr. 20, 2022

Quels habitants du sol figurent sur la liste rouge ?



Contenu

| | |
|--|----------|
| 1. Editorial | 2 |
| 2. Projets choisis de la BioSA | |
| 2.2 AP BioDivSol – Valeurs de référence pour la teneur en matière organique du sol..... | 3 |
| 2.3 Littérature grise – Sites avec des relevés de biologie du sol..... | 4 |
| 3. Forum Biologie du sol appliqué | |
| 3.1 Informations sur le sol en lien avec les espèces de la liste rouge OFEV | 6 |
| 3.2 Paramètres microbiologiques dans l'observation cantonale des sols – une synthèse | 15 |
| 3.3 Monitoring de la biologie du sol - Evaluation des données microbiologiques du sol des sites cantonaux et nationaux d'observation des sols..... | 21 |

1. Éditorial

Claudia Maurer

Kanton Bern Fachstelle Boden

Rütti 5, 3052 Zollikofen

Depuis plus de 25 ans, la BioSA élabore des bases pédobiologiques pour la mise en œuvre de la législation. Des paramètres pertinents, leur application uniforme ainsi que de bonnes bases d'interprétation sous forme de valeurs comparatives sont essentiels. Les paramètres microbiologiques utilisés avec succès depuis de nombreuses années dans l'Observation nationale des sols (NABO) et dans trois programmes cantonaux de surveillance des sols (KABO) ont été évalués pour la première fois en commun. Cette étroite collaboration a permis de générer un vaste ensemble de données comparables. Les résultats confirment la pertinence de la biomasse microbienne et de la respiration basale pour caractériser l'état microbien de base et détecter des changements significatifs. L'ensemble des données a également permis de mettre en évidence les possibilités et les limites des bases d'interprétation existantes. Les contributions à ce sujet sont présentées dans le bulletin actuel sous forme de résumés des travaux originaux (pages 15-27).

Parallèlement à l'utilisation de ces paramètres globaux, des recherches intensives sont menées pour recenser la biodiversité souterraine à l'aide de méthodes de génétique moléculaire. Le méta-barcoding permet d'identifier les communautés souterraines. Les premiers résultats du NABO montrent que ces méthodes permettent de déterminer les communautés de bactéries et de champignons spécifiques d'un site et de son utilisation. La composition de ces biocénoses s'est avérée stable depuis le début de la période d'observation. Cela permet de définir des valeurs de base pour la diversité microbienne. En étroite collaboration avec le NABO, il est également prévu de caractériser à l'avenir les structures des

communautés microbiennes des sites cantonaux d'observation à long terme ainsi que d'autres sites cantonaux spécifiques grâce au méta-barcoding, afin d'élargir la base de données d'une part et d'autre part afin d'identifier des indicateurs (organismes indicateurs, modifications des communautés pour des effets tels que le compactage du sol, le travail du sol, la fertilisation, les stress géogéniques, etc.). D'autres groupes d'organismes doivent également être pris en compte. La liste des projets contient un récapitulatif des projets fondamentaux pour la BioSA (voir annexe).

La détermination des organismes du sol à l'aide de caractéristiques morphologiques étant jusqu'à présent très complexe, nous ne savons encore que très peu de choses sur la biodiversité du sol. Nous manquons d'informations sur la diversité des espèces, sur leur répartition et sur les éventuelles menaces pour certaines d'entre elles, telles qu'elles sont connues dans les listes rouges pour un bon cinquième des espèces indigènes animales, végétales, fongiques et lichéniques présentes en Suisse. Beaucoup de ces organismes vivants sont dépendent du sol pour leur habitat, leur développement ou leur alimentation. Les premières informations sur l'importance du sol en tant qu'habitat pour les organismes ont été rassemblées pour la première fois dans l'étude décrite aux pages 6 à 14. Il en ressort que près de 90 % des quelque 5000 espèces considérées dépendent du sol pendant la majeure partie ou la totalité de leur vie, et que beaucoup d'entre elles font partie des espèces menacées. Outre le recensement à grande échelle de la biodiversité souterraine, le méta-barcoding offre aussi la possibilité de recenser ou de rechercher de manière ciblée des espèces sélectionnées.

2. Projets choisis du BioSA

2.1 AP BioDivSol – Valeurs de référence pour la teneur en matière organique du sol

Réalisation : Alyssa Deluz¹, Cédric Deluz¹

Supervision : Pascal Boivin¹, Andreas Fliessbach², Martin Hartmann³

¹ Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA) Genève

² Institut de recherche de l'agriculture biologique, Département Sciences du Sol, Frick

³ ETHZ Department of Environmental Systems Science, Zürich

Le projet BioDivSol a commencé courant 2020. L'objectif principal du projet est de caractériser la qualité biologique des sols cultivés, en tenant compte en particulier du rôle de la matière organique du sol, de sa relation avec la teneur en argile, de la qualité de la structure du sol et des pratiques agricoles. Un objectif secondaire est de mieux documenter le rôle des formes de matière organique du sol cultivé dans sa qualité physique. Pour cela des parcelles cultivées dont l'historique est connu et offrant une grande variété en ce qui concerne ces facteurs ont été sélectionnées en 2021. Les parcelles sont réparties sur les cantons de Genève, Vaud et Jura. Deux campagnes d'échantillonnage sur trois ont déjà été réalisées, la première en sortie d'hiver et la deuxième à la fin de l'automne. La dernière est en cours de réalisation.



Sur tous les sites, la qualité biologique des sols est analysée à l'échelle de la parcelle à partir d'un échantillon composite. La relation entre les paramètres biologiques et la structure du sol est étudiée sur des cylindres de

sol non remaniés de 100 cm³. Les analyses chimiques permettant une caractérisation générale des parcelles (texture, pH, matière organique, CEC, carbonates) sont terminées. La qualité de la matière organique est caractérisée par pyrolyse Rock-Eval®. Des mesures physiques ont été effectuées pour caractériser la qualité structurale du sol et les propriétés de la microstructure. Les mesures microbiologiques (biomasse microbienne, respiration, activité enzymatique) et les mesures de diversité bactérienne et fongique sont terminées pour la première campagne de terrain.

Les prochaines étapes du projet consistent à analyser les données pour étudier la relation entre la composition des communautés microbiennes, les propriétés de la structure du sol et de la matière organique, et d'en rechercher les critères discriminants au niveau des propriétés physiques et des caractéristiques analytiques. La sensibilité des communautés microbiennes aux pratiques agronomiques et aux échelles de temps sera également étudiée. En parallèle, les mesures en laboratoire seront poursuivies pour caractériser les communautés microbiennes des deux dernières campagnes de prélèvement. Ceci dans le but d'approfondir les questions relatives à la stabilité des microbiomes à l'échelle inter-saisonnière ainsi que les facteurs abiotiques discriminants. Les premiers résultats sont attendus pour la fin de l'année 2022.

2.2 Littérature grise : Sites avec des relevés de biologie du sol

Andreas Fliessbach

Departement für Bodenwissenschaften
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau
Ackerstrasse, 5070 Frick
andreas.fliessbach@fibl.org

Ce projet de la BioSA a pour but d'archiver les sites sur lesquels des études de biologie du sol ont déjà été réalisées. Partant du principe que de nombreuses études sont introuvables ou difficiles à trouver parce qu'elles n'ont pas été publiées dans des revues scientifiques, une attention particulière a été portée à la littérature dite "grise". Il s'agit de travaux publiés dans des rapports, des volumes de conférences ou des bulletins de sociétés et qui ne peuvent donc pas être trouvés dans des bases de données scientifiques. Les thèses de diplôme, de master ou de doctorat d'étudiants sont également souvent grises si elles ne sont pas publiées. Il est recommandé d'inclure la littérature grise dans les méta-analyses afin de contrecarrer le "biais de publication". Un nombre étonnamment élevé de recherches et de publications ont été réalisées sur le thème de la pédobiologie au cours des 40 dernières années. Les nombreux travaux réalisés ne se focalisent pas uniquement sur les sites de recherche habituels, sur les essais de terrain et les stations de recherche, mais s'entendent aussi à l'ensemble du territoire. Par exemple, le WSL et les universités de Neuchâtel et de Zurich ont une orientation stratégique vers les systèmes naturels et cultivés. Un grand nombre de ces travaux ont aussi été publiés sous forme d'articles scientifique évalués par des pairs (fig. 2.2.1).

Les premières étapes de ce projet ont consisté en la collecte des études. Pour cela, environ 200 destinataires ont été sollicités. Seuls 10% d'entre eux ont répondu positivement à cette demande, mais certains ont

fourni un grand nombre de références.

Ainsi, près de 200 publications sur la biologie du sol avec une référence au site ont pu être obtenues au final. Celles-ci ont été intégrées dans une base de données bibliographiques, avec des champs pour l'espèce ou l'indicateur et la géoréférence. La deuxième étape du projet a été la création d'une carte avec des propriétés interactives, de sorte qu'en cliquant sur un point de données, on puisse voir quel travail y a été effectué.

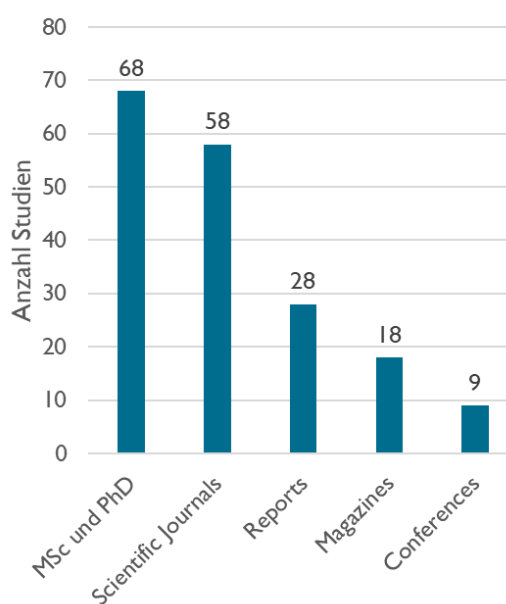


Figure 2.2.1 Fréquence des études selon les catégories de publication

La fréquence des organismes étudiés peut également être catégorisée de cette manière. Dans cette collection non-exhaustive, les travaux les plus fréquents concernent les vers de terre, suivis par la biomasse microbienne.

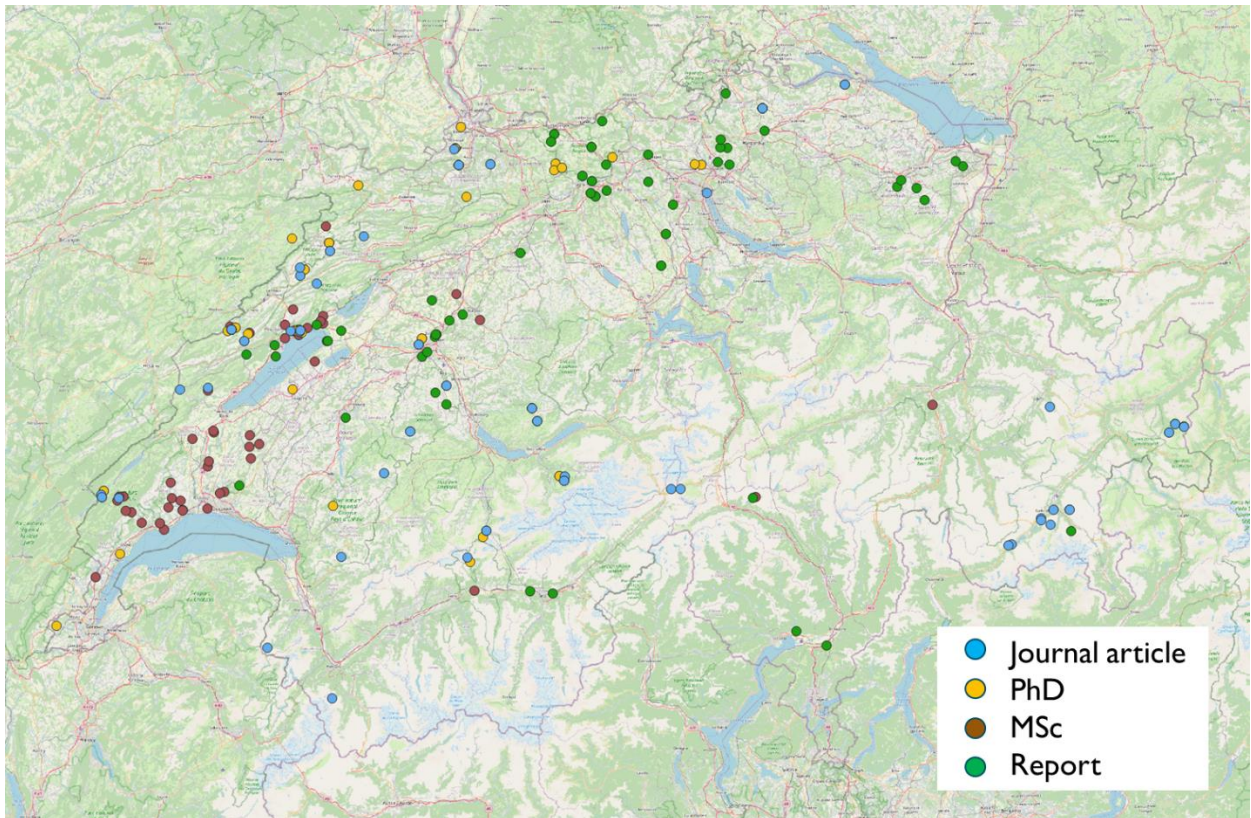


Figure 2.2.2 Emplacements des analyses biologiques des sols classés par type de travail

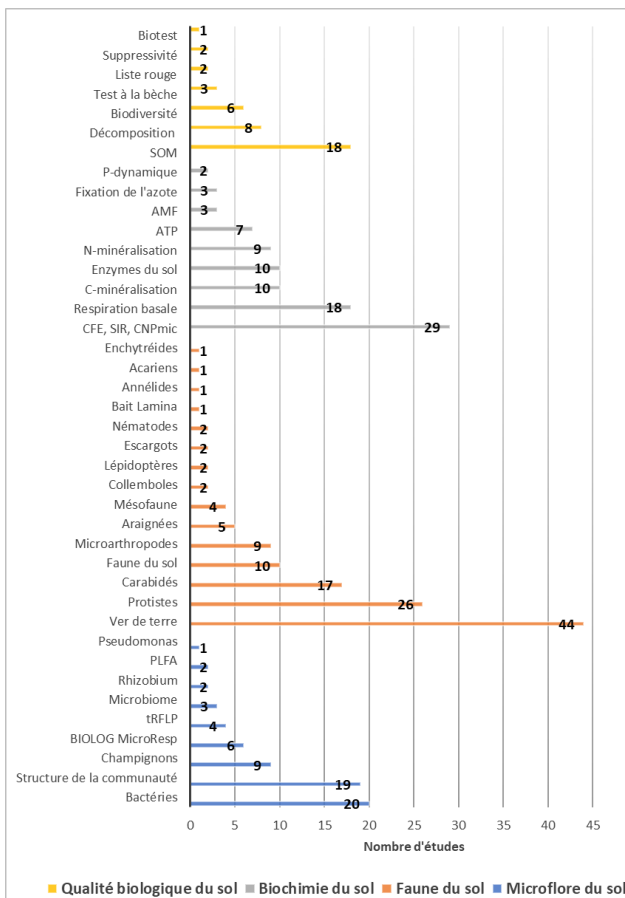


Figure 2.2.3 Abondance des analyses biologiques du sol et des espèces étudiées dans 186 études

Plus récemment, les analyses sur les communautés microbiennes sont venues s'ajouter et se classent selon de larges catégories de méthodes (fig. 2.2.3). Les analyses biologiques classiques du sol, qui considèrent encore le sol comme une boîte noire, sont souvent représentées, car elles sont déjà répertoriées dans l'inventaire méthodologique standard pour la surveillance du sol. Le strict respect des exigences et l'utilisation de sols de référence appropriés sont décisifs pour la standardisation et la comparabilité.

Le point culminant de ce travail devrait être une carte interactive (fig 2.2.2), dont l'achèvement prendra toutefois encore un peu de temps.

Literatur

Grey Literature International Steering Committee. Guidelines for the production of scientific and technical reports: how to write and distribute grey literature. Version 1.1. GLISC; 2007 .

3. Forum Biologie du sol en pratique

3.1 Informations sur le sol en lien avec les espèces de la liste rouge OFEV

Beat Frey

¹Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf

Claudia Maurer

²Fachstelle Boden Kanton Bern, 3052 Zollikofen

Le sol comme espace de vie

Le sol n'est pas seulement d'une importance décisive pour l'homme, il est aussi l'habitat et la base de vie pour de nombreux organismes vivants. Ceux-ci sont essentiels à la fertilité de nos sols, mais seule une fraction de leur énorme diversité est pour l'instant identifiée. Il n'existe pas de monitoring ni de collecte d'informations à l'échelle nationale concernant la répartition et les éventuelles menaces pesant sur les organismes du sol en Suisse, comme c'est le cas avec les listes rouges pour 21% des quelque 53 210 espèces d'animaux, de plantes, de champignons et de lichens (Klaus et al. 2021). Seules l'Allemagne (Lehmitz et al. 2016) et la Nouvelle-Zélande disposent de listes rouges de vers de terre. Les listes rouges informent sur l'état et l'évolution des groupes taxonomiques et de leurs habitats. Elles constituent un instrument important pour la mise en œuvre (protection de la nature) et sensibilisent la population aux menaces qui pèsent sur les espèces et leurs habitats. Actuellement, il existe des listes rouges pour 27 groupes d'organismes et 162 types d'habitats (Klaus et al. 2021).

Idée et objectifs de l'étude

La présente étude doit permettre d'élaborer, à partir des données et informations existantes, les premières informations sur l'importance du sol en tant qu'habitat pour les organismes. Pour cela, le lien entre les espèces et le sol doit être déterminé – cycle de vie avec stades dans ou sur le sol – pour certains groupes des listes rouges. Les résultats devraient fournir pour la première

fois des informations sur les espèces de la Liste rouge et sur leur lien au sol.

L'étude répond à des questions sur le lien au sol des espèces de la Liste rouge et sur leur nombre au sein des différents groupes d'organismes sélectionnés. Elle identifie les espèces cibles, c'est-à-dire les espèces étroitement liées au sol, et fournit pour la première fois des informations sur le degré de menace pesant sur le sol en Suisse à l'aide des espèces de la Liste rouge. Ces résultats contribuent d'une part à sensibiliser le public et les politiques à l'état (biologique) de nos sols, et d'autre part à mettre en évidence la nécessité d'élaborer un monitoring de la biodiversité dans le sol.

Matériel et méthodes

Les bases de données d'espèces existantes d'Info Species, en particulier la base de données éco-faunistique d'Info Fauna ainsi que les bases de données de Swisslichens et de Swissfungi du WSL, ont servi de base pour la saisie des caractéristiques additionnelles requises pour établir le lien au sol BGH. Les groupes sélectionnés sont les champignons supérieurs et les lichens terricoles, ainsi que les groupes faunistiques suivants : amphibiens, reptiles, abeilles sauvages, sauterelles, papillons diurnes, escargots, cigales, mammifères (excepté les chauves-souris) et carabidés (en fonction de l'état de leurs connaissances).

Une définition du sol a été élaborée pour la classification uniforme des espèces (tab. 3.1.1) et des classes ont été définies pour l'évaluation du lien au sol sur la base de Gobat et al. (2010) et Amelung et al. (2018) (tab. 3.1.2).

Tableau 3.1.1 Description du terme "sol" défini pour le présent projet.

| Appartenant au sol | N'appartenant PAS au sol |
|--|--|
| <p>sur/dans le sol minéral : couche d'humus avec la couche supérieure (horizon A) et la couche inférieure (horizon B), y compris les cavités du sol qu'elle contient</p> | <p><i>dans la roche mère (la roche solide ou meuble qui n'a pas ou peu été influencée par la formation du sol) dans les cavités rocheuses</i></p> |
| <p>sur/dans la couche organique : la matière organique morte qui se trouve à la surface du sol, par exemple la litière de feuilles et de conifères, dans/sur/sur le bois mort couché (c'est-à-dire le bois mort se trouvant au sol, comme les troncs, les branches et les souches), le paillis, le fumier, les excréments</p> | <p><i>dans/sur du bois mort sur pied (c.-à-d. du bois mort sur un arbre - vivant ou mort - sur pied)</i></p> |
| <p>dans la couche de mousse, qui se trouve sur la couche supérieure du sol en décomposition et qui est le royaume des petits êtres vivants (de par leur taille, tous les invertébrés) qui vivent entre les mousses, les lichens et les champignons</p> | <p><i>à la surface du sol, mais dépassant la couche de mousse (par ex. un chevreuil)</i></p> |
| <p>sur/dans les mousses, lichens et champignons, qui poussent sur/dans la couche d'humus, la couche organique ou directement sur/dans la roche minérale (p. ex. blocs de roche, pierres)</p> | <p><i>sur/dans les mousses, lichens et champignons qui poussent à leur tour sur les arbres ou sur le bois mort sur pied</i></p> |
| <p>Micro-sols sur substrat minéral naturel : petites/infimes quantités de terre/formes d'humus résultant de la décomposition de matières organiques accumulées dans des fissures, des crevasses et des fentes ou sur de petites surfaces planes dans/sur des rochers et des blocs de pierre, ou entre du sable, du gravier, des cailloux, des graviers, des débris (p. ex. bancs de gravier le long de cours d'eau)</p> | <p><i>des microsols épiphytes, c'est-à-dire des formes de terre/humus accumulées sur des arbres, des arbustes et des plantes herbacées (p. ex. dans l'écorce, les fourches de branches) directement sur/dans un substrat minéral, c'est-à-dire à des endroits sur des rochers et des blocs de pierre où il n'y a pas de microsols, de mousses, de lichens ou d'autres matières organiques (p. ex. lichens saxicoles)</i></p> |
| <p>Micro-sols sur substrat minéral anthropogène : p.ex. pavages de pierres, dalles de pierre, tas de pierres, murs, ruines, toits</p> | |
| <p>Fissures dans le sol, effondrements du sol, zones de sol ouvertes : p. ex. murs de sédiments (sable, gravier, cailloux) tels qu'ils se sont formés par l'érosion des cours d'eau ou dans les fosses, p. ex. au niveau de glissements de terrain, de talus ou de remblais, par ex. sur des chemins non stabilisés</p> | |
| | <p><i>Sols aquatiques (benthal)</i></p> |

Cela a permis aux experts de déterminer le lien au sol de leurs espèces de manière uniforme et de compléter la base de données avec la relation au sol et tout autre attribut pertinent pour le sol (micro-habitat, horizon du sol, forme de litière, granulométrie). Les listes rouges officielles actuelles ont été utilisées pour le projet (Amiet 1994 ; Duelli

et al. 1994 ; Marggi 1994 ; Turner et al. 1994 ; Scheidegger et Clerc 2002 ; Huber et Marggi 2005 ; Monney et Meyer 2005 ; Schmidt et Zumbach 2005 ; Monnerat et al. 2007 ; Senn-Irlet et al. 2007 ; Rüetschi et al. 2012 ; Wermeille et al. 2014).

Tableau 3.1.2 Définition des quatre classes de lien au sol

| Classe | Définition |
|--------|--|
| 4 | <p>Très fortement liée au sol :</p> <p>Espèces mobiles : l'espèce passe toute sa vie dans le sol, c'est-à-dire que tous les stades de développement (œuf, larve/juvénile, nymphe, imago/adulte) se trouvent dans le sol ou dans la couche de mousse à tous les stades (actifs, inactifs).</p> <p>Espèces sessiles : l'espèce se trouve en grande partie, voire exclusivement, dans/sur le sol/substrat, c'est-à-dire 90-100% de toutes les découvertes.</p> |
| 3 | <p>Principalement liée au sol / moyennement lié au sol :</p> <p>Espèces mobiles : l'espèce se trouve dans le sol ou dans la couche de mousse à au moins un stade de développement actif (larve/juvénile, imago/adulte) ou pendant sa phase active (p. ex. recherche de nourriture).</p> <p>Espèces sessiles : l'espèce est majoritairement présente dans/sur le sol/substrat, c'est-à-dire 50-90% de toutes les découvertes.</p> |
| 2 | <p>Faiblement liée au sol:</p> <p>Espèces mobiles : l'espèce ne séjourne dans le sol ou dans la couche de mousse qu'à un stade de développement inactif (œuf, nymphe) ou pendant une phase inactive (repos ou hibernation, quiescence, etc.).</p> <p>Espèces sessiles : l'espèce est partiellement présente dans/sur le sol/substrat, soit 10-50% de toutes les découvertes.</p> |
| 1 | <p>Non liée au sol / pas de lien avec le sol :</p> <p>Espèces mobiles : l'espèce se tient en dehors du sol et de la couche de mousse à tous les stades de développement (œuf, larve/jeune, imago/adulte, etc.) et pendant toutes les phases (actives et inactives comme la diapause).</p> <p>Espèces sessiles : l'espèce n'est pas ou peu présente dans/sur le sol/substrat, c'est-à-dire 0-10% de toutes les découvertes.</p> |
| 99 | <p>Pas d'information / lien avec le sol inconnu :</p> <p>En raison de connaissances insuffisantes, il n'est pas possible de classer l'espèce dans les catégories de lien au sol (p. ex. parce qu'il n'y a pas d'informations écologiques sur l'espèce, p. ex. parce qu'il n'y a pas de données de recherche disponibles avec indication du substrat).</p> |

Résultats et discussion

Lien avec le sol

La figure 3.1.1 présente les onze groupes d'organismes évalués, classés par pourcentage décroissant dans les quatre classes de lien au sol (de BGH4 à BGH1), en commençant par la classe la plus élevée et donc la plus fortement liée au sol. Les groupes d'organismes sessiles que sont les champignons supérieurs et les lichens terricoles présentent un lien très fort avec le sol (> 75 % dans BGH4). Les orthoptères sont très fortement liés au sol pour près d'un tiers

des espèces. Pour les mammifères, les carabidés et les gastéropodes terrestres, la proportion d'espèces dans la classe BGH4 est très faible (entre 1 et 7 %). Si l'on inclut la classe 3, dans laquelle les espèces sont encore principalement liées au sol de par leur mode de vie, deux autres groupes, les cigales chanteuses (100 % pour BGH3) et les abeilles sauvages (75 %), sont étroitement liés au sol. Seuls les amphibiens, les reptiles et les papillons diurnes se tiennent plus souvent dans d'autres milieux comme l'eau ou l'air.

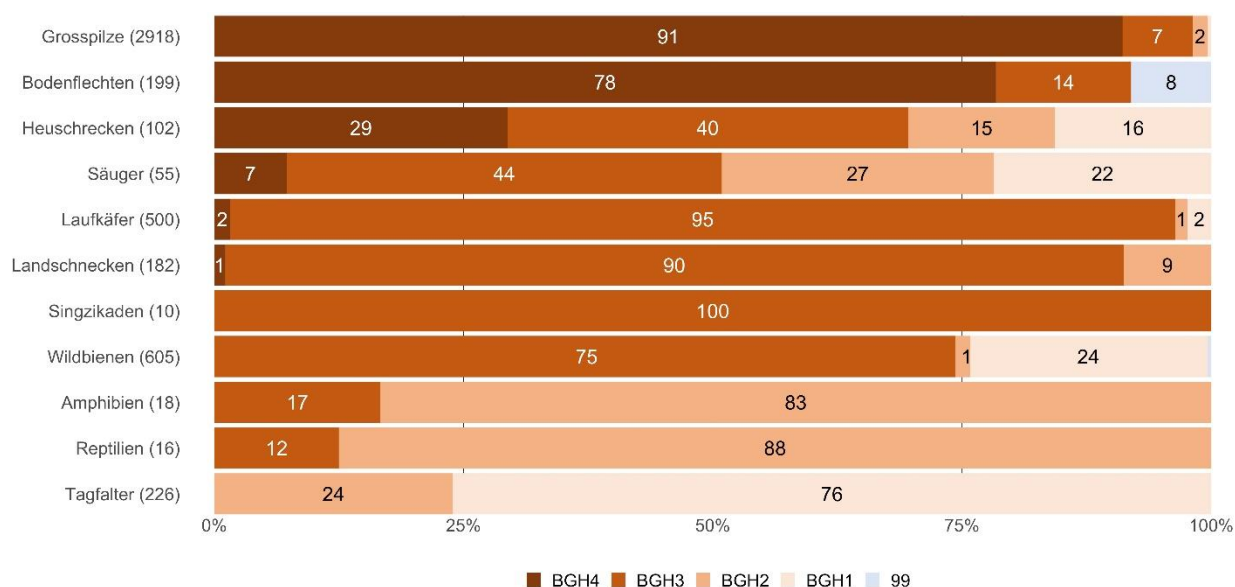


Figure 3.1.1 Pourcentages des onze groupes d'organismes évalués dans les quatre classes de lien au sol (LAS). Le nombre d'espèces par groupe est indiqué entre parenthèses.

**BGH4 = très fortement liée au sol/
 BGH3 = principalement liée au sol/ moyennement liée au sol
 BGH2 = faiblement liée au sol/
 BGH1 = non liée au sol/ pas de lien avec le sol
 99 = pas d'information/liens avec le sol inconnu.**

En résumé, on peut dire que les grands champignons et les lichens du sol sont fortement liés au sol, les sauterelles, les carabidés, les escargots terrestres, les cigales chanteurs et les abeilles sauvages sont principalement liés au sol, les mammifères sont pour moitié principalement et pour moitié faiblement liés au sol, et les amphibiens, les reptiles et les papillons diurnes sont faiblement liés au sol. Sur les 4813 espèces évaluées, 4259, ou 88,5 %, ont été classées dans les catégories BGH4 et BGH3.

Lien avec le sol et statut de menace

La figure 3.1.2 montre pour chacun des onze groupes d'organismes évalués, les pourcentages des six catégories de menace au sein des quatre classes de lien au sol. Le tableau 3.1.3 présente les pourcentages et le nombre absolu d'espèces, les quatre catégories "vulnérable/menacé", "gravement menacé", "au bord de l'extinction" et "éteint en Suisse" ayant été regroupées dans la catégorie "Menacé". De même, pour les classes de lien au sol, les classes BGH4&3 ont été regroupées comme "liées au sol" et les BGH2&1 comme "non liées au sol" afin de simplifier certaines analyses.

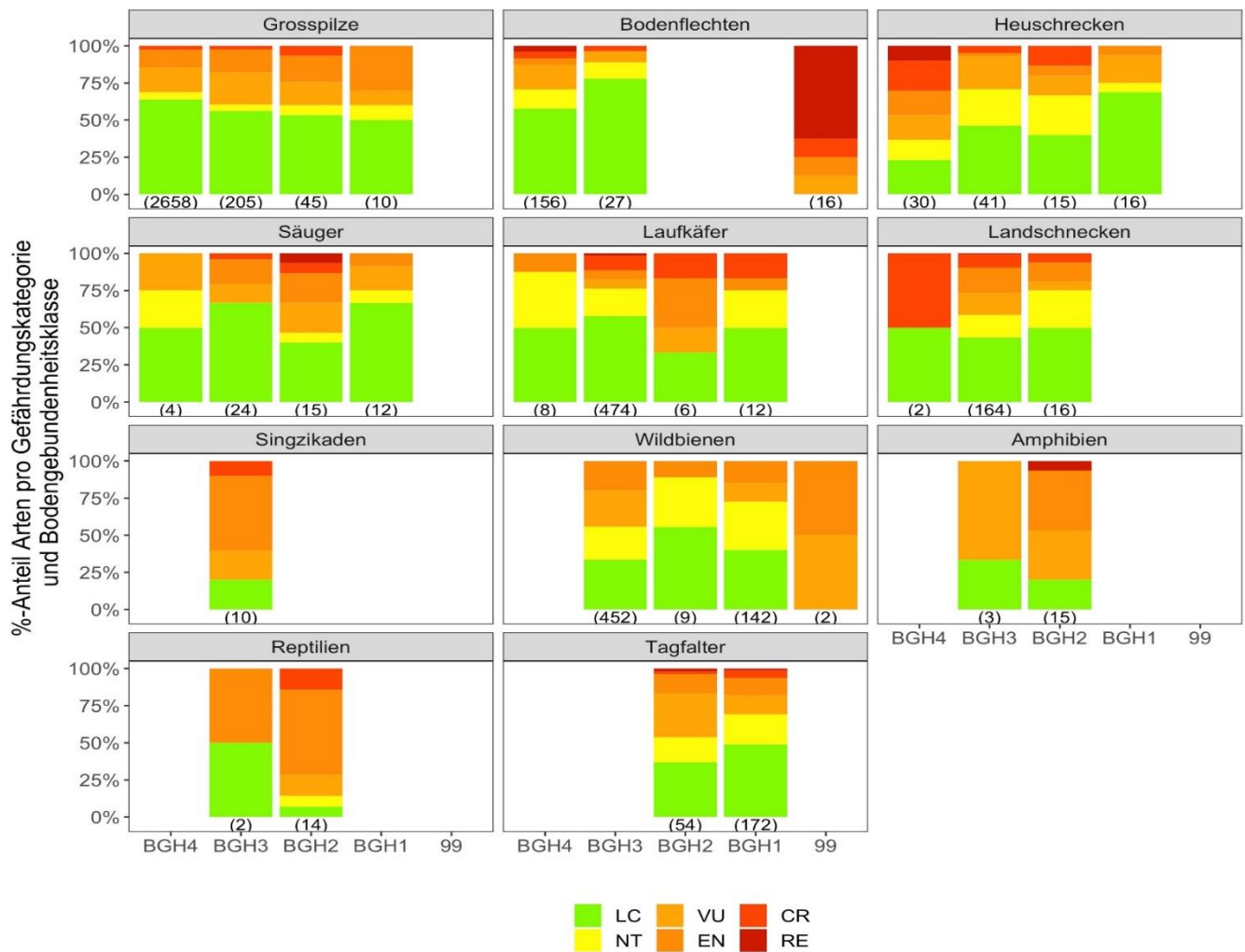


Figure 3.1.2 Pourcentages des six catégories de menace à l'intérieur des quatre classes de lien au sol (BGH) pour les onze groupes d'organismes évalués. Le nombre d'espèces par BGH est indiqué entre parenthèses.
 BGH4 = très fortement liée au sol/
 BGH3 = principalement lié au sol/moyennement liée au sol
 BGH2 = faiblement liée au sol/
 BGH1 = non lié au sol/pas de lien avec le sol LC = non menacé
 NT = potentiellement menacé
 VU = vulnérable/en danger
 EN = en danger
 CR = au bord de l'extinction
 RE = éteint en Suisse

Tableau 3.1.3 Pourcentages et nombre absolu d'espèces (entre parenthèses) des trois catégories de menace "non menacé", "potentiellement menacé" et "menacé" dans la classe de lien ausol (BGH) correspondante des onze groupes d'organismes évalués

| | BGH 4 | | | BGH 3 | | | BGH 2 | | | BGH 1 | | |
|-------------------------------|------------|-------------------------|----------|------------|-------------------------|----------|------------|-------------------------|---------|------------|-------------------------|---------|
| | Non menacé | Potentielle-ment menacé | Menacé | Non menacé | Potentielle-ment menacé | Menacé | Non menacé | Potentielle-ment menacé | Menacé | Non menacé | Potentielle-ment menacé | Menacé |
| Champignons supérieurs | 64 (1698) | 5 (130) | 31 (829) | 56 (115) | 4 (9) | 40 (81) | 53 (24) | 7 (3) | 40 (18) | 50 (5) | 10 (1) | 40 (4) |
| Lichens terricoles | 59 (92) | 12 (18) | 29 (46) | 78 (21) | 11 (3) | 11 (3) | | | | | | |
| Orthoptères | 23 (7) | 13 (4) | 64 (19) | 46 (19) | 25 (10) | 29 (12) | 40 (6) | 27 (4) | 33 (5) | 69 (11) | 6 (1) | 25 (4) |
| Mammifères | 50 (2) | 25 (1) | 25 (1) | 67 (16) | | 33 (8) | 40 (6) | 7 (1) | 53 (8) | 67 (8) | 8 (1) | 25 (3) |
| Carabes | 50 (4) | 37 (3) | 13 (1) | 58 (274) | 18 (88) | 24 (112) | 33 (2) | | 67 (4) | 50 (6) | 25 (3) | 25 (3) |
| Escargots terrestres | 50 (1) | | 50 (1) | 43 (71) | 15 (25) | 42 (68) | 50 (8) | 25 (4) | 25 (4) | | | |
| Cigales chanteuses | | | | 20 (2) | | 80 (8) | | | | | | |
| Abeilles sauvages | | | | 34 (152) | 22 (100) | 44 (200) | 56 (5) | 33 (3) | 11 (1) | 40 (57) | 32 (46) | 28 (39) |
| Amphibiens | | | | 33 (1) | | 67 (2) | 13 (2) | 7 (1) | 80 (12) | | | |
| Reptiles | | | | 50 (1) | | 50 (1) | 7 (1) | 7 (1) | 86 (12) | | | |
| Papillons diurnes | | | | | | | 37 (20) | 17 (9) | 46 (25) | 49 (84) | 20 (35) | 31 (53) |

Champignons supérieurs

Le lien au sol des champignons supérieurs est très important (fig. 3.1.1) : la majorité des 2918 espèces de champignons supérieurs indigènes en Suisse vit sur le sol, seules quelques espèces (55 espèces) ne sont que peu liées au sol (en BGH2 et BGH1).

La répartition du degré de menace est similaire dans les quatre classes de lien au sol (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3) : une bonne moitié (50-64 %) des espèces ne sont pas menacées (1842 espèces), 4-10 % sont potentiellement menacées (143 espèces), environ un tiers (31-40 %) sont menacées ou en danger d'extinction (933 espèces).

Lichens terricoles

Comme on pouvait s'y attendre, le degré de lien au sol des lichens terricoles est très élevé (fig. 3.1.1) : la majeure partie des 199 espèces de lichens terricoles indigènes en Suisse vit sur le sol, 78 % sont exclusivement (156 espèces dans BGH4) et 14 %

sont principalement (27 espèces dans BGH3) liés au sol.

Dans la classe 4 de lien au sol (BGH4), la proportion d'espèces non menacées (59 %) est inférieure à celle de la catégorie 3 (78 %) (113 espèces au total), et celle des espèces menacées est inversement proportionnelle (30 % et 11 %) (49 espèces, fig. 3.1.2 et tab. 3.1.3). Pour ces deux classes de lien au sol, la proportion d'espèces potentiellement menacées est de 11 % (21 espèces).

Orthoptères

Sur un total de 102 espèces d'orthoptères, 29 % sont exclusivement (30 espèces dans BGH4) et 40 % sont principalement (41 espèces dans BGH3) liées au sol, les 31 % restants (31 espèces) se tiennent davantage dans la végétation ou sont peu dépendantes du sol (BGH2&1, fig. 3.1.1). La plupart des espèces menacées (63 %) se trouvent dans la classe BGH4. Cela signifie que plus les sauterelles sont liées au sol, plus elles sont menacées (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3). Inversement, environ 25 % des espèces

non liées au sol sont menacées. Au total, 43 espèces ne sont pas menacées, 19 sont potentiellement menacées et 40 sont menacées, certaines étant même éteintes.

Mammifères (sans les chauves-souris)

La moitié des 55 espèces de mammifères sont exclusivement (BGH4) ou principalement (BGH3) liées au sol (fig. 3.1.2). La plupart des espèces menacées se trouvent dans la classe BGH 2 (53%, 8 espèces, tab. 3.1.3).

Carabes

Le degré de lien au sol des carabidés est très élevé (fig. 3.1.1) : seuls 3 % des 500 espèces ne sont pas principalement liées au sol (18 espèces dans BGH2 et BGH1), 95 % sont principalement liées au sol (474 espèces dans BGH3) et 2 % sont très fortement liées au sol (8 espèces dans BGH4). A l'exception de BGH2, les proportions d'espèces dans les catégories de menace sont similaires (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3). Dans la classe BGH2, la proportion d'espèces menacées est particulièrement élevée, à savoir 67 %. Au total, 120 espèces sont menacées, en danger d'extinction ou éteintes.

Escargots terrestres

Comme on pouvait s'y attendre, les escargots terrestres sont très liés au sol (fig. 3.1.1) : plus de 90 % des 182 espèces sont principalement ou fortement liées au sol (BGH4&3 ; 166 espèces). La proportion d'espèces potentiellement menacées est de 15-25 % (20 espèces), mais elles sont absentes de la classe BGH4, et le total des 73 espèces menacées représentent une proportion de 25-50 % (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3).

Cigales chanteuses

Les 10 cigales chanteuses catégorisées sont principalement liées au sol et appartiennent donc à la classe BGH3 (fig. 3.1.1). La plupart des espèces (80%, 8 espèces) de cette classe sont plus ou moins menacées (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3).

Abeilles sauvages

Sur les 605 espèces d'abeilles sauvages, 75 % sont principalement liées au sol (452

espèces, BGH3, fig. 3.1.1). Il n'y a aucune espèce menacée dans la classe BGH 4 et 44 % (200 espèces) sont menacées dans la classe BGH3 (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3).

Amphibiens

Les 18 espèces d'amphibiens sont pour la plupart (83 %) faiblement (15 espèces, BGH2) liées au sol (fig. 3.1.1), et entre 66 et 80 % (14 espèces) sont menacées dans la classe BGH &2 (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3).

Reptiles

Comme les amphibiens, les 16 espèces de reptiles sont principalement (12 %, 2 espèces, BGH3), mais surtout faiblement liées au sol (88 %, 14 espèces, BGH2, fig. 3.1.1 et 3.1.2). Dans la classe BGH3, une espèce est menacée et une autre n'est pas menacée (tab. 3.1.3).

Papillons diurnes

Comme on pouvait s'y attendre, les 226 espèces de papillons diurnes ne sont que faiblement (BGH2) ou pas (BGH1) liées au sol (fig. 1), 17-20 % étant potentiellement menacées (44 espèces) et 31-46 % (78 espèces) fortement menacées (fig. 3.1.2, tab. 3.1.3).

En conclusion, il s'avère que

- chez les champignons supérieurs, les lichens terricoles, les sauterelles, les carabidés, les limaces, les cigales et les abeilles sauvages, une grande partie des espèces menacées dépendent du sol comme habitat (1770 espèces dans BGH 4&3, 147 espèces dans BGH 2&1).
- chez les mammifères, les amphibiens, les reptiles et les papillons diurnes, seules quelques espèces menacées sont liées au sol (13 espèces dans BGH 4&3, 161 espèces dans BGH 2&1).
- sur un total de 4813 espèces évaluées, une bonne moitié, soit 2721 (56 %) ne sont pas menacées, 504 (11 %) sont potentiellement menacées et 1587 (33 %) sont menacées.

Des différences apparaissent dans le **degré de menace** au sein des classes de lien au sol :

- Dans la classe BGH4, très fortement liée au sol, deux tiers des espèces (63 %) ne sont pas menacés, un tiers est potentiellement menacé (6 %) ou menacé (31 %).
- Dans la classe BGH3, principalement liée au sol, près de la moitié (48 %) des espèces ne sont pas menacées et une bonne moitié sont potentiellement menacées (17 %) ou menacées (35 %).
- Dans la classe BGH2, faiblement liée au sol, un bon tiers (39 %) des espèces ne sont pas menacées et deux tiers sont potentiellement menacées (14 %) ou menacées (47 %).
- Dans la classe BGH1 non liée au sol, près de la moitié (47 %) des espèces ne sont pas menacées, une bonne moitié sont potentiellement menacées (24 %) ou menacées (29 %).
- Parmi les 4259 espèces liées au sol (BGH 4&3), un peu plus de la moitié, soit 58 % ou 2476 espèces, ne sont pas menacées et 42 % ou 1783 espèces sont menacées ou potentiellement menacées.
- Pour 553 espèces classées, le sol est un habitat peu important (BGH 2&1), la part des espèces potentiellement menacées et menacées est plus élevée (56 % ou 308 espèces) que celle des espèces non menacées (44 % ou 245 espèces).

Conclusions et perspectives

Le présent travail donne un premier aperçu de l'importance du sol en tant qu'habitat pour onze groupes d'animaux, de champignons et de lichens sélectionnés. Pour la première fois, des informations sur le degré de menace du sol en Suisse ont été élaborées sur la base des espèces de la Liste rouge.

Les classifications initiales du lien au sol se basaient exclusivement sur les cycles de vie des insectes. Les classes de lien au sol ont été adaptées de manière à ce que les vertébrés, les escargots terrestres ainsi que les

lichens et les champignons puissent également être classés. La détermination du lien au sol des espèces de la Liste rouge est nouvelle et ouvre la voie à d'autres études. Le lien au sol des espèces de la Liste rouge étudiées est très élevé : sur un total de 4813 espèces évaluées, 89 % sont très fortement ou principalement liées au sol, en particulier les champignons supérieurs et les lichens du sol. Les sauterelles, les carabes, les escargots terrestres, les cigales chanteurs et les abeilles sauvages présentent un lien moyen avec le sol, les mammifères (à l'exception des chauves-souris) sont faiblement liés au sol. Les amphibiens, les reptiles et les papillons diurnes ne dépendent pratiquement pas du sol pour leur habitat.

Parmi les espèces très liées au sol, environ un tiers sont menacées ou potentiellement menacées. Les études ne montrent pas de plus grande menace pour les espèces fortement liées au sol que pour celles qui ne sont pas ou peu liées au sol. Cette nouvelle classification innovante du lien au sol a permis de déterminer pour la première fois des espèces cibles : Des espèces qui sont à la fois menacées et classées en BGH 4 et qui représentent donc des types de sol importants pour la diversité des espèces et des habitats. A l'avenir, la qualité du sol sera un élément supplémentaire à prendre en compte dans les mesures de promotion spécifiques aux régions pour les espèces cibles dignes de protection et les espèces indicatrices prioritaires nationales (OFEV 2019).

Ce travail montre la forte dépendance de nombreux organismes vivants vis-à-vis du sol et leur vulnérabilité parfois importante. A l'avenir, un monitoring ciblé du sol à l'aide du méta-barcoding de l'ADN pourra aider à détecter les organismes menacés, en particulier ceux des classes de lien au sol 4 et 3, et à créer une base de données de génétique moléculaire correspondante. Grâce à sa base de génétique moléculaire, le méta-barcoding de l'ADN offre une perspective

supplémentaire aux relevés morphologiques des espèces prioritaires au niveau national (p. ex. les champignons supérieurs).

Par ailleurs, le WSL a récemment établi un méta-barcoding de l'ADN pour les annélides (Annelida). Cette méthode pourrait être testée sur des échantillons du BDM, NABO, KABO et/ou LWF. Elle permettrait de déterminer la diversité des annélides, et plus particulièrement des vers de terre (oligo-chètes), dans l'ADN du sol. Des échantillons d'ADN sont déjà disponibles pour tous les réseaux de surveillance (Agroscope : BDM, NABO, KABO ; WSL : LWF, NABO). Pour le nouvel essai WZI prévu (début en 2022), il serait possible pour la première fois d'effectuer des analyses de diversité sur l'ensemble du profil. Les échantillons pourraient être stratifiés selon les grands habitats de TypoCH et un statut RL pourrait être attribué aux espèces présentes selon les critères de l'UICN. Ces travaux ouvriraient la voie à une première liste rouge des vers de terre.

Sur la base de ces résultats, le nombre suivant d'espèces cibles (espèces menacées dans la classe BGH4) a pu être déterminé : 830 pour les champignons supérieurs, 48 pour les lichens du sol, 23 pour les sauterelles, 2 pour les mammifères, 4 pour les carabes, et 1 pour les escargots terrestres.

Littérature

- Amelung W., Blume H.-P., Fleige H., Horn R., Kandler E., Kögel-Knabner I., Kretzschmar R., Stahr K., Wilke B.-M. (2018). in: Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Spektrum, Auflage 17, 750 S.
- Amiet F. (1994). Rote Liste der gefährdeten Bienen der Schweiz. In: Duelli P. (Red.). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Vollzug Umwelt: 38–44.
- BAFU (2019). Liste der Nationalen Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1709: 99 S.
- Duelli P. et al. (1994). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Vollzug Umwelt: 79 S.
- Gobat J.-M., Aragno M., Matthey W. (2010). Le sol vivant. Payot. 848 S.
- Klaus G., Cordillot F., Künzle I. (2021). Zustand der Artenvielfalt in der Schweiz. Synthese Rote Listen, Stand 2020. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern; Info Species, Neuchâtel. Umwelt-Zustand.
- Lehmitz R., Römke J., Graefe U., Beylich A., Krück S (2016). Rote Liste und Gesamtartenliste der Regenwürmer (Lumbricidae et Criodrilidae) Deutschlands. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (4), 565 - 590.
- Marggi W. (1994). Rote Liste der gefährdeten Laufkäfer und Sandlaufkäfer (Carabidae) der Schweiz. In: Duelli P. (Red.). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Vollzug Umwelt: 55–59.
- Monnerat C., Thorens P., Walter T., Gonseth Y. (2007). Rote Liste der Heuschrecken der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Bern; Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug 0719: 62 S.
- Monney J.-C., Meyer A. (2005). Rote Liste der gefährdeten Reptilien der Schweiz. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, und Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz, Bern. BUWAL-Reihe: Vollzug Umwelt. 50 S.
- Rüetschi J., Stucki P., Vicentini H., Müller P. (2012). Rote Listen der gefährdeten Muschel- und Schneckenarten (Mollusca) der Schweiz, Stand 2010. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Bern; Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug 1216: 148 S.
- Scheidegger C., Clerc P. (2002). Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève CJBG. Vollzug Umwelt: 124 S.
- Schmidt B.R., Zumbach S. (2005). Rote Liste der gefährdeten Amphibien der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz karch, Bern. Vollzug Umwelt: 48 S.
- Senn-Irlet B, Bieri G, Egli S (2007). Rote Liste der gefährdeten Grosspilze der Schweiz. Vollzug Umwelt: Nr. 0718: 92 S.
- Turner, H., Wüthrich, M., Rüetschi, J. (1994). Rote Liste der gefährdeten Weichtiere der Schweiz. In: Duelli, P. (Red.). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz: 75-79. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL-Reihe Rote Listen, EDMZ Bern, 97 S.
- Wermeille E., Chittaro Y., Gonseth Y. (2014). Rote Liste Tagfalter und Widderchen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 1403: 97 S.

3.2 Paramètres microbiologiques dans l'observation cantonale des sols – une synthèse

Claudia Maurer¹, Dominik Müller², Marco Lanfranchi³, Peter Weisskopf⁴, Hansrudolf Oberholzer⁴, Florian Walder⁴

¹Fachstelle Boden Kanton Bern, 3052 Zollikofen

²Abteilung für Umwelt, Buchenhof, 5001 Aarau

³Amt für Natur und Umwelt, Gürtelstrasse 89, 7001 Chur

⁴Agroscope, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich

Des sols sains sont essentiels pour des services écosystémiques importants tels que la production agricole, l'approvisionnement en eau potable et la décomposition de la matière organique (Kibblewhite et al. 2008).

Les organismes du sol jouent un rôle important dans la transformation et la décomposition de la matière organique, dans les cycles des éléments nutritifs et dans la formation de l'humus et de la structure du sol (Bommarco et al. 2013).

Les organismes du sol réagissent de manière sensible aux perturbations chimiques et physiques de leur habitat et signalent les changements de l'état du sol de manière précoce et intégrée (Bünemann et al. 2006). Lors de la surveillance et de l'évaluation de la fertilité des sols dans le cadre de l'exécution cantonale de la "protection des sols", il convient de relever davantage de paramètres pédobiologiques, notamment dans le cadre du monitoring à long terme (Observation nationale des sols NABO, Observation cantonale des sols KABO). Cela permet d'évaluer l'état biologique des sols, de détecter à temps les changements insidieux et de prendre les mesures correctives nécessaires.

Les cantons d'Argovie (AG), de Berne (BE) et des Grisons (GR) relèvent depuis plus de dix ans des paramètres microbiologiques de base sur leurs sites d'observation à long terme (Mösch et Hunziker 2015, VOL 2017, Bräm 2011). Les méthodes et les bases d'interprétation ont été élaborées en collaboration entre la Confédération, les cantons et les instituts de recherche (VBB 2009). La présente évaluation commune des données collectées entre 2004 et 2014 a pour but de

mettre en évidence, à l'aide d'un ensemble de données plus important, les éventuels changements dans le temps, changements liés à l'utilisation, ainsi que d'évaluer les paramètres utilisés et le design d'échantillonnage et de formuler des recommandations pour la suite des travaux.

Matériel et méthodes

Échantillonnage et sites

Les échantillons ont en principe été prélevés selon la méthode de la NABO (Hug et al. 2018). Le design d'échantillonnage des trois cantons présente cependant des différences dans le nombre d'échantillons composites (AG 4, BE 1, GR 3, de 25 prélèvements chacun), la profondeur d'échantillonnage et l'utilisation du sol. Les échantillons ont été prélevés au printemps, avant le début de la végétation et le premier épandage d'engrais, à une profondeur de 0 à 20 cm sur les terres arables (A) et de 0 à 10 cm sur les prairies (G). Dans le canton d'AG, des surfaces de protection de la nature (N) recouvertes d'humus ont également été échantillonnées afin d'étudier la régénération de la couche d'humus à l'aide des paramètres microbiologiques de base. Dans le canton de BE, des échantillons supplémentaires ont été prélevés à une profondeur de 0 à 5 cm sur un site de culture pour répondre à des questions spécifiques concernant l'enrichissement de l'humus dans les premiers centimètres en cas de semis direct (A5 : labouré ; AD5 : semis direct). Au total, les données de 69 sites ayant fait l'objet de trois prélèvements ou plus ont été prises en compte dans les analyses.

Analyses et paramètres de mesure

Les échantillons ont été prélevés, préparés, stockés et analysés selon les méthodes de référence des stations fédérales de recherches agronomiques (stations fédérales de recherches ART et ACW 1996) : la respiration basale (BA) ainsi que la biomasse microbienne (BM) avec les méthodes de respiration induite par le substrat (SIR) ou d'extraction par fumigation pour le carbone et

l'azote microbiens (FEC, FEN). Un échantillon de référence de laboratoire a été utilisé pour contrôler la stabilité des mesures (Oberholzer et Weisskopf 2010). Le quotient métabolique (qCO_2) a été calculé comme mesure de l'efficacité énergétique d'une communauté de microorganismes (BA : BM (SIR)).

Tableau 3.2.1 Données statistiques (médiane, quartiles 25% et 75%) de la variation relative par année ainsi que de la dispersion relative des droites de régression (coefficient de variation CV de la Root Mean Square Error RMSE) pour les cinq paramètres microbiologiques par utilisation du sol. BA : respiration basale ; FEC, FEN : biomasse microbienne-carbone, azote avec extraction par fumigation ; SIR : biomasse microbienne avec respiration induite par le substrat ; qCO_2 : quotient métabolique (BA:BM (SIR))

| | Nombre de sites Type d'utilisation | Variation relative par an (%) | | | Dispersion relative de la droite de régression (CV (RMSE, %)) | | |
|---------|---------------------------------------|-------------------------------|---------|-----------------|---|---------|-----------------|
| | | 25% Quartile | Médiane | 75% Quartile | 25% Quartile | Médiane | 75% Quartile |
| BA | 23 Grandes cultures | -2.1 | 0.7 | 5.1 | 4.2 | 6 | 13.3 |
| FEN | | -2 | 0.7 | 3.7 | 5.7 | 8.9 | 11.4 |
| FEC | | -1.6 | 0.3 | 2 | 2.5 | 7.3 | 10.5 |
| SIR | | -2.3 | 0.1 | 3.1 | 4.2 | 8.4 | 14.9 |
| qCO_2 | | -1.1 | 1 | 2.2 | 4 | 7.3 | 9.3 |
| BA | 26 Prairies | -1.1 | 1.2 | 3 | 4 | 5.9 | 8.6 |
| FEN | | -1.1 | 1.4 | 3 | 5.3 | 7.7 | 12.8 |
| FEC | | -0.7 | 0.9 | 2.4 | 3.2 | 5.1 | 7.5 |
| SIR | | -1.1 | 0.9 | 3.1 | 4.6 | 6.4 | 9.9 |
| qCO_2 | | -1.1 | 0.3 | 2 | 4.7 | 5.9 | 7.3 |
| BA | 6 Sites naturels protégés | 3.6 | 5.4 | 9.5 | 2.9 | 4.1 | 7.8 |
| FEN | | 3.4 | 9.6 | 11.8 | 7.9 | 10.8 | 12.8 |
| FEC | | 6.1 | 7.5 | 11 | 6.8 | 8.1 | 10.2 |
| SIR | | 3.4 | 7 | 11.8 | 3.6 | 5.7 | 5.9 |
| qCO_2 | | -3.5 | -1.1 | 1.8 | 2.8 | 5.4 | 6.3 |
| BA | 7 Labour | -5 | 10.2 | 29 | 12.6 | 31.2 | 32.1 |
| FEN | | -11.1 | -2 | 3 | 6.1 | 16.8 | 20.2 |
| FEC | | -8.6 | 1.4 | 7.3 | 4.8 | 11.2 | 13.9 |
| SIR | | -6.2 | 3.3 | 14.9 | 9.8 | 12.4 | 17.8 |
| qCO_2 | | 1.5 | 5.9 | 13.3 | 6.8 | 14.6 | 19.6 |
| BA | 7 Semis direct | -6.3 | -1.5 | 2.1 | 10.2 | 12.3 | 16.8 |
| FEN | | -14 | -10.2 | -4.9 | 4.3 | 14.2 | 31.2 |
| FEC | | -5.9 | -2.9 | -1.8 | 1.8 | 10.4 | 12.2 |
| SIR | | -7.2 | -3.3 | 3.8 | 0.6 | 3.4 | 6.5 |
| qCO_2 | | 0.2 | 1.6 | 7.2 | 8.8 | 11.1 | 12 |
| BA | 4 Référence | 1.2 | 1.3 | 2.1 | 0.8 | 1.4 | 1.7 |
| FEN | | -4.9 | -2.2 | -0.2 | 2.2 | 3.8 | 6.5 |
| FEC | | -1.1 | -0.7 | -0.1 | 0.8 | 2.1 | 2.8 |
| SIR | | -0.8 | -0.2 | 0.6 | 1 | 1.4 | 2.4 |
| qCO_2 | | | | | | | |

Statistique

Pour caractériser la variation dans le temps, la régression linéaire entre les valeurs mesurées et les dates d'analyse a été calculée

pour chaque paramètre sur chaque site (= variation moyenne typique du site). Pour comparer la variation annuelle entre les différents paramètres, les variations relatives

des paramètres et leur dispersion sur l'axe du temps ont également été étudiées. La variation relative a été exprimée par la variation du coefficient de régression par rapport à la variation moyenne du paramètre. Pour décrire la dispersion de la variation relative, on a utilisé le coefficient de variation (CV= dispersion relative des valeurs individuelles par rapport à la valeur moyenne) du RMSE (Root Mean Square Error= mesure de la dispersion absolue des valeurs individuelles autour de la ligne de régression).

Résultats et discussion

Changements relatifs au fil du temps

Les résultats des changements relatifs ainsi que la dispersion relative autour des lignes de régression sont résumés dans le tableau 3.2.1 pour les paramètres et les utilisations du sol étudiés. Pour les sites de cultures et de prairies (A, G) sans changement d'exploitation notable au cours de la période observée, les différences annuelles étaient faibles. Les médianes des variations annuelles relatives se situent entre -2% et +5% pour tous les paramètres, les dispersions relatives sont en général <10%.

Tableau 3.2.2 : Nombre de changements positifs (valeurs croissantes), négatifs (valeurs décroissantes), significativement positifs (rouge), significativement négatifs (rouge) constatés ainsi que leurs totaux ou pourcentages par paramètre et utilisation du sol (BA : respiration du sol (respiration basale) ; FEC, FEN : biomasse microbienne - carbone, azote avec extraction par fumigation ; SIR : biomasse microbienne avec respiration induite par le substrat ; qCO₂ : quotient métabolique (BA:BM (SIR)))

| Utilisation du sol | Change-ment | BA | FEN | FEC | SIR | qCO ₂ | Nombre de changements positifs |
|-------------------------------------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|------------------|--------------------------------|
| Grandes cultures | positif | 16 / 3 | 14 / 2 | 12 / 2 | 12 / 1 | 14 / 0 | 8 |
| | négatif | 7 / 1 | 9 / 0 | 11 / 1 | 11 / 1 | 9 / 1 | 4 |
| Prairies | positif | 19 / 4 | 17 / 2 | 17 / 2 | 17 / 2 | 14 / 1 | 11 |
| | négatif | 7 / 0 | 9 / 0 | 9 / 0 | 9 / 1 | 12 / 0 | 1 |
| Zone de protection de la nature | positif | 6 / 4 | 6 / 3 | 6 / 5 | 6 / 4 | 2 / 0 | 16 |
| | négatif | 0 / 0 | 0 / 0 | 0 / 0 | 0 / 0 | 4 / 2 | 2 |
| Labour | positif | 5 / 0 | 2 / 0 | 4 / 0 | 5 / 0 | 6 / 0 | 0 |
| | négatif | 2 / 0 | 5 / 0 | 3 / 0 | 2 / 0 | 1 / 0 | 0 |
| Semis directe | positif | 2 / 0 | 0 / 0 | 1 / 0 | 2 / 2 | 6 / 1 | 3 |
| | négatif | 5 / 0 | 7 / 0 | 6 / 0 | 5 / 2 | 1 / 0 | 2 |
| Nombre de changements significatifs | | 12 17% | 7 10% | 10 15% | 13 19% | 5 7.2% | |

Par contre, sur les surfaces de protection du milieu naturel (N), tous les paramètres mesurés, à l'exception du quotient métabolique, ont présenté des variations positives de 6 à 10 % en moyenne, avec des écarts relatifs <10 %. Cette augmentation de la biomasse et de la respiration s'explique par un effet de régénération de la biologie après enlèvement de l'humus et le manque de sources d'énergie et de nutriments qui en résulte.

Les échantillons de champs cultivés prélevés dans les 5 premiers centimètres (A5, AD5) montrent à la fois de plus larges bandes de changements relatifs et une plus grande dispersion relative par rapport à

ceux prélevés entre 0 et 20 cm de profondeur. Des changements ont eu lieu entre les paramètres étudiés et entre les méthodes de culture : dans le procédé incluant le labour (A5), FEN a diminué, FEC est resté stable, SIR et qCO₂ ont augmenté ; en technique de semis direct (AD5), la biomasse microbienne a diminué, la respiration basale et le quotient métabolique sont restés identiques. La médiane de la dispersion relative des deux méthodes de travail du sol était >10%.

A l'exception d'un échantillon de référence de laboratoire pour l'azote de la biomasse FEN, tous les échantillons de référence se

sont comportés de manière stable avec de faibles dispersions.

Changements en fonction de l'utilisation

Le tableau 3.2.2 présente toutes les modifications positives (valeurs de mesure croissantes), négatives (valeurs de mesure décroissantes), significativement positives et significativement négatives mesurées ainsi que leurs totaux ou pourcentages par paramètre et par utilisation. Au cours des onze

années d'observation, les deux tiers des sites de culture (A) ont présenté des valeurs tendanciellement croissantes pour BA et FEN, tandis que pour FEC et SIR, les changements positifs et négatifs se sont équilibrés. Seuls 12 de ces changements étaient significatifs, dont huit positifs (trois fois BA, deux fois FEN et FEC, une fois SIR) et quatre négatifs (une fois BA, FEC, SIR, qCO_2).

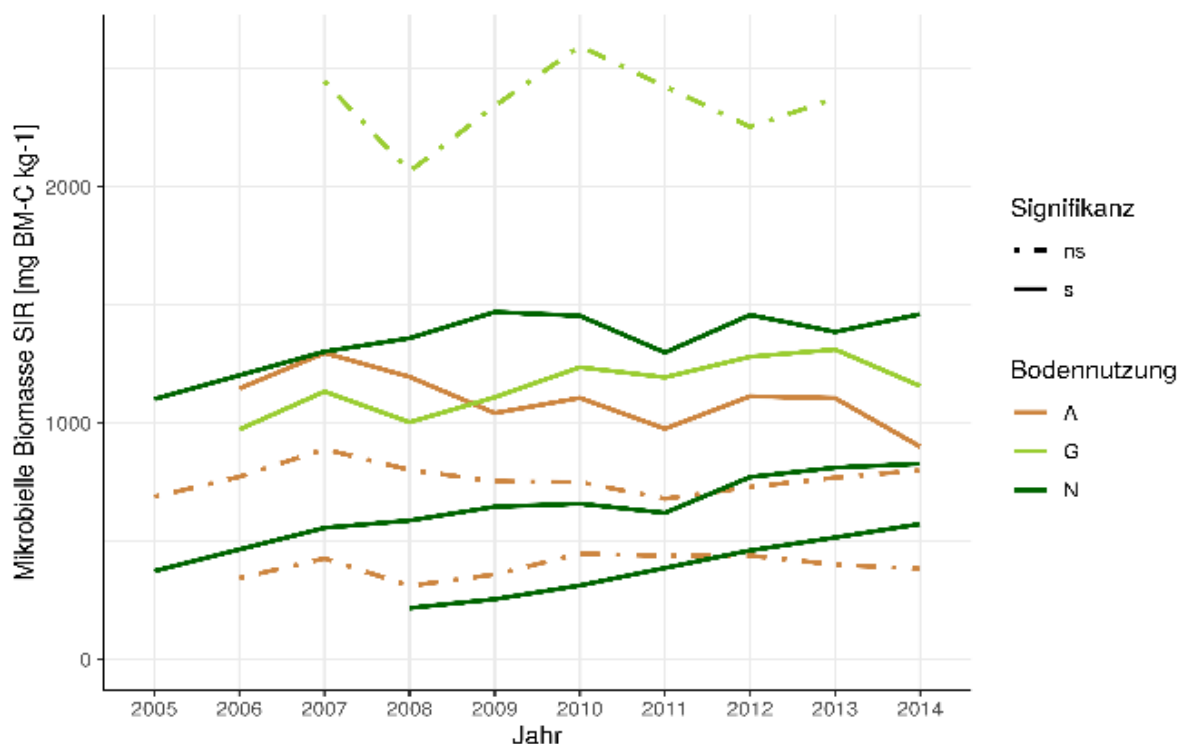


Figure 3.2.1 Variation temporelle de la biomasse microbienne SIR de trois sites de grandes cultures, de trois sites de protection de la nature et de deux sites de prairies avec quatre dates ou plus. Les lignes étirées montrent des changements statistiquement prouvés, les lignes interrompues non. (SIR : biomasse microbienne avec respiration induite par le substrat ; A : terres arables ; G : prairies ; N : sites naturels protégés ; ns : non significatif ; s : significatif).

Dans les prairies (G), de nombreuses évolutions positives ont été mesurées pour tous les paramètres, mais seules onze d'entre elles étaient significatives (quatre fois BA, deux fois FEC et SIR, une fois qCO_2). La biomasse SIR n'a diminué de manière significative qu'une seule fois.

Les sites naturels protégés (N) ont montré les changements temporels les plus significatifs de toutes les formes d'utilisation : à l'exception du quotient métabolique, toutes les valeurs de la biomasse et de respiration ont augmenté. Au total, les augmentations

ont été significatives à 18 reprises (trois fois FEN, quatre fois BA et SIR, cinq fois FEC), et des diminutions significatives du quotient métabolique ont été constatées à deux reprises. La figure 3.2.1 montre à titre d'exemple l'évolution dans le temps de la biomasse microbienne SIR de trois sites de culture et de protection de la nature ainsi que de deux sites de prairies avec quatre dates ou plus.

Dans les 5 premiers centimètres des surfaces labourées (A5), on a observé plus de changements positifs que négatifs pour BA

et SIR, le contraire pour FEN et autant de changements positifs que négatifs pour FEC, tous non significatifs. Pour le semis direct (AD5), les quatre paramètres présentent en général plus de diminutions que d'augmentations, avec un effet significatif pour le SIR (deux fois positif et deux fois négatif).

La proportion de changements significatifs se situe entre 10 et 20% (SIR 19%, BA 17%, FEC 15%, FEN 10%).

Constats pour l'observation à long terme

Trois méthodes indépendantes ont été utilisées pour décrire les sites du point de vue de la microbiologie du sol. Alors que les deux méthodes de détermination du carbone de la biomasse microbienne (SIR, FEC) ont donné des résultats très similaires ($R^2 = 0,9$), la respiration du sol BA se distinguait un peu plus de ces paramètres (BA à SIR : $R^2 = 0,85$; BA à FEC : $0,81$). Cela indique que les deux paramètres des biomasses microbiennes présentent une redondance plus élevée. Pour une compréhension aussi complète que possible, il est donc préférable de combiner un paramètre de biomasse avec le paramètre d'activité de la respiration du sol.

Sur quatre échantillons composites prélevés par site, on a constaté une très grande concordance entre les différentes valeurs et la moyenne de tous les échantillons composites (BA : $R^2 = 0,93$; FEC : $R^2 = 0,96$; FEN : $R^2 = 0,97$; SIR : $R^2 = 0,93$; fig. 3.2.2). Cela indique que les valeurs de différents échantillons composites de la même surface de prélèvement sont très stables par site et par an et qu'une réduction du nombre d'échantillons composites est justifiable pour des raisons d'effort.

En plus du choix des paramètres et du nombre d'échantillons composites, le nombre de dates de prélèvement d'un site semble également important pour une conception efficace de l'échantillonnage pour un suivi à long terme, afin que d'éventuels changements puissent être détectés avec certitude. Les présentes séries de mesures,

qui ont duré onze ans, ont montré que les changements pouvaient surtout être détectés lorsqu'un site avait été échantillonné au moins cinq fois au cours de cette période.

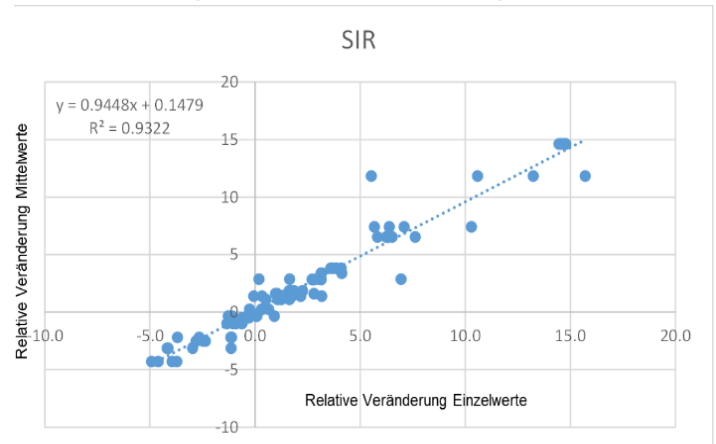


Figure 3.2.2 Comparaison de la variation relative de la biomasse microbienne SIR, basée sur les quatre valeurs individuelles ou sur les valeurs moyennes qui en résultent pour les échantillons de sol du canton d'Argovie. (SIR : biomasse microbienne avec respiration induite par le substrat).

Conclusions

Malgré des stratégies différentes en ce qui concerne l'intervalle de mesure et l'utilisation principale, toutes les observations cantonales du sol poursuivent le même objectif : observer et évaluer la fertilité du sol afin de détecter à temps d'éventuels changements et de prendre à temps les mesures correctives nécessaires.

Sur les sites dont l'utilisation est restée constante pendant de nombreuses années - qu'il s'agisse de champs (A) avec assolement régulier ou de prairies (G) - les paramètres microbiologiques mesurés permettent de déterminer l'état de base typique du site. Par état de base typique du site, nous entendons les plages de valeurs typiques de l'activité microbienne et de la biomasse pour chaque site, en fonction de la gestion et des caractéristiques du site (granulométrie, teneur en matière organique, pH, situation, climat). On ne s'attend pas à de grands changements au fil du temps et on ne les a pas constatés.

Par contre, les surfaces de protection de la nature (N) présentent une structure du sol

nettement modifiée par rapport à l'état initial et des conditions de vie modifiées en conséquence pour la biologie du sol. Ici, tous les paramètres microbiologiques du sol relevés ont constamment augmenté au cours de l'évolution du sol (processus de régénération par ré-enrichissement de la matière organique du sol), mais n'ont pas (encore) atteint la valeur comparable à celle d'une prairie pendant la période observée.

L'échantillonnage régulier des surfaces de protection de la nature montre que les paramètres microbiologiques utilisés permettent de constater des changements importants. Le relevé de la biomasse microbienne (à l'avenir, pour des raisons techniques de mesure, uniquement FEC/FEN) et de la respiration basale BA ainsi que le calcul du quotient métabolique (qCO_2) sont appropriés pour l'observation à long terme. Afin de créer de bonnes conditions pour la pertinence statistique des études pédobiologiques, les mesures devraient être effectuées suffisamment longtemps et fréquemment, de préférence chaque année pendant cinq ans ou au moins cinq fois sur une période plus longue. Comme l'utilisation du sol, mais aussi la profondeur du sol, ont une grande influence sur la mise en évidence de changements temporels importants des paramètres relevés, il ne faut pas échantillonner en dessous d'une profondeur de 0 à 10 cm pour l'observation à long terme. Il s'est également avéré qu'avec une stratégie d'échantillonnage comportant 25 prélèvements régulièrement répartis, il est possible d'utiliser qu'un seul échantillon composite par surface d'échantillonnage. En outre,

pour des études comparatives sur de longues périodes, le système de mesure doit être stable ; à cet effet, les échantillons de référence de laboratoire doivent impérativement être analysés.

L'article original se trouve à l'adresse suivante <https://www.agrar-forschungschweiz.ch/fr/2020/08/comment-mesurer-la-vie-dans-le-sol/>

Littérature

- Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, 2009. Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick.
- Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts, S. G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* 28, 230-238.
- Bräm, E., 2011. Bodenbiologische Untersuchungen in Graubünden. VBB-Bulletin Nr. 13, 14-17.
- Bünemann, E. K., Schwenke, G. D. & Van Zwieten, L., 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms – a review. *Australian Journal of Soil Research* 44, 379-406.
- Eidgenössische Forschungsanstalten ART und ACW, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope. Band 2: Bodenuntersuchungen zur Standort-Charakterisierung.
- Hug, A. S., Gubler, A., Gschwend, F., Widmer, F., Oberholzer, H.-R., Frey, B. & Meuli, R. G., 2018. NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. *Agroscope Science* 63, 55 S.
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K. & Swift, M. J., 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences* 363: 685-701.
- Mösch D. & Hunziker M., 2015. 10 Jahre Bodenmikrobiologie-Monitoring. *UMWELT AARGAU Sondernummer* 45, 11-15.
- Oberholzer, H.-R. & Weisskopf, P., 2010. Anforderungen an die Langzeitbeobachtung biologischer Bodeneigenschaften mit mikrobiologischen Parametern. *Bulletin BGS* 30, 69-74.
- VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2017. *Bodenbericht 2017*. 129 S.

3.3 Monitoring de la biologie du sol - Evaluation des données microbiologiques du sol des sites cantonaux et nationaux d'observation des sols

Anna Hug¹, Janine Moll¹, Claudia Maurer², Marco Lanfranchi³, Dominik Müller⁴ und Andreas Gubler¹

¹ Nationale Bodenbeobachtung, Agroscope

² Fachstelle Boden Kanton Bern, 3052 Zollikofen

³ Amt für Natur und Umwelt, Gürtelstrasse 89, 7001 Chur

⁴ Abteilung für Umwelt, Buchenhof, 5001 Aarau

Les sols remplissent de nombreuses fonctions importantes : Ils sont à la base de la production agricole et forestière, constituent un habitat pour la flore et la faune et jouent un rôle important dans le régime des eaux, le cycle des éléments nutritifs et la filtration des polluants. Pour préserver leur fertilité, ils doivent être utilisés de manière durable. Les informations sur l'état et l'évolution des sols sont très importantes pour déterminer si les fonctions des sols sont maintenues à long terme. Jusqu'à présent, les données sur les sols à haute résolution spatiale et temporelle sont rares. Il est donc d'autant plus important d'utiliser de manière optimale les synergies des programmes de surveillance des sols existants. Pour ce faire, nous avons évalué les données de quatre réseaux de mesures biologiques des sols (national : NABO ; cantonal : KABO AG, KABO BE et KABO GR). Nous avons élaboré des solutions qui permettent le traitement et l'interprétation des données malgré certaines différences méthodologiques. En outre, nous avons évalué les valeurs microbiologiques mesurées selon les valeurs de référence d'Oberholzer et al. (1999) et présenté un indicateur d'état Q (Hug et al. 2021), qui indique l'état actuel (microbiologique du sol) d'un site.

1 Contexte

Le monitoring pédobiologique de l'Observation nationale des sols (NABObio) a débuté en 2012 par l'échantillonnage annuel de sites sélectionnés (Hug et al. 2018). Les

analyses biologiques des sols dans les observatoires cantonaux des sols (OCS) sont en cours depuis environ 15 ans. Trois de ces KABO utilisent les mêmes méthodes que NABObio pour déterminer les paramètres microbiologiques totaux (Maurer et al. 2020). Tant le NABO que les trois cantons font déterminer la biomasse microbienne et la respiration basale par le groupe "Interactions plantes-sol" d'Agroscope, conformément aux méthodes de référence des stations fédérales de recherche agronomique (FAL, FAW, RAC, 1998). L'utilisation des mêmes méthodes standardisées et la réalisation des analyses par le même laboratoire sont des conditions importantes pour une évaluation commune judicieuse des données. C'est la seule façon d'exclure dans une large mesure les influences méthodologiques ou analytiques lors de l'interprétation des résultats.

2 Objectifs et questions

Les objectifs de ce projet commun étaient les suivants :

- évaluer ensemble les données des réseaux de mesures pédobiologiques du NABO et de trois KABO ;
- créer ainsi une base de données plus large permettant d'évaluer l'évolution à long terme des paramètres biologiques totaux des sols ;
- d'identifier les questions et problèmes en suspens lors des évaluations communes ;
- de déduire des indicateurs à long terme sur la base de données communes.

Nous avons déduit les questions suivantes de ces objectifs :

1. Comment les données de différents réseaux de mesure peuvent-elles être évaluées et représentées ensemble ?
2. Comment les différences méthodologiques (notamment en ce qui concerne la périodicité et l'efficacité) peuvent-elles être prises en compte ?
3. Comment gérer l'échantillonnage ?
4. Comment le quotient métabolique (respiration basale par unité de biomasse microbienne, qCO_2) et l'évaluation des paramètres microbiens totaux se complètent-ils ?
5. Quelles autres étapes de travail doivent être abordées, en particulier pour la dérivéation d'indicateurs.

3 Données et méthodes

Sélection des sites et évaluation des valeurs mesurées à l'aide de valeurs de référence spécifiques aux sites.

Pour le Plateau suisse, des valeurs de référence spécifiques aux sites pour la biomasse microbienne et la respiration basale ont été déduites empiriquement à l'aide de régressions (Oberholzer et al. 1999, Oberholzer et Scheid 2007, VBB/BSA 2009).

Pour les sols arables, il existe des modèles de valeur de référence pour la biomasse déterminée par la méthode de fumigation-extraction (BM-FE) et la méthode de respiration induite par le substrat (BM-SIR) et la respiration basale, et pour les prairies, uniquement pour la biomasse SIR (tab. 3.3.1). Tous les calculs sont valables pour des sols ayant une teneur en C_{org} de 1 à 4 %, une teneur en argile de 10 à 40 % et un pH de 4,3 à 7,5.

Tableau 3.3.1 : Formules pour le calcul des valeurs de référence

Sites de culture, profondeur 0-20 cm

Biomasse microbienne FE (mg C_{mik} kg⁻¹ TS)

$$\ln(BM-FE) = 4.703 + 0.963 \ln(C_{org}) + 0.063 \text{ pH} + 0.214 \ln(\text{Argile}) + 0.0008 \text{ Sable} \quad (1)$$

Biomasse microbienne SIR (mg C_{mik} kg⁻¹ TS)

$$\ln(BM-SIR) = 3.58 + 0.82 \ln(C_{org}) + 0.15 \text{ pH} + 0.31 \ln(\text{Argile}) + 0.005 \text{ Sable} \quad (2)$$

Respiration basal (mg CO_2-C kg⁻¹ TS h⁻¹)

$$\ln(BA) = 2.697 + 0.625 \ln(C_{org}) + 0.199 \text{ pH} - 0.146 \ln(\text{Argile}) - 0.0009 \text{ Sable} - \ln(88) \quad (3)$$

Prairie, profondeur 0-10 cm

Biomasse microbienne SIR (mg C_{mik} kg⁻¹ TS)

$$\ln(BM-SIR) = 3.61 + 0.92 \ln(C_{org}) + 0.28 \text{ pH} + 0.17 \ln(\text{Argile}) \quad (4)$$

Les formules de régression 1-3 ont été élaborées pour les terres arables et pour des échantillons prélevés à une profondeur de 0-20 cm, celle pour les prairies (formule 4) à une profondeur de 0-10 cm. Comme le NABO prélève des échantillons de 0 à 20 cm de profondeur pour toutes les utilisations du sol, et ce également pour les prairies, nous nous sommes concentrés sur les sites de culture lors de l'évaluation. Nous ne prenons donc en compte ici que les valeurs mesurées qui proviennent d'échantillons prélevés à la même profondeur. Pour l'éva-

luation de l'évolution dans le temps des valeurs microbiennes mesurées, nous avons pu prendre en compte 35 et 46 sites NABO et KABO (tous des sites de grandes cultures) (tab. 3.3.2).

Appréciation qualitative des valeurs mesurées et de l'indicateur d'état Q

Dans le schéma d'évaluation d'Oberholzer et al. (1999), les valeurs mesurées dans l'intervalle de confiance de 67% (VB67) sont considérées comme "normales". Les valeurs supérieures et inférieures sont considérées comme "élevées" ou "basses". Les

valeurs supérieures et inférieures à l'intervalle de confiance de 95% (VB95) sont considérées comme "très élevées" ou "très basses". Le schéma d'évaluation permet donc une répartition en cinq classes allant de très bas à très élevé, les valeurs mesurées peuvent ainsi être classées et communiquées. Les valeurs microbiennes mesurées peuvent toutefois aussi être comparées directement aux valeurs mesurées spécifiques au site, en divisant les valeurs mesurées par les valeurs de référence correspondantes (équation 5). Pour autant que l'on sache, ce quotient n'a pas été utilisé jusqu'à présent, nous le désignons comme indicateur d'état Q (Hug et al. 2021) et précisons à l'aide d'un sous-script pour quelle grandeur de mesure Q a été calculé (Q_{FE} : biomasse microbienne déterminée par la méthode de fumigation-extraction, Q_{SIR} : biomasse microbienne déterminée par la méthode de respiration induite par les substrats et Q_{BA} : respiration basale).

$$Q = \frac{\text{valeur mesurée}}{\text{valeur de référence spécifique au site}} \quad (5)$$

Q est donc un indicateur de l'état actuel du site, qui se réfère à la grandeur mesurée correspondante. Pour $Q > 1$, la valeur mesurée est supérieure à la valeur de référence spécifique au site, pour $Q < 1$, elle est inférieure. L'indicateur d'état Q calculé per-

met de déterminer la classe d'évaluation définie par Oberholzer et al. (1999). Les valeurs limites correspondantes sont consignées dans le tableau 3.3.3.

Tableau 3.3.2 : Sites NABO et KABO pris en compte pour l'évaluation (uniquement les sites de grandes cultures). (Mösch et Hunziker 2015, VOL 2017, Bräm 2011, Hug et al. 2018).

| Réseau de mesure / jeu de données | Nombre de sites | Valeurs de mesure prises en compte du - au | C _{org} [%] min moyen max | pH min moyen max |
|-----------------------------------|-------------------------|--|---|---------------------------|
| NABO | 10 | 2012-2018 | 0.9 1.8 3.0 | 5.6 6.6 7.5 |
| NABO 04/05 | 7 | 2004/05 | 1.6 1.9 2.8 | 5.3 6.2 7.3 |
| KABO AG | 7 | 2005 - 2018 | 1.5 2.3 3.2 | 6.5 7.0 7.4 |
| KABO BE | 15 | 2004 - 2018 | 1.0 1.7 5.4 | 4.9 5.8 7.0 |
| Oberacker Canton BE | 1 mit 12 Sous-parcelles | 2004 - 2018 | 1.2 1.6 2.1 | 5.7 6.0 6.7 |
| KABO GR | 2 | 2006 - 2018 | 1.7 3.3 4.7 | 6.9 7.1 7.3 |
| Total sites | 35 resp. 46 | | | |

Tableau 3.3.3 : Évaluation qualitative des paramètres totaux à l'aide de l'indicateur d'état Q (valeur mesurée divisée par la valeur de référence). Les valeurs tabulées sont arrondies, pour les valeurs exactes, il faut utiliser les formules ci-dessus.

| | Grandes Cultures | | | Prairies |
|--|--------------------|-------------|--------------|--------------|
| | Respiration basale | Biomasse FE | Biomasse SIR | Biomasse SIR |
| se _{est} | 0.201 | 0.2054 | 0.1836 | 0.2114 |
| ----- Domaines de valeurs pour Q ----- | | | | |
| très bas | <0.67 | <0.66 | <0.69 | <0.66 |
| bas | 0.67-0.81 | 0.66-0.81 | 0.69-0.83 | 0.66-0.80 |
| normal | 0.82-1.22 | 0.82-1.22 | 0.84-1.20 | 0.81-1.23 |
| élevé | 1.23-1.49 | 1.23-1.50 | 1.21-1.44 | 1.24-1.53 |
| très élevé | >1.49 | >1.50 | >1.44 | >1.53 |

Les valeurs pour se^{est} sont tirées des modèles Excel de H.R Oberholzer pour l'évaluation

L'avantage de l'indicateur d'état Q est qu'il s'agit d'une grandeur numérique et continue, contrairement aux classes discrètes du schéma d'évaluation. Cela simplifie la représentation graphique et les évaluations statistiques, comme par exemple les corrélations avec les caractéristiques du sol et du site

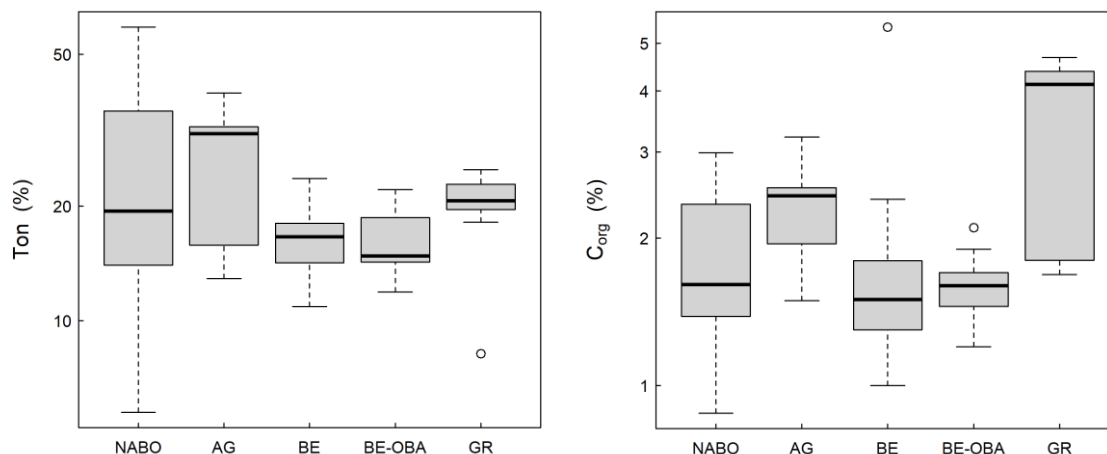


Figure 1 : Caractéristiques du site des cinq jeux de données pris en compte. Teneurs en carbone organique (C_{org}) et en argile (%) de la couche supérieure du sol (0-20 cm). Les boîtes incluent les valeurs du 1er au 3e quartile, la ligne horizontale indique la médiane.

4.1 Données pédologiques de différentes origines

Pour pouvoir comparer les données microbiologiques sur plusieurs années et entre différents sites et réseaux de mesure, il faut viser un prélèvement d'échantillons standardisé et chercher à ce que la préparation et l'analyse des échantillons soient toujours effectués par le même laboratoire. Les données des différents réseaux de mesure proviennent de régions géographiques différentes et présentent donc des gammes de valeurs différentes pour les caractéristiques des sites (fig. 3.3.1). Nous recommandons de comparer les sites sur la base des évaluations effectuées à l'aide des valeurs de référence (classes d'évaluation ou indicateurs d'état QFE, QSIR et QBA). Ainsi, les différentes caractéristiques des sites sont prises en compte.

4 Résultats

Les principales conclusions et recommandations ont été résumées dans des encadrés. Les détails et autres résultats sont disponibles dans le rapport de Hug et al. (2021).

4.2 Archivage et harmonisation des données

Une gestion uniforme de toutes les données pédologiques minimise l'effort d'harmonisation des données avant leur évaluation. Cet effort peut être considérable. Le système d'information sur les sols NABODAT (www.nabodat.ch) est disponible pour le stockage. Il faut également définir le flux de données ou l'interface entre le laboratoire et le système cible (NABO-DAT).

4.3 Différentes périodicités d'échantillonnage

L'évolution à long terme d'un collectif (p. ex. de tous les sites d'un réseau de mesure) peut être visualisée à l'aide d'un diagramme à barres. Les changements dans le temps ne sont toutefois interprétables que si l'on considère toujours le même collectif de sites pour les différents moments. Dans la figure 3.3.2, c'est toujours le même collectif qui est représenté à partir de 2012. La répartition

en cinq catégories reste relativement constante entre 2012 et 2018. C'est pourquoi les lacunes temporelles des sites qui n'ont pas été mesurés chaque année doivent être comblées en répétant les valeurs mesurées

d'un site de manière constante pour chaque année supplémentaire jusqu'à ce qu'une nouvelle mesure soit effectuée. Cela permet d'obtenir des séries temporelles (virtuelles) sans faille.

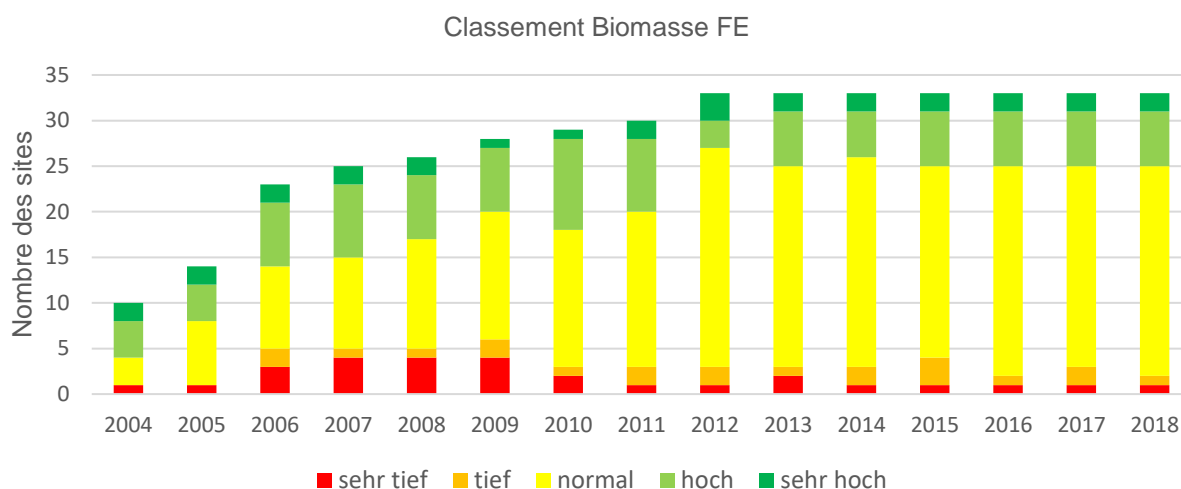


Figure 3.3.2 : Biomasse microbienne FE, nombre de sites et leur évaluation, représentation sous forme de série temporelle (n=33). Le collectif s'agrandit lorsque des sites sont mesurés pour la première fois et intégrés dans la série temporelle. Les sites non mesurés chaque année sont "remplis" et une série chronologique (virtuelle) est créée. A partir de 2012, c'est toujours le même collectif de sites qui est considéré et les colonnes sont ainsi comparables entre elles. Les tendances sont ainsi visibles et compréhensibles. Le nombre de sites dans les classes d'évaluation respectives pour la biomasse microbienne FE reste relativement constant.

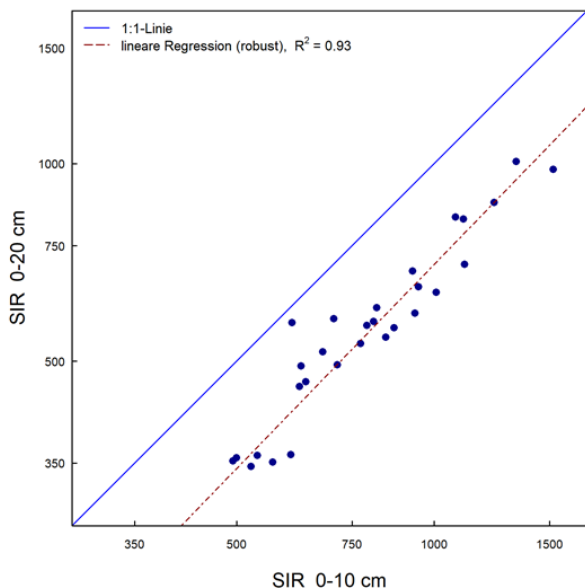


Figure 3.3.3 : Comparaison des valeurs mesurées pour la biomasse SIR de 0-10 cm vs. 0-20 cm de profondeur pour des sites de prairies du KABO BE, (16 sites), les deux axes à l'échelle log. Régression linéaire, robuste : $\ln(\text{SIR } 0-10) = -0.58 + 1.03 \ln(\text{SIR } 0-20)$; $R^2 = 0.93$.

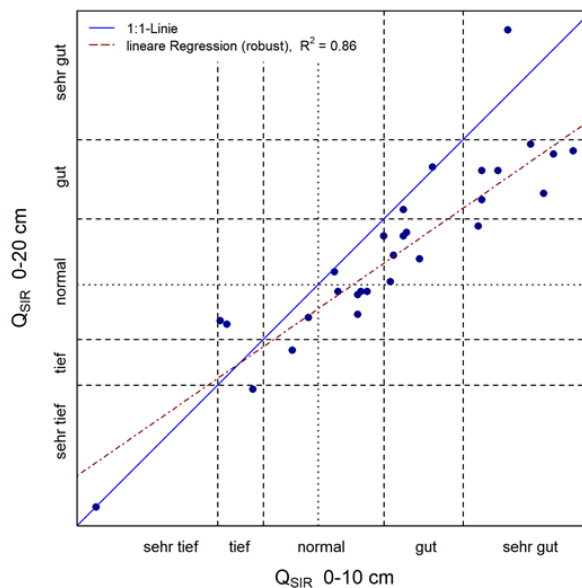


Figure 3.3.4 : Comparaison des Q_{SIR} 0-10 cm vs. 0-20 cm pour les sites de prairies du KABO BE, (16 sites).

4.4 Différentes profondeurs d'échantillonnage

Les échantillons prélevés à différentes profondeurs ne peuvent pas être comparés entre eux sur la base de valeurs absolues, mais uniquement au moyen des quotients Q_{FE} , Q_{SIR} , Q_{BA} ou qCO_2 (fig. 3.3.3 et 3.3.4). Le modèle de valeur de référence pour une profondeur de sol de 0 à 10 cm semble également convenir pour les échantillons de 0 à 20 cm. Il est toutefois possible qu'une compensation supplémentaire soit nécessaire pour les sols plus profonds. Il n'est pas possible de répondre définitivement à cette question, car la base de données est trop faible dans le cadre de ce travail.

4.5 Indicateur d'état Q = quotient de la valeur mesurée et de la valeur de référence

Contrairement aux cinq classes qualitatives ("très élevé" à "très bas"), Q est une grandeur numérique continue. Cela facilite la représentation graphique et les évaluations statistiques, comme par exemple les corrélations avec les caractéristiques du sol et du site. Q permet de déduire l'évaluation qualitative dans les cinq classes. De plus, Q permet de visualiser les augmentations et les diminutions d'une valeur de mesure du site au sein d'une classe. De plus, Q permet de voir où se situe la valeur de mesure au sein de la classe. Par exemple, si une valeur de mesure "normale" se trouve à la limite supérieure et donc proche de l'évaluation "élevée". Q peut être facilement résumé pour des collectifs de sites entiers (que ce soit sous forme de moyenne ou de médiane). Il est ainsi possible de saisir l'état actuel du collectif et son évolution dans le temps. Pour la communication avec les agriculteurs et les non-spécialistes, les classes qualitatives telles que "très élevé" ou "faible" sont à privilégier.

4.6 Quotient métabolique qCO_2 pour l'évaluation du microbiome

Le quotient métabolique qCO_2 est une mesure de l'efficacité avec laquelle les microor-

ganismes utilisent leur nourriture. Des valeurs élevées peuvent indiquer un stress pour la communauté microbienne. Lors de l'interprétation des mesures microbiologiques du sol, le qCO_2 peut compléter utilement l'évaluation basée sur les quotients d'état Q_{FE} et Q_{BA} . Il n'y a pas de lien étroit entre qCO_2 et Q_{FE} ou Q_{BA} . Pour l'évaluation du microbiome, qCO_2 peut être considéré comme une information supplémentaire.

5 Conclusion et perspectives

L'évaluation commune de données d'origines diverses a permis d'acquérir des connaissances importantes. Les solutions élaborées constituent la base d'autres projets futurs, dans lesquels des données provenant de différentes sources seront évaluées. Cela peut se faire au niveau national ou international. Il s'est avéré que l'application uniforme de méthodes standardisées est une condition préalable à tous les futurs relevés de biologie des sols. Autres étapes de travail concrètes qui ont découlé des présentes évaluations :

- Pour évaluer la qualité microbiologique des prairies (ou d'autres utilisations telles que les forêts ou d'autres altitudes), il convient d'établir des valeurs de référence spécifiques au site pour la biomasse (déterminée par la méthode d'extraction par fumigation au chloroforme) et la respiration basale.
- Avec un jeu de données plus important, il faut déterminer comment les modèles de valeurs de référence peuvent être appliqués à différentes profondeurs d'échantillonnage et si les différentes profondeurs d'échantillonnage doivent être prises en compte ou compensées dans les équations de régression. Il faut viser une profondeur d'échantillonnage uniforme pour toutes les utilisations du sol et pour toutes les études futures.
- Les modèles existants doivent être mis à jour sur la base de données plus récentes et plus importantes.

Le rapport original peut être consulté à l'adresse suivante <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/nabo/publikationen.html>

6. Littérature

- Bräm, E., 2011. Bodenbiologische Untersuchungen in Graubünden. VBB-Bulletin. Nr. 13, 14–17.
- FAL, FAW, RAC (1998). Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2, Bodenuntersuchung zur Standort-charakterisierung.
- Hug A.S., Gubler A., Gschwend F., Widmer F., Oberholzer H., Frey B., Meuli R.G. 2018. NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung, Ergebnisse 2012–2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. Agroscope Science 63. Zürich-Reckenholz.
- Hug A.S., Moll J., Gubler A. 2021. Monitoring Bodenbiologie. Auswertung bodenmikrobiologischer Daten von kantonalen und nationalen Bodenbeobachtungs-standorten. Agroscope Science 110. Zürich-Reckenholz.
- Maurer C., Müller D., Lanfranchi M., Weisskopf P., Oberholzer H.R., Walder F. 2020. Mikrobiologische Parameter in der Kantonalen Bodenbeobachtung – eine Synthese. Agrarforschung Schweiz 11: 147-153.
- Mösch D. & Hunziker M., 2015. 10 Jahre Bodenmikrobiologie-Monitoring. UMWELT AARGAU Sondernummer 45, 11-15.
- Oberholzer H.-R., Rek J., Weisskopf P., Walther U. 1999. Evaluation of soil quality by means of microbiological parameters related to the characteristics of individual arable sites. Agribiological Research 52 (2), 113–125.
- Oberholzer H.-R., Scheid S. 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Umwelt-Wissen Nr. 0723. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2017. Bodenbericht 2017. 129 S.

Impressum BioSA-Bulletin Nr. 20/2022

Editeur : BioSA

(Groupe de travail «*BIOlogie du Sol Appliquée*»)

Les services cantonaux de protection des sols et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) ont créé le groupe de travail sous le nom BSA en 1995. Celui-ci se consacre aux questions relatives à la biologie du sol dans l'optique de la mise en œuvre de la protection des sols et du maintien de la fertilité des sols conformément à l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol).

Présidente 2021

Claudia Maurer

Direction de l'économie, de l'énergie et de l'environnement du canton de Berne

Office de l'agriculture et de la nature, Division Améliorations structurelles et production

Service des sols

Rütti 5, 3052 Zollikofen

Tel +41 31 636 49 04

claudia.maurer@be.ch

Présidente 2022/23

Gaby von Rohr

Chef de division adjointe, protection des sols

Service de l'environnement

Division SolsWerkhofstrasse 5

Tel +41 32 627 28 05

gaby.vonrohr@bd.so.ch

afu.so.ch

Secrétariat et Distribution

Andreas Fliessbach

Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL)

Ackerstrasse

CH-5070 Frick

Tel. 062 865 72 25

www.fibl.org

E-Mail : andreas.fliessbach@fibl.org

Photos de couverture : Beat Frey, WSL

Lectorat : Sophie Campiche, Mathieu Renaud

Le bulletin est également disponible sur Internet:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sol/info-specialistes/mesures-de-protection-des-sols/groupe-de-travail-biologie-du-sol---application---bsa-.html>