

VBBio-Bulletin-BioSA Nr. 19, 2020

Les règles du sol

Tables des matières

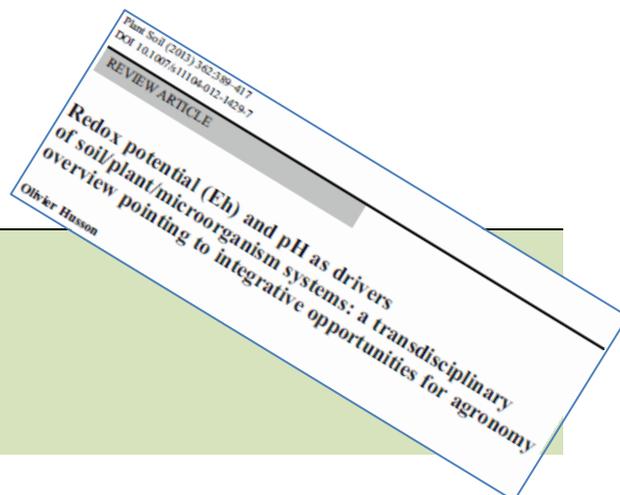
1. Editorial.....	2
2. Projets choisis de la BioSA.....	3
2.1 Inventaire des projets BioSA et NABO dans le domaine de la biologie des sols.....	3
2.2 Guide vers une valeur de référence pour l'humus.....	4
2.3 Recueil d'études biologiques des sols sur des sites suisses.....	5
3. Forum biologie du sol en pratique.....	6
3.1 Développement de la surveillance des résidus de PPh dans le sol.....	6
3.2 Concept pour une biosurveillance à long terme des résidus de produits phytosanitaire dans le cadre de la mesure de surveillance du plan d'action suisse sur les produits phytosanitaires.....	7
3.3 Diversité microbienne dans le sol : Le projet MiDiBo-2 - sur la piste des organismes microscopiques dans le sol.....	9
3.4 Valeurs de référence pour la teneur en matière organique des sols : quelles qualité et qualité biologique des sols.....	11

1. Editorial

Clément Levasseur

*Institut agricole de l'Etat de Fribourg
Centre de conseils agricoles
Route de Grangeneuve 27, CH-1725 Posieux*

*Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg
Landwirtschaftliches Beratungszentrum*



De nombreux travaux de scientifiques, au cours du XX^{ème} siècle, se sont intéressés au potentiel redox. Albert Szent Gyorgyi, prix Nobel de médecine en 1937, a écrit : « ce qui anime la vie, c'est un petit courant électrique produit par le soleil ». Ces travaux ont été repris récemment par Olivier Husson et appliqués au cas spécifique du sol. Les perspectives que ces travaux ouvrent sont nombreuses et les premiers résultats sont fascinants : le travail trop intense et fréquent du sol et l'utilisation déraisonnée d'engrais de synthèse et de produits phytosanitaires – pour la plupart oxydants – contribuent à une suroxydation des sols agricoles.

Cette suroxydation a une influence sur la biologie des sols et la santé des plantes, favorisant certains groupes d'organismes vivants (auxiliaires, ravageurs ou pathogènes). Plus que jamais, on prend donc conscience que le sol est un milieu fragile et complexe. Les interactions entre la chimie, la physique et la biologie du sol sont nombreuses et ces thématiques sont étroitement imbriquées.

Ce bulletin présente un état des lieux de la recherche sur la biologie des sols en Suisse. Au fil de sa lecture, vous découvrirez une liste des différents projets de recherches sur la biologie des sols au niveau fédéral, un guide vers une valeur de référence pour l'humus et une présentation sur le lancement d'un recueil de littérature grise sur cette thématique.

Deux projets, mettant en œuvre des approches très différentes, mais complémentaires, visent à surveiller les résidus de produits phytosanitaires dans les sols suisses. Le projet MiDiBio, maintenant en deuxième phase, a permis de caractériser les communautés bactériennes en lien avec l'utilisation du sol et les conditions biogéographiques, ce qui confirme le lien important entre facteurs biotiques et abiotiques du sol. Finalement, un projet de doctorat prometteur, visant à étudier l'activité biologique du sol en lien avec la porosité, la structure, et le taux de matière organique du sol, a été initié récemment. Les résultats à venir permettront, nous l'espérons, d'émettre des recommandations pratiques.

Grâce à ces travaux, et à tous les autres travaux passés et futurs sur cette thématique, nous espérons améliorer nos connaissances dans le domaine de la biologie des sols, et ainsi obtenir la vue d'ensemble la plus complète possible, sans négliger les détails et subtilités. Nous espérons ainsi avoir les outils pratiques pour protéger au mieux la ressource précieuse qu'est le sol.

Clément Levasseur
Président BioSA

2. Projets choisis de la BioSA

2.1 Inventaire des projets BioSA et NABO dans le domaine de la biologie des sols

Anna Hug

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope / Nationale Bodenbeobachtung NABO
Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich

Claudia Maurer

Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion des Kantons Bern
Amt für Landwirtschaft und Natur
Fachstelle Bodenschutz
Rütti 5, 3052 Zollikofen

Projet	Objectif	Calendrier	Gestion	Collaboration	Type d'engagement VBBio
KABObio, analyse Agroscope	surveillance microbiologique des sols KABO FEM RB ATP Surveillance des vers de terre	En cours depuis 2004 depuis 1990 depuis 1994	 AG, BE, GR FR BE	 Florian Walder Nicolas Maire/ Sol-Conseil	Surveillance permanente de l'application de la loi cantons
NABObio Évaluation des sites	Surveillance biologique des sols par le NABO	Annuel depuis 2012	Anna Hug, NABO	Franco Widmer, Florian Walder Agroscope	Monitoring Confederation, OFEV + OFAG
NABObio-KABObio	Dérivation d'indicateurs biologiques du sol avec des données microbiologiques (SIR, FEM, RB)	Achèvement mi 2020	Anna Hug, Andreas Gubler NABO	AG, BE, GR	Coopération NABO et KABO
NABO-KABO Evaluation des sites	Comment les sites NABO et KABO peuvent-ils se compléter de manière optimale dans des projets de recherche communs dans le domaine de la biologie moléculaire ?	Début prévu Jan. 2020	Anna Hug, Andreas Gubler	NABO KABOs, Coopération cantonale	NABO et KABO et autres sites cantonaux
BDM	extraction et séquençage de l'ADN du sol 255 sites BDM	Publication Bactéries 2020 Évaluation des champignons prévue	Reto Meuli NABO	Franco Widmer, Agroscope	NABO et recherche
MiDiBo 1	Recherches en biologie moléculaire sur les sites du MIP	Terminé publication 2020	Franco Widmer Agroscope	Florian Gschwend, Agroscope	Recherche et sites cantonaux
MiDiBo 2	Diversité fongique des 255 sites BDM; diversité des organismes supérieurs sur les sites NABObio ; expériences sur les facteurs de stress		Franco Widmer Agroscope	Anna Hug, NABO, Beat Frey WSL, Thierry Heger, HE Changins Research, Jürg Enkerli, Agroscope	
Principes de base pour l'élaboration d'une valeur de référence de l'humus pour les sols arables	Compilation des principes techniques pour l'élaboration d'une valeur de référence de l'humus pour les sols arables dans le cadre de la révision d'Osol prévue	Publication Impression spéciale Bulletin BioSA n°19	Andreas Fliessbach FiBL	Tous	BioSA internes

Liste rouge des espèces liées au sol, OFEV	Compléter les données existantes sur le degré de risque pour certaines espèces animales, fongiques et de lichens par des informations sur l'habitat du sol (année de bilan : biodiversité 2020)	1.6.2019-30.11.2020	Beat Frey WSL, Claudia Maurer BE	Karin Schneider CSCF, experts CSCF et WSL	OFEV
Soil Food Web	Développement d'identifications moléculaires de divers groupes d'organismes du sol	Début 2017	Beat Frey, WSL	Claudia Maurer BE	Recherche et sites cantonaux
Littérature grise	Examen et évaluation des données biologiques sur les sols non accessibles au public	Depuis 2014	Andreas Fließbach FiBL		
Qualité des sols - valeurs de référence			Pascal Boivin HEPIA	Andreas Fließbach FiBL	
Surveillance des paramètres biologiques des PPh dans le sol	Plan d'action pour les PPh dans les sols, dans le cadre de la mesure 6.3.3.7: Développement d'indicateurs pour évaluer l'impact des PPh sur la fertilité des sols L'autre partie de la mesure est la mise en place d'un système de surveillance des PPh par le NABO	Jusqu'en 2027 (selon le plan d'action)	Janine Wong CentreEcotox	Sophie Campiche EnviBioSoil	

2.2 Guide vers une valeur de référence pour l'humus

Andreas Fließbach

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

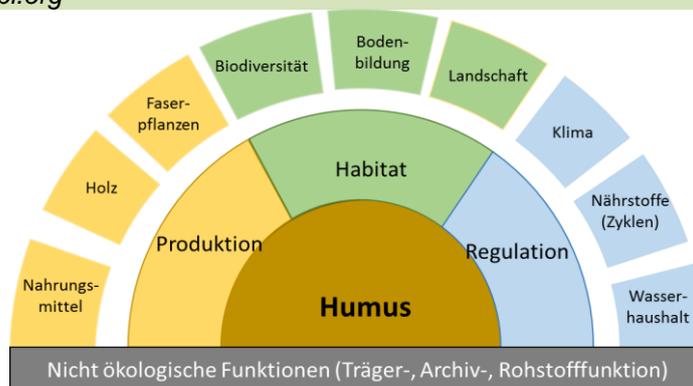


Figure 1. La matière organique du sol affecte toutes les fonctions écologiques du sol : Production avec des plantes alimentaires, du bois et des fibres, régulation avec adaptation au changement climatique et atténuation de celui-ci, cycles des nutriments et rôle de la matière organique du sol dans le bilan hydrique en tant que réservoir et filtre, ainsi que sa fonction d'habitat et de base de la diversité biologique.

Orientations pour l'élaboration d'un point de référence pour l'application de la législation

Ce bulletin est accompagné d'une brochure qui décrit les possibilités de développer une valeur de référence pour la teneur en matière organique du sol (SOIL OBS) dans les

sols minéraux agricoles. Il intègre la réglementation suisse ainsi que les conclusions et les avis d'un atelier réunissant des acteurs de l'agriculture, de la protection de l'environnement et de l'exécution cantonale, qui a eu lieu le 16.11.2017.

2.3 Recueil d'études biologiques des sols sur des sites suisses

Andreas Fliessbach

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

Un projet BioSA de longue date a été mis en pratique en mai 2020 grâce à un financement de l'OFEV. Le FiBL a été chargé de passer au crible la littérature grise et de dresser une liste des sites suisses qui ont déjà fait l'objet d'une étude concernant les habitants du sol. Plus de 250 destinataires d'organismes de recherche, d'enseignement, de protection de la nature et des sols ont été contactés afin de mettre en lumière notamment les travaux inédits. Il s'agit notamment de documents d'étudiants (thèses de licence, de master, de diplôme et de doctorat) ainsi que de rapports, d'affiches et de contributions à des conférences, qui sont souvent difficiles à trouver.

L'objectif de cette collection est de contribuer à la couverture des études biologiques sur les sols et également de contrecarrer le biais de publication. Un biais de publication apparaît lorsque seuls les résultats positifs et ceux qui répondent aux objectifs sont publiés. Si, par exemple, l'organisme en question n'est pas trouvé dans le cadre d'une enquête, celle-ci est parfois jugée non digne

d'être publiée. Dans une recherche documentaire, il en résulte un déséquilibre avec une surestimation des résultats.

L'évaluation de ces études devient intéressante, car il faut s'attendre à ce que des secrets bien gardés soient révélés. Certaines études biologiques sur les sols sont cachées dans des rapports qui ont été classés différemment sur le plan thématique. Certains sites qui faisaient partie de grands projets ont été étudiés par un grand nombre de chercheurs.

Une première liste des études déjà trouvées avec référence au site et aux espèces respectives sera présentée au printemps 2021 et, un an plus tard, une évaluation de toutes les études sera disponible avec une carte de tous les sites déjà étudiés.

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 Développement de la surveillance des résidus de PPh dans le sol (Mesure 6.3.3.7)

Vanessa Reininger, Daniel Wächter und Reto Meuli

Nationale Bodenbeobachtung NABO

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF

Agroscope Forschungsbereich Agrarökologie und Umwelt

Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich

Une alimentation suffisante pour la population repose sur des rendements agricoles stables. L'utilisation de produits phytosanitaires permet d'assurer cette protection. Si le comportement et les effets des produits phytosanitaires (PPh) et de leurs produits de dégradation sur les masses d'eau et leurs organismes ont été relativement bien étudiés (Guzzella et al. 2018 ; Rösch et al. 2019 ; Curchod et al. 2020 ; Spycher et al. 2018), seules quelques études ont encore porté sur les PPh et leurs produits de dégradation dans les sols (Vasickova et al. 2019 ; Fernandez-Alvarez et al. 2010 ; Chiaia-Hernandez et al. 2017). Afin de souligner l'importance des PPh dans l'environnement, le Conseil fédéral a adopté en 2017 le plan d'action pour la réduction des risques et l'utilisation durable des produits phytosanitaires (PA PPh). La mise en œuvre de ce plan d'action devrait réduire de moitié les risques actuels des PPh et rendre leur utilisation plus durable. Diverses mesures spécifiques ont été définies pour atteindre ces objectifs. L'une des mesures est la mise en place d'un système de surveillance des résidus de PPh dans le sol.

Dans un premier temps, la variabilité à court terme des concentrations de résidus de pesticides dans le sol sera étudiée sur un site de culture, un site fruitier et un site viticole. À cette fin, des échantillons mensuels sont prélevés sur une période de 24 mois. Parallèlement, des études sont menées sur la variabilité à long terme, c'est-à-dire annuelle, des résidus de PPh dans le sol. À

cette fin, des échantillons du programme NABObio sont analysés (Hug et al. 2018).



Figure 2.

En outre, une nouvelle méthode d'analyse est actuellement en cours de développement au sein du département d'analyse environnementale d'Agroscope. L'objectif est de développer une méthode dite multi-résidus permettant d'analyser simultanément environ 140 substances. Parallèlement, des indicateurs sont mis au point en coopération avec des écotoxicologues, ce qui permettra d'estimer l'influence des PPh et des produits de dégradation correspondants sur la qualité des sols.

Cette année, des échantillons ont été prélevés en coopération avec les projets de ressources PestiRed (GE, SO et VD), AquaSan (TG) et PFLOPF (AG, TG et ZH). En outre, des sites de culture fruitière et viticole sont acquis dans différentes régions de Suisse. Une enquête unique sur le statu quo sera ensuite menée dans une centaine de sites à usage agricole (fruits, vin, lé-

gumes et grandes cultures). Cela nous permettra de détecter le devenir de certains PPh et de leurs produits de dégradation dans le sol et de montrer comment ils se comportent dans le sol.



Figure 3.

Il est prévu d'étendre à moyen terme la surveillance régulière du NABO à des sites sélectionnés pour les mesures PPh.

Literatur

Chiaia-Hernandez AC, Keller A, Wachter D, Steinlin C, Camenzuli L, Hollender J, Krauss M (2017) Long-Term Persistence of Pesticides and TPs in Archived Agricultural Soil Samples and Comparison with Pesticide Application. *Environ Sci Technol* 51 (18):10642-10651.

Curchod L, Ultramare C, Junghans M, Stamm C, Dalvie MA, Roosli M, Fuhrmann S (2020) Temporal varia-

tion of pesticide mixtures in rivers of three agricultural watersheds during a major drought in the Western Cape, South Africa. *Water Res* X 6:12.

Fernandez-Alvarez M, Lamas JP, Garcia-Chao M, Garcia-Jares C, Llompart M, Lores M, Dagnac T (2010) Monitoring of pesticide residues in dairy cattle farms from NW Spain. *J Environ Monit* 12 (10):1864-1875.

Guzzella LM, Novati S, Casatta N, Roscioli C, Valsecchi L, Binelli A, Parolini M, Solca N, Bettinetti R, Manca M, Mazzoni M, Piscia R, Volta P, Marchetto A, Lami A, Marziali L (2018) Spatial and temporal trends of target organic and inorganic micropollutants in Lake Maggiore and Lake Lugano (Italian-Swiss water bodies): contamination in sediments and biota. *Hydrobiologia* 824 (1):271-290. doi:10.1007/s10750-017-3494-7

Hug A-S, Gubler A, Gschwend F, Widmer F, Oberholzer HR, Frey B, Meuli RG (2018) NABObio - Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. *Agroscope Science* 63:1-55

Rösch A, Beck B, Hollender J, Stamm C, Singer H, Doppler T, Junghans M (2019) Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung. Nachweis von Pyrethroid- und Organophosphat-Insektiziden in Schweizer Bächen im pg I-1-Bereich. *Aqua & Gas* 99 (11):54-66

Spycher S, Mangold S, Doppler T, Junghans M, Wittmer I, Stamm C, Singer H (2018) Pesticide Risks in Small Streams—How to Get as Close as Possible to the Stress Imposed on Aquatic Organisms. *Environmental Science & Technology* 52 (8):4526-4535.

Vasickova J, Hvezdova M, Kosubova P, Hofman J (2019) Ecological risk assessment of pesticide residues in arable soils of the Czech Republic. *Chemosphere* 216:479-487.

3.2 Concept pour une biosurveillance à long terme des résidus de produits phytosanitaires dans le cadre de la mesure de surveillance du plan d'action suisse sur les produits phytosanitaires

Janine Wong

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée

Station 2, 1015 Lausanne

janine.wong@centreecotox.ch

Sophie Campiche

EnviBioSoil

Biologie et Ecotoxicologie des sols

Rue des Cerisiers 6, 1124 Gollion

sophie.campiche@envibiosoil.ch

En septembre 2017, le Conseil fédéral a adopté un plan d'action pour la réduction des risques et l'utilisation durable des produits phytosanitaires (PPh). Il vise à réduire de moitié les risques liés aux PPh au cours de la prochaine décennie et à proposer des

alternatives à la protection chimique des plantes. Pour atteindre les objectifs fixés dans le plan d'action, de multiples mesures ont été énoncées. La mesure 6.3.3.7 prévoit la mise en place d'une surveillance des résidus de PPh dans les sols agricoles. Pour le

compte de l'Office fédéral de l'environnement et de l'Office fédéral de l'agriculture, deux concepts ont été développés dans le cadre de la mesure 6.3.3.7. L'observatoire national des sols (NABO) a mis au point un concept de surveillance à long terme des résidus de PPh dans les sols. Le Centre Ecotox et EnviBioSoil ont mis au point un concept de biosurveillance à long terme pour quantifier les effets des résidus de PPh sur la qualité des sols.

Selon les objectifs de mise en œuvre de la mesure 6.3.3.7, le concept de biosurveillance implique 1) la détermination de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols (VRS ; c'est-à-dire des concentrations seuils de substances, basées sur le risque pour les organismes du sol) et 2) le

développement d'une boîte à outils proposant différents bioindicateurs pour évaluer et surveiller les effets des résidus de PPh sur les organismes du sol dans les sols agricoles suisses. Comme le montre la figure 4, le concept se compose de cinq paquets de travail (PT) organisés en trois phases se déroulant de juillet 2019 à fin 2027. Le concept comprend à la fois une approche orientée « substances », c'est-à-dire la dérivation de la VRS pour une sélection de substances, de même qu'une approche orientée « matrice », c'est-à-dire la sélection d'un ensemble de bioindicateurs pertinents pour le sol afin d'évaluer le risque de résidus de PPh sur les organismes du sol *a posteriori*, lorsque les PPh sont utilisés en circonstances réelles.

Approches orientées substances et matrice

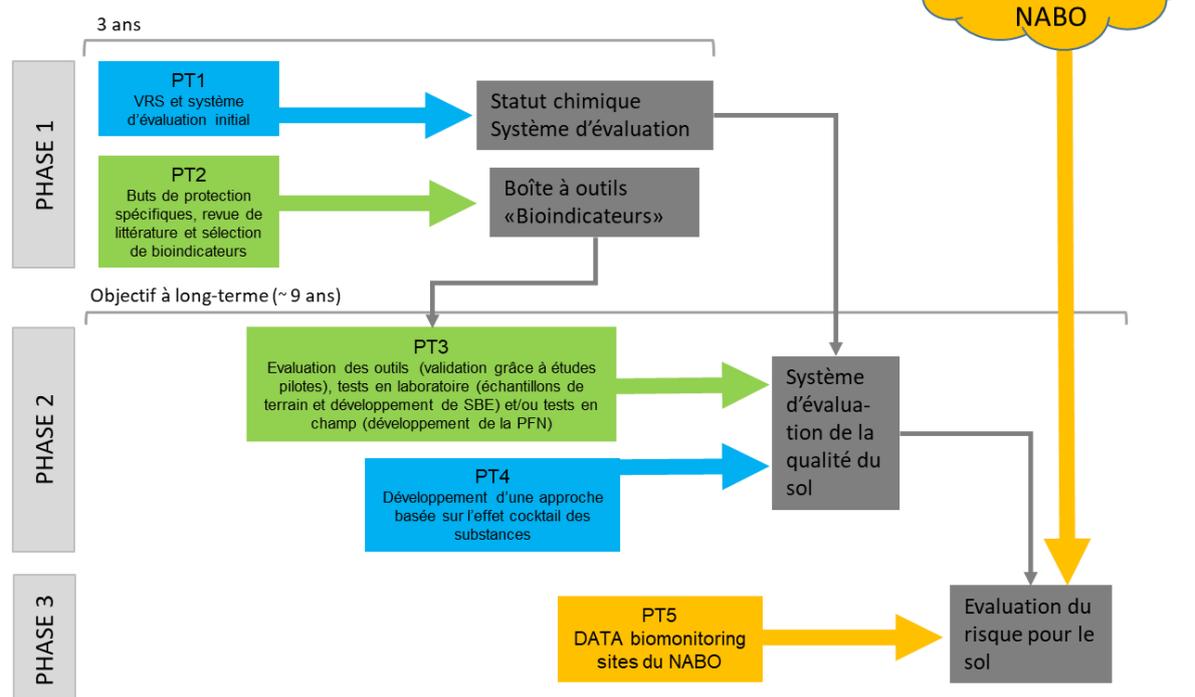


Figure 4. Schéma détaillé du plan du projet : Approches orientées vers les substances et la matrice pour l'élaboration de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols (VRS) et de bioindicateurs dans le cadre du concept de biosurveillance des résidus de PPh dans les sols agricoles suisses. PFN : plage de fonctionnement normale (« normal operating range »), SBE : seuils basés sur l'effet (« effect-based thresholds »).

En bref, la phase 1 comprend les PT1 et PT2, qui sont en cours et fonctionnent en parallèle jusqu'au milieu de l'année 2022. Le PT1 couvre le développement des VRS.

Cela comprend la sélection de dix substances d'intérêt, le choix de la méthodologie pour la dérivation des VRS, la compilation des dix dossiers VRS pour les substances

sélectionnées et le développement du système d'évaluation initial (par exemple, des catégories de classification de l'état des sols). Le PT2 couvre l'identification des objectifs de protection spécifiques ainsi que la sélection d'une boîte à outils de bioindicateurs potentiels sensibles aux résidus de PPh.

La phase 2 comprend les PT3 et PT4, qui se dérouleront également en parallèle. Le PT3 couvre la validation de la boîte à outils (démonstration de faisabilité). Cela implique des procédures d'essai et l'évaluation des bioindicateurs sélectionnés dans des études pilotes, en laboratoire avec des échantillons de sol de terrain ou directement sur le terrain. Comme les organismes présents dans les sols agricoles ne sont pas exposés uniquement à des résidus de substances isolées, mais à un mélange complexe de divers PPh, le PT4 couvre le développement d'une approche basée sur les mélanges, qui est étroitement liée au PT1.

La phase 3 implique le PT5, qui couvre la mise à l'essai de la phase finale du concept

d'évaluation des risques pour les sols. Ici, les données de la biosurveillance seront combinées avec les VRS établies, ainsi qu'avec les données de surveillance du NABO. Au cours de cette dernière étape, les effets sur les bioindicateurs seront étudiés sur le terrain sur les sites du NABO et la concentration mesurée de la substance concernée (données obtenues du NABO) est comparée à la VRS établie.

Pour le PT1, la sélection des substances pour la dérivation des VRS est en cours de finalisation. Dans la mesure du possible, un nombre approprié de substances de la catégorie des fongicides, des herbicides ou des insecticides/acaricides a été choisi pour assurer une bonne représentativité des différentes catégories de PPh pour la dérivation des VRS. Le PT2 est également en cours et une recherche documentaire est effectuée pour recueillir des informations sur la sensibilité des bioindicateurs aux PPh afin de sélectionner les plus pertinents pour la bioindication.

3.3 Diversité microbienne dans le sol : Le projet MiDiBo-2 – sur la piste des organismes microscopiques dans le sol

Franco Widmer, Jürg Enkerli

Agroscope, Forschungsgruppe Molekulare Ökologie

Departement Agrarökologie und Umwelt

Reckenholzstrasse 191

CH-8046 Zürich

franco.widmer@agroscope.admin.ch

Beat Frey

Waldböden und Biogeochemie, Rhizosphären-Prozesse

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

beat.frey@wsl.ch

Thierry Heger

Changins – Haute école de viticulture et œnologie

Route de Duillier, 1260 Nyon

thierry.heger@changins.ch

Les sols sont une ressource naturelle omniprésente et diversifiée. Ils fournissent un grand nombre de services, allant de la production agricole, à leur utilisation pour des activités récréatives diverses telles que les parcs et terrains de golf. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV), conformément aux définitions harmonisées établies au niveau

international, a distingué six fonctions principales attribuées aux sols :

- 1) Fonction d'habitat : le sol sert d'habitats à d'innombrables organismes vivants. Il contribue ainsi à la préservation de la biodiversité des écosystèmes, des espèces et de leur diversité génétique.

- 2) Fonction de régulation : le sol régule les cycles des matières et de l'énergie. Il agit comme un filtre, un tampon et permet le stockage et la transformation des matières.
- 3) Fonction de production : le sol produit de la biomasse, qui servira à la production de denrées alimentaires, d'aliments pour les animaux, de bois et de fibres.
- 4) Fonction de support : le sol sert de terrain de construction.
- 5) Fonction des matières premières : le sol stocke les matières premières, l'eau et l'énergie géothermique.
- 6) Fonction d'archivage : le sol préserve les informations de l'histoire naturelle et culturelle.

Il est à noter que la première fonction énumérée définit le sol comme habitat et amène ainsi directement au contexte de la biologie du sol, c'est-à-dire à considérer le sol comme un réservoir de diversité d'organismes vivants. Les deuxième et troisième fonction ont également un lien étroit avec la biologie des sols, car cette dernière est au cœur des cycles des éléments nutritifs et minéraux, des processus de transformation et joue ainsi un rôle important pour la croissance et la santé des plantes. Les trois dernières fonctions du sol sont moins dépendantes de la biologie.

L'importance de la biologie des sols est reconnue depuis un certain temps, mais l'identification des organismes microscopiques a longtemps été entravée par l'absence d'approches analytiques appropriées. Ce n'est qu'avec l'apparition des nouvelles méthodes de génétique moléculaire qu'il a été possible de caractériser l'incroyable diversité des organismes microscopiques des sols. Un gramme de sol contient plusieurs millions de bactéries, de champignons et de protistes, appartenant à des milliers d'espèces différentes. Mais à ce jour, seule une faible proportion de ces microorganismes ont été décrits et leurs fonctions restent souvent mal connues. Cependant, la struc-

ture complexe des communautés microbiennes peut nous renseigner sur les propriétés physiques et chimiques d'un sol déterminant sa qualité, ainsi que l'évolution de ces propriétés au cours du temps.

Dans le cadre du premier projet "Diversité microbienne des sols" (MiDiBo-1), les communautés microbiennes de 30 sites du réseau national de surveillance des sols (NABO) ont été étudiés. On a pu montrer que chaque type d'habitat (champ, prairie et forêt) abrite des communautés différentes de bactéries et de champignons, qui sont restées stables et similaires pendant les 5 années de l'étude. Ce travail a aussi montré que les communautés sont fortement influencées par des facteurs environnementaux et nous savons, grâce à d'autres études, qu'elles répondent à des changements environnementaux comme différents régimes de fertilisation, à l'engorgement ou au compactage des sols. La microbiologie du sol peut donc être utilisée comme un indicateur de ces changements. Ces résultats ont été confirmés par une étude menée dans le cadre de la surveillance suisse de la biodiversité (BDM), où la diversité des communautés bactériennes a été évaluées sur 255 sites faisant partie d'un réseau d'échantillonnage national. Au total, environ 50 000 taxa ont été identifiés, c'est-à-dire des espèces théoriques définies sur la base de l'identité génétique. La géographie et le type d'occupation du sol représentent des facteurs pouvant expliquer la diversité des communautés, mais jusqu'à présent, seules les communautés bactériennes ont été analysées.

Dans le projet MiDiBo-2, qui est soutenu par l'OFEV dans le cadre de la Stratégie suisse pour la biodiversité (SBS et réalisé en collaboration avec des experts de diverses institutions, non seulement les bactéries et les champignons (F. Widmer, Agroscope) seront étudiés, mais également les protistes (algues et protozoaires) (T. Heger, Changins, University of Applied Sciences Western Switzerland), les nématodes (B. Frey,

WSL) et les microarthropodes (J. Enkerli, Agroscope). Tous ces organismes sont des habitants du sol de taille microscopique, dont l'identification requiert beaucoup de temps ou n'est pas possible avec des méthodes classiques. Dans le cadre de ce projet, nous souhaitons parvenir à une caractérisation simple et exhaustive de la diversité de ces groupes d'organismes dans différents sols en utilisant des méthodes de génétique moléculaire. NABObio, dont une série de données microbiennes est déjà disponible, servira à nouveau de réseau pour cette étude. L'échantillonnage a été effectué par le NABO au printemps 2020 et a fourni trois répliques de 10 forêts, 10 prairies et 9 champs agricoles. L'objectif de cette étude est de développer une approche moléculaire standardisée permettant de déterminer la diversité des organismes de différents sites, et d'étudier les changements d'abondance de ces communautés. Le grand avantage de cette étude est que six

groupes d'organismes différents seront étudiés à partir des mêmes échantillons de sol provenant de 29 sites bien caractérisés du NABO, ce qui permettra de comparer et d'évaluer directement la diversité et les structures des communautés. Dans une seconde partie du projet, des analyses seront effectuées pour caractériser les communautés fongiques des 255 sites du BDM pour lesquels les communautés bactériennes ont déjà été analysées. Dans cette partie du projet, l'influence des facteurs environnementaux sur les communautés fongiques et les comparaisons avec les communautés bactériennes seront d'un grand intérêt. Dans son ensemble, le projet MiDiBo-2 fournira un inventaire national unique des organismes microscopiques du sol et donnera un premier aperçu de leurs interactions. Les premiers résultats sont attendus vers la fin de l'année prochaine.

3.4 Valeurs de référence pour la teneur en matière organique des sols : quelles qualité et qualité biologique des sols

Pascal Boivin, Alyssa Fischer

*Institut Terre-Nature-Environnement
HEPIA - Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture
Route de Presinge 150, 1254 Jussy*

Andreas Fliessbach

*Departement für Bodenwissenschaften
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau
Ackerstrasse, 5070 Frick*

Raphaël Charles

*Antenne romande du FiBL
Institut de Recherche de l'Agriculture Biologique
Avenue des Jordils 3, CH-1001 Lausanne*

Un projet OFEV, mis en œuvre par HEPIA (P. Boivin, Sols et Substrats) et le FiBL (Andreas Fliessbach et Raphaël Charles). Partenariat ETHZ (Prof. J. Six ; M. Hartmann, Alyssa Fischer doctorante sur financement OFEV et Prof. S. Dötterl, Cédric Deluz doctorant sur financement 77a OFAG).

Objectifs du projet

Ce projet vise à définir la qualité biologique de sols cultivés, et en particulier le rôle des teneurs en matière organique et argile, de la qualité de la structure, et des pratiques agricoles sur cette qualité. Il a pour cadre princi-

pal une centaine d'exploitations du Jura participant au programme Terres Vivantes (projet 77a de l'OFAG), coordonné par la Fondation Rurale Inter-jurassienne.

La qualité biologique des sols s'entend comme l'aptitude des sols à soutenir les processus biologiques. On vise donc à déterminer les propriétés des sols reflétant des limites au développement de leur biologie en les distinguant des effets à court terme des pratiques agricoles au cours d'une rotation (e.g. développement racinaire d'engrais vert). Des valeurs seuil pour les terres assolées seront établies. Enfin, ce

projet a pour ambition de mettre en évidence les effets déterminants des pratiques agricoles sur l'aptitude des sols à mettre en œuvre les processus biologiques, ce qui implique de distinguer les dynamiques à court terme et les tendances interannuelles. Une attention particulière sera portée aux paramètres définissant le sol comme habitat (qualité de la structure) et comme source de nutriments (quantité, qualité et biodisponibilité de la matière organique).

Stratégie du projet

Les relations entre la qualité des sols, les pratiques agricoles et la biologie seront analysées à plusieurs échelles d'espace et de temps. Les pratiques agricoles et la qualité des sols sont documentées par le projet « Terres Vivantes » et la thèse de doctorat de Cédric Deluz. Des analyses de type covariance permettront de distinguer les cofacteurs et covariables.

La littérature scientifique met en avant différents facteurs à prendre en compte dans la relation entre les propriétés des sols et la biologie du sol. Ces facteurs évoluent sur des échelles de temps différentes. La teneur en carbone organique et le rapport matière organique sur argile déterminent la qualité physique du sol et sa vulnérabilité face aux opérations mécaniques (Goutal-Pousse et al., 2016; Johannes et al., 2017a; King et al., 2020), mais aussi l'énergie disponible pour les organismes du sol. Ces facteurs évoluent sur une échelle de temps pluriannuelle. La porosité structurale fine du sol est quant à elle un indicateur de la qualité physique du sol et montre de fortes relations avec le développement biologique (Young and Crawford, 2004; Milleret et al., 2009; Kohler-Milleret et al., 2013; Johannes et al., 2017b, 2019; Fell et al., 2018; Kravchenko et al., 2019). La qualité physique du sol évolue rapidement (à l'échelle de la minute en fonction de la saison) sous l'effet des facteurs agronomiques principalement (e.g. tassements – développement racinaire). Les premiers pores impactés par les

opérations mécaniques sont les pores grossiers tandis que le développement racinaire et sa diversité floristique développent la microstructure. Enfin, les conditions climatiques antécédentes (T° et humidité du sol) affectent également le développement de la biologie. On peut considérer ceci sous deux angles : soit comme un artefact à éviter, soit comme permettant d'évaluer le potentiel du sol à favoriser le développement des communautés microbiennes lorsque les conditions climatiques sont favorables. Ces deux aspects seront pris en compte.

Les informations sur les communautés bactériennes et fongiques seront établies en priorité, en raison des interactions étroites avec les facteurs pédologiques et agronomiques déjà soulignés dans la littérature. Des mesures de laboratoire classiques telles que la biomasse et la respiration permettront de décrire les paramètres généraux des communautés. La diversité microbienne ainsi que certaines fonctions associées seront en revanche établies à l'aide d'outils moléculaires.

Les propriétés physiques des sols seront mesurées par analyse du retrait (Boivin et al., 2004; Schäffer et al., 2013), et les propriétés de la matière organique seront analysées à l'aide de la pyrolyse Rock-Eval et de la spectroscopie infra-rouge (Barré et al., 2016; Sebag et al., 2016; Soucémariadin et al., 2018).

Étapes de la recherche

La première échelle d'investigation considérée est la parcelle, qui est l'unité de pilotage au niveau agricole et dont l'information moyenne sur les paramètres déterminants peut être saisie de façon fiable (Leopizzi et al., 2018; Deluz et al., 2020). Celle-ci sera considérée sur deux périodes de l'année.

- Des échantillonnages en sortie d'hiver, comme il est d'usage dans les réseaux de monitoring, permettront de confronter cette information de base dans ses évolutions interannuelles avec les antécédents agricoles (sur 10 ans). Les réseaux de monitoring tendent à montrer une

bonne stabilité temporelle des paramètres biologiques dans ces conditions. La question sera donc de voir dans quelle mesure une large gamme de qualité des sols (quelques dizaines de parcelles sélectionnées dans les 200 du projet Terres Vivantes) fait apparaître des déterminants pédologiques à antécédents culturels équivalents.

- Des échantillonnages en fin d'automne (période de minéralisation maximale) permettront cette fois d'observer les pics atteints par l'activité biologique sur les mêmes parcelles et de discuter des rôles respectifs de l'antécédent agricole récent (e.g. culture d'automne, engrais vert et son intensité etc.), du système de culture (antécédents à 10 ans) et des paramètres qualitatifs du sol dans l'émergence de ces pics.

La seconde échelle d'investigation est celle de l'échantillon de sol non remanié. Des études non invasives sur la microstructure mettent en évidence l'interaction entre le développement des systèmes poraux et les processus microbiens (Baveye et al., 2016; Kravchenko et al., 2019). La question posée dans ce cas n'est plus de considérer la qualité biologique du sol selon son niveau de base (sortie d'hiver), mais dans sa capacité à développer rapidement une activité biologique en présence de conditions favorables (température, humidité et carbone biodisponible).

- Cette question sera d'abord abordée sous l'angle méthodologique : peut-on définir un protocole de laboratoire permettant de combiner des mesures de microstructure par analyse du retrait et une caractérisation du développement microbien en conditions standardisées (notamment température et humidité) ? Ce travail sera réalisé sur des séries d'échantillons non remaniés.
- La question fondamentale qui sera alors développée abordée porte sur la relation entre microstructure du sol et développement de l'activité microbienne : est-ce

par le pic d'activité ou par le niveau de base en conditions froides que se manifestent les plus fortes relations entre les propriétés biologiques et la qualité du sol ?

La synthèse de ces études permettra de mettre en évidence :

- Les paramètres physico-chimiques du sol qui déterminent les populations microbiennes, et leurs déterminants agricoles sur des échelles interannuelles. En particulier les teneurs critiques en matière organique en relation avec le rapport matière organique / argile seront mises en évidence comme cela commence à être documenté ailleurs (Naveed et al., 2016).
- Les rôles respectifs de la qualité structurale et des pratiques agricoles dans les dynamiques microbiennes intra-saisonnières, en proposant du point de vue méthodologique un transfert d'échelle des connaissances obtenues sur les microsites à l'échelle de l'échantillon et de la parcelle.

Literatur:

- Barré, P., Plante, A. F., Cécillon, L., Lutfalla, S., Baudin, F., Bernard, S., et al. (2016). The energetic and chemical signatures of persistent soil organic matter. *Biogeochemistry* 130, 1–12.
- Baveye, P. C., Berthelin, J., and Munch, J.-C. (2016). Too much or not enough: Reflection on two contrasting perspectives on soil biodiversity. *Soil Biol. Biochem.* 103, 320–326.
- Boivin, P., Garnier, P., and Tessier, D. (2004). Relationship between clay content, clay type and shrinkage properties of soil samples. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1145–1153.
- Deluz, C., Nussbaum, M., Sauzet, O., Gondret, K., and Boivin, P. (2020). Evaluation of the potential for soil organic carbon monitoring with farmers. *Front. Environ. Sci.* Submitted.
- Fell, V., Matter, A., Keller, T., and Boivin, P. (2018). Patterns and Factors of Soil Structure Recovery as Revealed From a Tillage and Cover-Crop Experiment in a Compacted Orchard. *Front. Environ. Sci.* 6.
- Goutal-Pousse, N., Lamy, F., Ranger, J., and Boivin, P. (2016). Structural damage and recovery determined by the colloidal constituents in two forest soils compacted by heavy traffic. *Eur. J. Soil Sci.* 67, 160–172.

- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P. C., and Boivin, P. (2017a). Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma* 302, 14–21.
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., and Boivin, P. (2017b). To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? *Soil Tillage Res.* 173, 24–32.
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., and Boivin, P. (2019). Soil structure quality indicators and their limit values. *Ecol. Indic.* 104, 686–694.
- King, A. E., Ali, G. A., Gillespie, A. W., and Wagner-Riddle, C. (2020). Soil Organic Matter as Catalyst of Crop Resource Capture. *Front. Environ. Sci.* 8.
- Kohler-Milleret, R., Bayon, R.-C. L., Chenu, C., Gobat, J.-M., and Boivin, P. (2013). Impact of two root systems, earthworms and mycorrhizae on the physical properties of an unstable silt loam Luvisol and plant production. *Plant Soil*, 1–15.
- Kravchenko, A. N., Guber, A. K., Razavi, B. S., Koestel, J., Quigley, M. Y., Robertson, G. P., et al. (2019). Microbial spatial footprint as a driver of soil carbon stabilization. *Nat. Commun.* 10, 3121.
- Leopizzi, S., Gondret, K., and Boivin, P. (2018). Spatial variability and sampling requirements of the visual evaluation of soil structure in cropped fields. *Geoderma* 314, 58–62.
- Milleret, R., Le Bayon, C., Lamy, F., Gobat, J. M., and Boivin, P. (2009). Impact of root, mycorrhiza and earthworm on soil physical properties as assessed by shrinkage analysis. *J. Hydrol.* 373, 499–507.
- Naveed, M., Herath, L., Moldrup, P., Arthur, E., Nicolaisen, M., Norgaard, T., et al. (2016). Spatial variability of microbial richness and diversity and relationships with soil organic carbon, texture and structure across an agricultural field. *Appl. Soil Ecol.* 103, 44–55.
- Schäffer, B., Schulin, R., and Boivin, P. (2013). Shrinkage Properties of Repacked Soil at Different States of Uniaxial Compression. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 1930–1943.
- Sebag, D., Verrecchia, E. P., Cécillon, L., Adatte, T., Albrecht, R., Aubert, M., et al. (2016). Dynamics of soil organic matter based on new Rock-Eval indices. *Geoderma* 284, 185–203.
- Soucémariadin, L., Cécillon, L., Chenu, C., Baudin, F., Nicolas, M., Girardin, C., et al. (2018). Is Rock-Eval 6 thermal analysis a good indicator of soil organic carbon lability? – A method-comparison study in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 117, 108–116.
- Young, I., and Crawford, J. W. (2004). Interactions and self-organization in the soil-microbe complex. *Science* 304, 1634–1637.

Impressum Bulletin BioSA n° 19/2020

Éditeur : BioSA (Groupe de travail « Biologie du sol – application »)

Le groupe de travail a été constitué en 1995 à l'initiative des services cantonaux de la protection des sols et de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) sous le nom de BSA. Il traite essentiellement d'aspects de la biologie du sol en rapport avec la protection des sols et la conservation de leur fertilité dans le cadre de l'application de l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol).

Président depuis 2019

Clément Levasseur
 Institut agricole de l'Etat de Fribourg
 Centre de conseils agricoles
 Landwirtschaftliches Institut des
 Kantons Freiburg
 Landwirtschaftliches Beratungszentrum
 Route de Grangeneuve 27, CH-1725 Posieux
 Tél +41 26 305 58 74
 www.grangeneuve.ch
 E-Mail: Clement.Levasseur@fr.ch

Secrétariat et commande

Dr. Andreas Fliessbach
 Institut de recherche de l'agriculture (FiBL)
 Ackerstrasse
 CH-5070 Frick
 Tél. 062 865 72 25
 Fax. 062 865 72 73
 E-Mail: andreas.fliessbach@fibl.org

Le bulletin est également disponible sur Internet : <http://www.bafu.admin.ch> → Thèmes → Sols → Informations pour spécialistes → Mesures de protection des sols → Biologie du sol