Arbeitsgruppe «Vollzug BodenBiologie»
Groupe de travail «Biologie du Sol – Application»

Cercle sol | VBBio-BioSA

VBBio-Bulletin-BioSA Nr. 21, 2024

La plastisphère de l'Anthropocène

Contenu

1. Éditorial 2

2. Projets choisis du BioSA

2.1 Détermination d'équations de valeurs de référence pour l'évaluation de mesures microbiologiques sur des sites de prairies 3

2.2 Les données brutes sur le lien au sol des espèces de la Liste rouge sont publiées et disponibles en ligne ! 4

3. Forum Biologie du sol appliquée

3.1 Progrès sol. Pôle d'innovation pour la fertilité du sol : autodiagnostic et conseil 8

3.2 Microplastiques le long des routes soleuroises 14

1. Éditorial

Gaby von Rohr
Amt für Umwelt, Abteilung Boden – Bodenschutz, 4509 Solothurn

La diversité des organismes du sol et leur rôle central dans les cycles naturels ont gagné du terrain ces dernières années dans la recherche et dans la perception publique. On ne peut que se réjouir de cette sensibilisation croissante. Malheureusement, malgré les méthodes existantes et nouvelles, la biologie du sol est encore rarement intégrée dans les questions de protection des sols. Le Bulletin BioSA veut ici donner des impulsions en présentant de nouveaux travaux sur des thèmes méthodologiques ainsi que des exemples tirés de la pratique.
Pour l'interprétation des paramètres microbiens, l'aide à la mise en œuvre du BioSA sur l'utilisation et l'interprétation des paramètres biologiques du sol est disponible depuis 2009. Le NABO a maintenant étendu le système des valeurs de référence pour l'évaluation des mesures microbiennes sur les sites de prairies, grâce à l'élargissement des bases de données du NABO et des KABO. Cette nouvelle base d'évaluation sera publiée prochainement et présentée dans le bulletin. Une révision complète de l'aide à la mise en œuvre BioSA, vieille de presque 15 ans, a également été entamée. Elle se base sur le grand nombre de nouveaux résultats de mesure obtenus depuis 2009. Cette base de données plus large permet de préciser les valeurs de référence et de comparaison disponibles. En outre, les valeurs de référence mentionnées pour les sites de prairies ainsi que de nouvelles méthodes doivent être complétées. Cette actualisation de l'aide à la mise en œuvre BioSA est très réjouissante, car elle constitue la seule base d'évaluation pour les études pédobiologiques dans le cadre de la surveillance des sols et de l'exécution.
Le bulletin présente également deux projets qui relient des analyses pédobiologiques à des cas pratiques avec des approches différentes.
Dans le cadre du projet Progrès Sol, orienté vers les utilisateurs, 42 agriculteurs du canton de Vaud se sont penchés pendant cinq ans sur la fertilité du sol. Avec une approche participative, des méthodes de terrain faciles à appliquer ont été testées en parallèle de mesures de production végétale, permettant aux agriculteurs d'évaluer en permanence la fertilité de leurs sols et le succès de leurs mesures. Le rapport indique quelles méthodes de terrain ont été jugées pratiques et utiles par les agriculteurs.
Le deuxième projet consiste à élaborer des bases de connaissances sur les microplastiques. Bien qu'il soit clair que les microplastiques ne se retrouvent pas seulement dans les eaux, mais en bien plus grande quantité dans les sols, on en sait encore très peu sur les quantités et sur les effets des microplastiques sur la fertilité des sols. Dans le cadre du projet du FiBL présenté ici, la teneur en microplastiques des sols a notamment été déterminée sur 15 sites le long de routes cantonales du canton de Soleure, et l'effet des microplastiques sur la biologie des sols et la croissance des plantes a été étudié en parallèle dans des essais en pots. Les premiers résultats sont maintenant présentés dans le Bulletin BioSA.
Avec ce bulletin, Andreas Fliessbach fait ses adieux au BioSA. Pendant des années, il a participé activement au groupe de travail ainsi qu'à de nombreux projets. De plus, il a dirigé le secrétariat du BioSA durant les 12 dernières années et assumé la responsabilité des bulletins. Nous le remercions chaleureusement pour son grand engagement dans notre groupe de travail et pour la biologie du sol.

2. Projets choisis du BioSA

2.1 Détermination d'équations de valeurs de référence pour l'évaluation de mesures microbiologiques sur des sites de prairies

Anna-Sofia Hug und Janine Moll-Mielewczik
Agroscope, Observatoire national des sols NABO, 8046 Zürich Reckenholz

1 Introduction et contexte

Les organismes du sol sont essentiels pour la fertilité du sol et de nombreux services écosystémiques. En décomposant et en dégradant la matière organique, ils produisent des éléments nutritifs disponibles pour les plantes, stabilisent la structure ou travaillent les couches supérieures du sol, assurant ainsi des conditions aérobies dans le sol. De plus, ils peuvent se nourrir d'organismes nuisibles et décomposer des polluants. Il est donc essentiel de disposer d'informations sur l'état de ces organismes. En Suisse aussi, la Confédération et les cantons s'accordent sur le fait que les paramètres biologiques du sol doivent être mesurés dans le cadre d'un monitoring (voir aussi Gubler et al., 2020). Cependant, pour l'observation des sols ainsi que pour l'application de la protection des sols, ce n'est pas seulement la mesure de la biologie des sols qui est importante, mais aussi l'évaluation des valeurs mesurées. Une évaluation est non seulement décisive pour la science et la mise en œuvre, mais aussi pour la communication avec les décideurs en matière de politique environnementale, les exploitant-e-s et les non-spécialistes.

Pour les sites de culture, il existe déjà un instrument permettant d'évaluer la biomasse microbienne (mesurée avec la méthode par fumigation-extraction B-BM-FE, FAL, 1998) et la respiration basale B-BA-IS (FAL, 1998) : en fonction des caractéristiques du site, il est possible d'établir des équations de valeurs de référence, de calculer les valeurs typiques du site attendues et d'évaluer ainsi les valeurs mesurées (Oberholzer et al., 1999 ; Oberholzer et Scheid, 2007 ; VBB/BSA, 2009). Les valeurs microbiennes mesurées sur les sites de prairies (biomasse microbienne mesurée par la méthode de fumigation-extraction et la respiration basale) n'avaient pas pu être évaluées jusqu'à présent. L'étude présentée ici vise à combler cette lacune. Afin de permettre une évaluation commune de données provenant de réseaux de mesure de différentes profondeurs d'échantillonnage à l'aide de facteurs de conversion, il a en outre été vérifié si les valeurs mesurées à une profondeur d'échantillonnage de 0-10 cm pouvaient être converties en valeurs à une profondeur d'échantillonnage de 0-20 cm.

2. Méthodes

2.1 Équations de valeurs de référence

À l'aide de données provenant de différents réseaux de mesure (NABO, KABO, Agroscope, Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL), une équation de valeur de référence a tout d'abord été établie avec le programme statistique R pour les sites de culture, tant pour la respiration basale que pour la biomasse microbienne, et comparée aux équations existantes d'Oberholzer et al. (1999) et du BSA (2009). Cela a permis de vérifier la méthodologie de cette étude, c.-à-d. la mise en œuvre statistique utilisée pour déterminer des équations de valeurs de référence.

Les valeurs de la biomasse microbienne et de la respiration basale calculées à l'aide des nouvelles équations définies pour les sites de culture correspondent aux valeurs mesurées avec une précision respective de R^2 = 0.68 et 0.57. (Ceci en comparaison

avec le modèle existant avec un R^2 de 0.67 et 0.57). Dans cette étude, des équations de valeurs de référence pour les sites de prairies ont été établies selon la même méthode statistique.

2.2 Jeux de données

Une équation de valeur de référence a été établie pour les jeux de données suivants (n=nombre de sites) :

- Champ cultivé 0-20 cm (n=111) (pour valider la méthode statistique utilisée)
- Prairie 0-20 cm (n=62)
- Prairie 0-10 cm (n=33),

2.3 Différentes profondeurs d'échantillonnage

Selon le programme d'observation des sols, les sites de prairies sont échantillonnés jusqu'à une profondeur de 10 cm ou de 20 cm. Les valeurs mesurées se rapportent donc à différents horizons du sol ou volumes, ce qui rend difficile une évaluation commune de telles données. Dans le cadre du KABO Berne, les deux profondeurs sont échantillonnées simultanément. Avec ce jeu de données (n=18), il a été vérifié si les valeurs de 0-10 cm pouvaient être converties en valeurs de 0-20 cm.

3 Résultats

3.1 Biomasse microbienne

L'équation (1) a pu être définie pour la biomasse microbienne dans les sites de prairies à une profondeur d'échantillonnage de 0-20 cm. L'équation (1) a été établie à partir d'un sous-ensemble de 50 sites. Les valeurs calculées à l'aide de l'équation (1) sont en corrélation avec les valeurs mesurées avec un R^2 de 0.86 (figure 1).

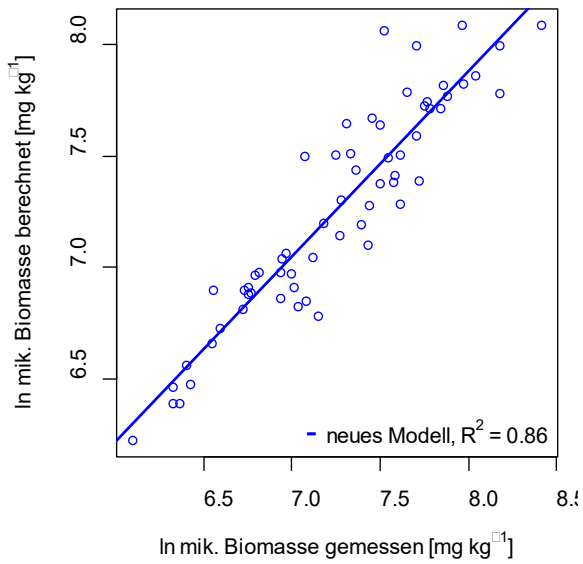

Figure 1 : Valeurs calculées par rapport aux valeurs mesurées pour la biomasse microbienne (logarithmes) basées sur le jeu de données Prairies 0-20 cm (n = 62). En bleu : relation linéaire entre les valeurs mesurées et calculées (R^2 = 0.86).

Équation (1) : Prairie, 0-20 cm de profondeur de sol : biomasse microbienne FE (mg C_{mik} kg^{-1} ms)
ln(BM-FE) = 1.0460 * ln(C_{org}) + 0.0188 * pH + 0.65741 * ln(Ton) + 0.5879 * ln(Sand) + 1.7448

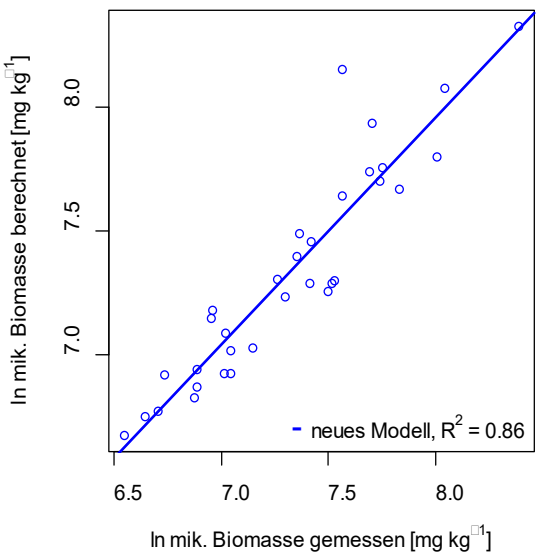

Figure 2 : Valeurs calculées par rapport aux valeurs mesurées de la biomasse microbienne (logarithmes) du jeu de données Prairies 0-10 cm (n = 33). En bleu : relation linéaire entre les valeurs mesurées et calculées (R^2 = 0.86).

Équation (2) : Prairie, 0-10 cm de profondeur de sol : biomasse microbienne FE (mg C_{mik} kg^{-1} ms)
ln(BM) = 0.7495 * ln(C_{org}) + 0.0133* pH + 0.5646 * ln(Ton) + 0.0252 * ln(Sand) + 4.5245

Abréviations : C_{org} : carbone organique du sol [%], pH : valeur du pH ($CaCl_2$), Ton : teneur en argile [%], Sand : teneur en sable [%], ln : logarithme naturel, ms : matière sèche

L'équation (2) a pu être définie pour la biomasse microbienne dans les sites de prairies à une profondeur d'échantillonnage de 0-10 cm. L'équation (2) a été établie à partir d'un sous-ensemble de 25 sites. Les valeurs de biomasse microbienne calculées à

l'aide de l'équation (2) sont en corrélation avec les valeurs mesurées avec un R^2 de 0.86 (figure 2).

3.2 Respiration basale

L'équation (3), calculée à partir d'un sous-ensemble de 50 sites, a pu être définie pour la respiration basale dans les sites de prairies à une profondeur d'échantillonnage de 0-20 cm. Les valeurs de respiration basale calculées à l'aide de l'équation (3) sont en corrélation avec les valeurs mesurées avec un R^2 de 0.70 (figure 3).

L'équation (4), calculée à partir d'un sous-ensemble de 25 sites, a pu être définie pour la respiration basale dans les sites de prairies à une profondeur d'échantillonnage de 0-10 cm. Les valeurs de respiration basale calculées à l'aide de l'équation (4) sont en corrélation avec les valeurs mesurées avec un R^2 de 0.58 (figure 4).

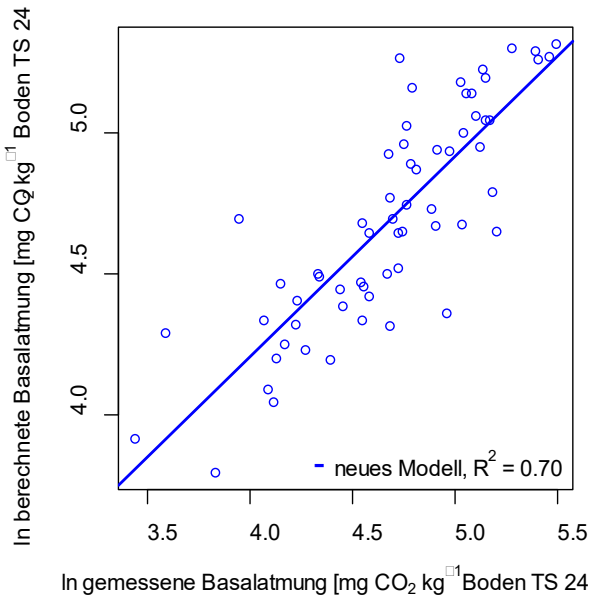

Figure 3 : Valeurs de respiration basale calculées et mesurées (logarithmes) basées sur le jeu de données Prairies 0-20 cm (n = 62). En bleu : relation linéaire entre les valeurs mesurées et calculées (R^2 = 0.70).

Équation (3) : prairie, 0-20 cm de profondeur de sol : respiration basale (mg CO_2 kg^{-1} ms 24 h^{-1})

$\ln(BA) = 0.9176 * \ln(Corg) + 0.1172 * pH + 0.0329 * \ln(Ton) + 0.2989 * \ln(Sand) + 1.7480$

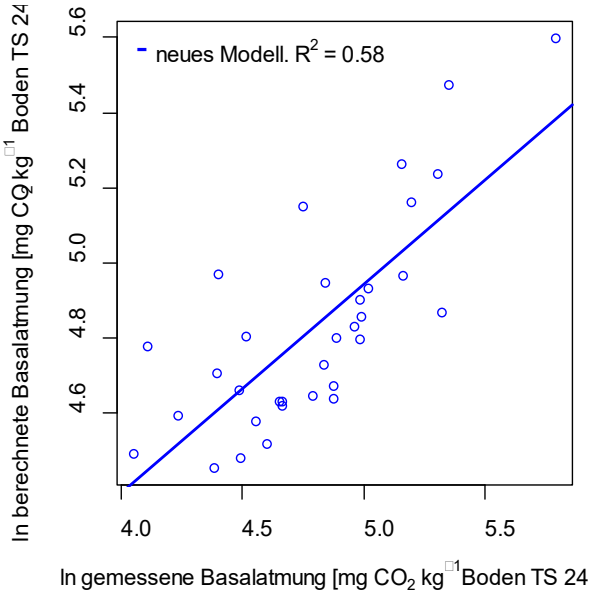

Figure 4 : Valeurs de respiration basale calculées et mesurées (logarithmes) du jeu de données Prairies 0-10 cm (n = 33). En bleu : relation linéaire entre les valeurs mesurées et calculées (R^2 = 0.58).

Équation (4) : prairie, 0-10 cm de profondeur de sol : respiration basale (mg CO_2 kg^{-1} ms 24 h^{-1})

$\ln(BA) = 0.5794 * \ln(C_{org}) + 0.1421 * pH - 0.3540 * \ln(Ton) - 0.1655 * \ln(Sand) + 4.9952$

3.3 Facteurs de conversion pour les valeurs obtenues à des profondeurs d'échantillonnage différentes

Dans le cadre de cette étude, il a également été vérifié si les valeurs pour la profondeur d'échantillonnage 0-20 cm pouvaient être calculées à partir des valeurs mesurées pour la profondeur d'échantillonnage 0-10 cm. Les corrélations élevées de la respiration basale, de la biomasse microbienne, du C_{org} et du pH entre les deux profondeurs d'échantillonnage ont permis de déduire des facteurs de conversion (tableau 1). Il est ainsi possible de convertir, d'harmoniser et d'évaluer conjointement des données provenant de différents réseaux de mesure avec différentes profondeurs d'échantillonnage. Cela permet d'une part d'élargir la base de données, et d'autre part, de poursuivre une série chronologique, même si la profondeur d'échantillonnage devait être modifiée. Les valeurs granulométriques obtenues aux

deux profondeurs présentent toutefois une corrélation plus faible, raison pour laquelle aucun facteur de conversion n'a été établi pour ce paramètre (tableau 1).

Tableau 1 : Facteurs de conversion de 0-10 cm à 0-20 cm de profondeur d'échantillonnage pour les prairies (n=18).

Paramètres de mesure	Rho, p (10 cm vs 20)	Conversion de 10 cm à 20 cm prof.
Respiration basale [mg CO_2 kg^{-1} sol ms 24 h^{-1}]	0.82, p<0.001	BA(20cm) = 0.64 * BA(10cm)
Biomasse microbienne (FE-C) [mg kg^{-1}]	0.93, p<0.001	BM(20cm) = 0.73 * BM(10cm)
C_{org} FAL [Gew. %]	0.93, p<0.001	C_{org}(20cm) = 0.80 * Corg(10cm)
pH ($CaCl_2$)	0.99, p<0.001	pH(20cm) = 0.99 * pH(10cm)
Argile	0.46, p<0.06	
Sable	0.84, p<0.001	

4. Conclusions et perspectives

La présente étude fournit les premières équations de valeurs de référence pour l'évaluation de la biomasse microbienne et de la respiration basale dans les prairies du Plateau suisse. Une vérification du nombre de mesures nécessaires pour déduire des équations de référence a montré que la quantité de données disponibles pour cette étude est très faible voire insuffisante pour les prairies (non montré ici), en particulier pour les prairies 0-10 cm avec seulement 33 sites. Les travaux doivent donc être considérés comme non terminés.

Ce travail a également montré que la biomasse microbienne peut être déterminée de manière plus fiable que la respiration basale. Une étude plus approfondie sur d'autres variables d'étude possibles (climat, fractions de carbone, physique du sol, etc.) qui influencent la respiration basale pourrait éventuellement améliorer la précision des valeurs typiques attendues pour un site, en particulier sur les sites de terres cultivées.

La définition d'équations de valeurs de référence spécifiques à l'utilisation, par exemple pour les sites d'alpage, de prairies exploitées de manière intensive sur le Plateau ou de grandes cultures orientées céréales, pourrait également améliorer leur qualité.

En raison de la quantité relativement faible de données (n = 18) utilisées pour déterminer les facteurs de conversion, il est recommandé de procéder simultanément à des prélèvements de 0-10 cm et de 0-20 cm de profondeur de sol sur les mêmes sites et de les analyser. Cela permettrait d'une part d'améliorer la précision du facteur de conversion des valeurs mesurées à différentes profondeurs. D'autre part, la base de données ainsi élargie pourrait être utilisée pour valider ou améliorer les équations de valeurs de référence, en particulier pour les sites de prairies de 0-10 cm.

Pour l'élaboration de valeurs de référence et d'instruments d'évaluation, il est très important de disposer d'une base de données suffisamment importante. Tout comme lors de l'évaluation commune des données d'observation des sols cantonaux et nationaux (Hug et al., 2021), l'importance d'une utilisation uniforme de méthodes d'échantillonnage et de mesure standardisées a été de nouveau mise en évidence. Comme les mesures de biologie du sol dépendent fortement des méthodes utilisées, seules les valeurs mesurées avec la même méthode devraient être analysées ou interprétées en commun. Une standardisation des méthodes à l'échelle de la Suisse, voire de l'Europe, permettrait d'utiliser au mieux les rares données pédobiologiques disponibles en Suisse et à l'étranger. Cela permettrait d'élargir considérablement la base de données pour en déduire des principes d'interprétation.

Littérature :

FAL, FAW, RAC (1998). Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2, Bodenuntersuchung zur Standortcharakterisierung.

Gubler, A., Meuli, R., Keller, A. 2020. Bedürfnisse der Kantone und des Bundes rund um ein Moni-toring der Ressource Boden. Nationale Bodenbeobachtung, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Verfügbar unter: www.nabo.ch.

Hug, A.S., Moll, J., Gubler, A., 2021. Monitoring Bodenbiologie. Auswertung bodenmikrobiologi-scher Daten von kantonalen und nationalen Bodenbeobachtungsstandorten. AgroscopeScience 110, 2021.

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 (NABO-bio). Umwelt-Wissen Nr. 0723. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

VBB/BSA 2009. Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, Frick.

2.2 Les données brutes sur le lien au sol des espèces de la Liste rouge sont publiées et disponibles en ligne !

Beat Frey

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Waldböden und Biogeochemie 8903 Birmensdorf

Claudia Maurer

Fachstelle Boden Kanton Bern, 3052 Zollikofen

L'étude unique en son genre de Claudia Maurer et Beat Frey sur les espèces de la Liste rouge qui passent une phase de leur cycle de vie dans le sol est désormais publiée sous forme de données brutes et peut être consultée sur le serveur de données Envidat.

Frey B., Maurer C., Schneider K. (2023) Informationen zum Boden anhand der Gebundenheit der Rote-Liste Arten BAFU. Bundesamt für Umwelt BAFU. 26 p.

Frey, B., Maurer, C., Schneider, K. (2023). Information on soil based on the soil dependency of the FOEN red list species. *EnviDat.* https://www.doi.org/10.16904/envidat.465

Consultable ici : https://envidat.ch/#/metadata/soil-dependency-of-red-list-species

3. Forum Biologie du sol appliquée

3.1 Progrès sol. Pôle d'innovation pour la fertilité du sol : autodiagnostic et conseil

Raphaël Charles, Marina Wendling
Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL ; Av. des Jordils 3, CP 1080 ; 1001 Lausanne

Emilie Carrard et Edouard Cholley
Proconseil Sàrl, Av. des Jordils 3, 1001 Lausanne

François Füllemann
Direction générale de l'environnement, Avenue de Valmont 30b, 1014 Lausanne

1. Introduction

Les projets du PNR68 « Protection de la ressource sol » ont permis de dresser l'état des lieux concernant les priorités d'action en termes de protection du sol : compaction, érosion, perte de matière organique, perte de biodiversité, polluants. Avant d'envisager l'engagement de toute mesure de protection du sol, des outils de diagnostic sont essentiels pour mesurer les risques encourus et gérer les problèmes identifiés en définissant des solutions techniques efficientes. Il existe notamment de nombreux outils qui s'adressent à la fertilité du sol. Dans une perspective d'appropriation et de gain d'autonomie, l'agriculteur est la personne la mieux placée pour faire un choix parmi ces outils. Toutefois il doit être accompagné sur les plans technique et scientifique.

Afin de renforcer la capacité de diagnostic de la fertilité du sol et la prise de mesures pertinentes pour sa protection, il vaut la peine d'envisager une démarche ascendante pour déterminer les problèmes réels et les besoins futurs, puis identifier les bons outils, les adapter et enfin les rendre accessibles, tout en assurant une pertinence scientifique et technique par rapport aux objectifs visés.

2. Objectifs du projet

Le projet Progrès sol a donné lieu à l'analyse de l'état du sol d'un réseau de parcelles du canton de Vaud et au développement d'une démarche visant à définir les priorités d'action en matière de fertilité du sol et à identifier les outils de diagnostic et de conseil nécessaires pour une plus grande autonomie. Il comprenait trois objectifs :

- Créer un réseau de référence pour suivre l'état de fertilité des sols.
- Développer un set d'outils d'autodiagnostic du sol pour les agriculteurs.
- Développer le conseil sur la thématique de la fertilité des sols.

3. Démarche

Le projet, financé par le canton de Vaud, s'est déroulé de 2017 à 2022 et s'est articulé en deux parties : i) un sujet consacré à la qualité du sol a été travaillé chaque année dans des cercles de travail afin de disposer à terme d'un set d'outils d'autodiagnostic, ii) le suivi de parcelles sur plusieurs années (5 ans) a permis d'évaluer l'évolution des pratiques et de la fertilité du sol afin de disposer d'un réseau de référence.

Les activités du projet étaient principalement basées sur un réseau d'exploitations de grandes cultures. Chaque année, les agriculteurs du réseau ont décidé en réunion plénière d'un sujet commun, des besoins de diagnostic de la qualité du sol et d'un programme d'activités. Les activités spécifiques ont été organisées dans des cercles de travail régionaux dans un premier temps, puis thématiques.

Les agriculteurs ont été accompagnés tout au long de leurs démarches par le FiBL et Proconseil, responsables de la mise à disposition des connaissances et des outils utilisables, du matériel et des méthodes servant aux études annuelles, ainsi que du regroupement et de la synthèse des résultats annuels et pluriannuels.
Des démarches spécifiques ont été adoptées en fonction des trois objectifs du projet.

3.1. Créer un réseau de référence de la qualité des sols

- Créer un réseau d'agriculteurs (quelque 40 exploitations) participant à l'évaluation d'outils de diagnostics.
- Créer un réseau de personnes de référence, moteurs de la mise en œuvre de stratégies pour le maintien et l'amélioration de la fertilité du sol.
- Réunir les démarches innovantes et accompagner leur développement et leur diffusion.
- Établir un réseau de parcelles sur le long terme pour effectuer un monitoring de l'évolution de l'état du sol
- Accueillir les institutions intéressées et créer un réseau accueillant pour la pratique, le conseil, la recherche, l'enseignement, les décideurs.

3.2. Développer un set d'outils pour évaluer la fertilité du sol

- Identifier les priorités d'action avec l'aide des cercles d'agriculteurs et sur la base de nouvelles connaissances techniques et scientifiques.
- Identifier les outils correspondant aux objectifs de diagnostic et de travail en autonomie. Comparer ces outils sur la base des informations déjà disponibles. Procéder aux adaptations et développements nécessaires pour leur mise à disposition des agriculteurs.
- Former les utilisateurs aux outils. Préparer et soutenir la mise en œuvre des outils dans les parcelles de référence. Accompagner les relevés nécessaires pour évaluer les outils.
- Rassembler, mettre en valeur et interpréter les données des champs. Comparer les outils proposés à la pratique. Soumettre les résultats aux participants des réseaux et à la critique scientifique.

3.3. Développer le conseil dans le domaine de la fertilité du sol

- Accompagner les agriculteurs et développer le conseil dans le domaine de la fertilité du sol.
- Rassembler et enrichir les méthodes d'autodiagnostic intégrant les différentes méthodes testées pour en faire une boîte à outils permettant d'identifier efficacement les problèmes à la parcelle et d'avoir les capacités de suivre les améliorations (diagnostic, aide à la décision, monitoring).
- Proposer un catalogue de mesures techniques et d'outils de pilotage permettant de s'améliorer.
- Identifier les ressources de soutien disponibles pour les agriculteurs et correspondant aux différents types de besoins (laboratoire, conseillers, spécialistes).

4. Résultats

Les résultats comprennent l'animation et le déroulement du projet durant les 6 ans, les résultats des analyses de sol et leur interprétation, les différents outils mis à disposition, ainsi que les moyens mis en œuvre pour diffuser les résultats.

4.1. Animation et déroulement du projet

La première année du projet a permis d'établir une première caractérisation de l'état des 210 parcelles des 42 participants du réseau sur la base d'analyses de sol tirées des Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse PRIF (Sinaj et Richner, 2017) ou appartenant à des démarches prospectives ou en développement. Le set d'analyses comprenait des propriétés chimiques (pH, Ca, N, PKMg solubles et de réserve, CEC, taux de saturation, Cu, Zn), la granulométrie et la matière organique (y compris les fractions labile et stable), des

paramètres biologiques (biomasse microbienne ATP et CFE, respiration, minéralisation), ainsi qu'un bilan humique des exploitations.
La deuxième année du projet a servi à observer sur le terrain l'état et le fonctionnement du sol à l'aide de plusieurs méthodes telles que le test à la bêche et des évaluations visuelles du sous-sol : profil cultural, mini-profil au frontal. Des guides pratiques spécifiques ont été développés pour accompagner les agriculteurs dans la réalisation de ces évaluations.
La troisième année s'est concentrée sur le thème des amendements organiques utilisés par les agriculteurs. Une campagne d'analyses pour mieux connaître les amendements à disposition ainsi que trois ateliers autour de cette vaste thématique ont été organisés.
Dès la quatrième année et jusqu'au terme du projet, les travaux ont été réalisés dans des cercles de travail consacrés à la recherche de solutions collectives ou individuelles pour améliorer la qualité du sol sur 6 thématiques jugées prioritaires : controlled traffic farming, compaction, fertilisation, séquestration du carbone (2 cercles), perturbation du sol, couverts végétaux. Les travaux de développement d'outils de diagnostic et l'élaboration de références technico-scientifiques ont été poursuivis au cours de visites de terrain et avec l'accompagnement d'experts.
La communication sur le contenu du projet s'est concentrée dans un premier temps sur la mise à disposition des documents issus du projet sur le site internet dédié www.progres-sol.ch, ainsi que sur une participation active à des journées techniques consacrées aux grandes cultures. La dernière année a permis une communication renforcée avec un cycle de cinq conférences, la diffusion de podcasts et une manifestation de clôture.

4.2. Analyses de sol, de plantes et d'amendements

Les résultats des différentes analyses (sol, plantes, amendements) et la mise en œuvre d'outils de diagnostic (profils de sol, bilan humique, perturbation du sol) ont fourni une vision globale de la situation.
Ils ont aussi permis de discuter de leur interprétation avec les participants, de reprendre les bases de certaines analyses complexes comme la CEC, ou encore d'explorer de nouveaux moyens comme les analyses de la vie du sol, la caractérisation des fractions de la matière organique, ou les analyses de sève. L'interprétation des facteurs les plus en lien avec les pratiques a permis de caractériser la qualité des parcelles du réseau et d'identifier les principales stratégies adoptées dans la gestion de la fertilité du sol.

4.2.1. Teneur en matière organique

La teneur en matière organique (MO) des 210 parcelles est globalement satisfaisante à bonne selon les grilles d'interprétation des PRIF. Par contre, l'interprétation du ratio MO/argile (Johannes et al. 2016) donne un tout autre tableau de la situation : seul un quart des parcelles atteint la valeur cible de 17. La teneur en MO doit donc généralement être améliorée pour limiter la vulnérabilité de la structure des sols. Le lien entre le ratio MO/argile et la qualité de la structure du sol déterminé par l'indicateur visuel VESS a pu être vérifié ici aussi.

4.2.2. Nutriments

Selon les PRIF, les sols du réseau sont bien pourvus en nutriments. Une interprétation du phosphore (P) disponible sur la base d'un seuil de concentration critique (Hirte et al., 2020) met en évidence que les sols en contiennent suffisamment pour assurer des rendements optimaux. Aucune parcelle n'atteint la concentration critique pour le blé, et seulement quatre parcelles atteignent le seuil pour les pommes de terre, culture exigeante. Ces résultats sont en contradiction avec ceux observés dans différentes études

suisses (Fliesch et al. 2001), qui estiment que plus de la moitié des sols suisses présentent des teneurs en P insuffisantes.

4.2.3. Bilan humique

Les bilans humiques présentaient des valeurs comprises entre -113 et 2726 kg MO ha^{-1} et une moyenne de 852 kg MO ha^{-1}. Selon Weisskopf (2021), cela correspond à un niveau critique (> 800 kg MO ha^{-1}), avec des risques de perte d'éléments nutritifs par lixiviation et pollution des nappes phréatiques. À titre de comparaison, le bilan humique recommandé devrait se situer entre 200 et 400 kg de MO ha^{-1} par an pour limiter les risques, tout en maintenant un bon fonctionnement du sol. Moins de 20 % des agriculteurs du réseau présentaient un tel bilan. Les nombreux bilans jugés excédentaires, discutés dans le cadre du projet, résultent généralement de mesures correctives suite à une prise de conscience des teneurs insuffisantes en matière organique, dans des contextes où la disponibilité en amendements organiques à l'échelle de l'exploitation est souvent limitée.

4.2.4. Stratégies de gestion de la fertilité des sols

Trois stratégies de gestion de la MO ont été identifiées sur la base des composantes du bilan humique et des résultats des analyses de sol. Dans la première, les agriculteurs mettent en place un grand nombre de couverts végétaux et de légumineuses, mais apportent peu d'amendements organiques. La seconde stratégie est basée sur la conservation des résidus de culture (pailles), mais comporte moins de couverts végétaux et de légumineuses. La troisième stratégie montre des apports importants d'amendements organiques, l'exportation des résidus de culture et une grande proportion de prairies – indiquant des domaines avec élevage ou en bio. Globalement, les agriculteurs qui ont apporté de grandes quantités d'amendements organiques ont présenté une meilleure qualité de sol. Si l'on examine les paramètres individuels, on peut voir que cette stratégie présente un ratio MO/argile, une activité microbienne et une biomasse microbienne significativement plus élevés. Ce résultat souligne l'importance des amendements organiques et des prairies pour améliorer la fertilité du sol. La stratégie avec des couverts végétaux ou des résidus de culture restitués montre des résultats moins favorables. Il n'est en revanche pas possible de dire ici si ces stratégies, reconnues comme leviers d'action importants, n'ont pas encore porté leurs fruits, car mises en place trop récemment, ou si elles sont moins efficaces. En revanche, aucune différence entre les trois groupes n'a été observée pour la teneur en phosphore, les teneurs étant élevées quelle que soit la stratégie de gestion de la MO.

4.3. Outils mis à disposition

Les outils testés ont parfois été adaptés sur demande des participants. Ils disposent d'une documentation complète pour leur mise en œuvre qui est disponible sur le site internet. Ce set d'outils couvre des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de la qualité du sol.

Indice de perturbation du sol STIR

Le STIR (Soil Tillage Intensity Rating) décrit la perturbation de la structure du sol engendrée par les différents types d'interventions culturales. Il intègre les facteurs vitesse, profondeur et surface perturbée liés au travail du sol et au désherbage mécanique. Plus l'indicateur est élevé, plus le sol est perturbé. Cet outil est disponible en ligne pour évaluer le STIR d'une culture, d'une rotation ou d'une exploitation entière (https://www.progres-sol.ch/stir.html).

L'une des forces du projet a été de faire descendre dans le profil les agriculteurs eux-mêmes, plutôt que les pédologues ou les agronomes, pour décrire leur sol.

Profil de sol

Le guide simplifié de description du profil de sol reprend les méthodes pratiquées par des spécialistes du sol (pédologues, agronomes). Il permet aux agriculteurs de décrire par eux-mêmes l'état et le fonctionnement de leur sol. Les fiches d'observation permettent de diagnostiquer les liens entre les caractéristiques du sol et les activités culturales. Les critères sont la circulation de l'eau et de l'air, l'activité biologique des racines et vers de terre, la qualité structurale, et la vulnérabilité du sol face aux pratiques culturales.

Évaluation visuelle de la structure VESS

Le test à la bêche est une approche rapide pour évaluer visuellement la qualité structurale du sol. Cet outil se concentre sur la porosité et la circulation verticale de l'eau et de l'air, ainsi que sur la colonisation du sol. La méthode VESS (Visual Evaluation of Soil Structure) évalue la qualité structurale selon 5 classes, basées sur différents critères : mottes, agrégats, dureté, porosité, enracinement. Les résultats sont corrélés avec la teneur en matière organique exprimée dans son rapport avec la teneur en argile.

Remplacer la bêche par un chargeur frontal a permis de rendre l'évaluation de la structure du sol plus accessible et sympathique

Mini profil 3D

Cette méthode consiste à prélever un bloc de sol avec un chargeur frontal ou télescopique. Cet outil intermédiaire entre le test à la bêche et le profil cultural a été plébiscité par les agriculteurs, car il a l'avantage d'être rapide et peu pénible, tout en prélevant un bloc de taille conséquente (70 x 40 cm). La description du bloc est semblable à celle du test à la bêche ou du profil de sol.

Chaulage et capacité d'échange cationique CEC

Les méthodes d'interprétation de la capacité d'échange cationique CEC et du taux de saturation des bases, ainsi que l'évaluation des besoins de chaulage (pH, $CaCO_3$ du sol) sont synthétisées dans un document qui répond aux questions d'équilibre entre les différents éléments nutritifs dans le sol. Ce document vise à reprendre les connaissances pratiques de base (Collaud, 1990) oubliées dans les dernières versions des Principes de fertilisation PRIF.

Comptage de vers de terre

Les vers de terre sont des ingénieurs essentiels à la bonne santé d'un sol. Une méthode simple de mesure de leur biomasse et de leur abondance a été développée pour quantifier leur présence sous l'influence des pratiques agricoles (Fischer, 2019), avec un seuil d'interprétation communément admis de 120 individus/m² au minimum pour un sol de terre ouverte.

Activité biologique des sols

La biologie du sol fait partie intégrante de la bonne santé d'un sol. Il existe différentes méthodes pour l'évaluer, mais qui concernent principalement le domaine de la recherche. Le projet a confirmé l'intérêt des praticiens pour ce type d'analyse. Il a aussi permis de discuter des besoins de prestations de routine de laboratoire, qui ne sont pas encore satisfaits.

Biomasse et nutriments des couverts végétaux

Les couverts végétaux fournissent de nombreux services, généralement liés à la quantité de biomasse produite, qui devrait atteindre un minimum de 35 dt MS/ha. Pour mesurer ce seuil indicatif, deux méthodes existantes (Merci, Büchi et al. 2016) se sont avérées utiles. Toutes deux évaluent la biomasse produite, par prélèvement d'un échantillon (Merci) ou par calcul (Büchi : hauteur, couverture du sol, indice de densité). Elles fournissent aussi des valeurs de référence par rapport aux prélèvements d'éléments nutritifs de la biomasse.

Compaction du sol Terranimo

L'intérêt d'évaluer le risque de compaction par l'outil Terranimo a de nouveau été souligné dans le projet. L'humidité du sol est l'un des facteurs prépondérants qui peut être évalué à l'aide d'un tensiomètre, dont l'usage a été décrit dans le cadre du projet. Un schéma simplifié d'interprétation offline des risques de compaction basé sur l'état apparent du sol a été élaboré pour les grandes catégories de machines.

Analyses de sol pour les exploitations

L'état de fertilité du sol est évalué à l'aide d'analyses chimiques de sol qui servent de base à la planification de la fumure. Elles doivent être régulièrement renouvelées pour satisfaire aux exigences liées aux prestations écologiques requises (PER). Une fiche technique reprend les principes fondamentaux de l'échantillonnage du sol et aide à l'interprétation des résultats.

5 Synthèse et perspectives

Au terme du projet, un set d'outils d'autoévaluation du sol propre aux agriculteurs est disponible. Ces outils ont fait l'objet de présentations de leur contenu, mais aussi d'adaptations nécessaires pour les rendre plus accessibles à la pratique. Il s'agit désormais de poursuivre leur diffusion, de les mobiliser dans d'autres projets et d'en faire la démonstration lors de manifestations agricoles.

La méthodologie des cercles de travail a confirmé l'intérêt des démarches participatives dans lesquelles les agriculteurs ont été largement impliqués. Malgré des dynamiques et ambitions très différentes, chaque participant a pu progresser sur une problématique personnelle, et aussi bénéficier du travail des autres cercles via les manifestations communes. Il est toutefois apparu que cette approche méthodologique mérite un accompagnement attentif pour conserver les dynamiques de travail tout au long d'un projet. Si les cercles de travail présentent l'intérêt d'aborder différentes problématiques, ils ne remplacent toutefois pas le conseil individuel.

Enfin, le projet a permis de créer un réseau de référence consacré à la qualité du sol, aux pratiques respectueuses de cette ressource et aux gens qui s'investissent en la matière. Alors que tout projet comprend une fin, les réseaux établis dans le cadre de Progrès sol nécessitent d'être prolongés pour maintenir les dynamiques les plus fertiles et poursuivre les chantiers entamés sur les points les plus critiques. Le projet a clairement montré des sols carencés en matière organique et menacés par le machinisme agricole, tout en offrant de multiples solutions à mettre en œuvre.

Références

Toutes les références bibliographiques, les outils et documentations de projet sont disponibles sur le site www.progres-sol.ch.

3.2 Microplastiques le long des routes soleuroises

Dominika Kundel, Andrea Wiget, Andreas Fliessbach
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), 5070 Frick

Moritz Bigalke
TU Darmstadt, Institut für angewandte Geowissenschaften, D-64287 Darmstadt

Adrian Grunder
Geografisches Institut der Universität Bern, 3012 Bern

Gaby von Rohr
Amt für Umwelt, Abteilung Boden – Bodenschutz, 4509 Solothurn

Les microplastiques sont actuellement sur toutes les lèvres : ces minuscules particules de plastique d'un diamètre inférieur à 5 millimètres sont de plus en plus considérées comme une cause importante de pollution des sols. On trouve désormais des microplastiques dans tous les sols de Suisse, même ceux de réserves naturelles isolées (Scheurer et Bigalke, 2018). Outre des sources telles que les cosmétiques, les déchets plastiques et la décomposition de gros morceaux de plastique, l'abrasion des pneus due au trafic routier constitue l'une des principales voies d'entrée des microplastiques dans l'environnement.

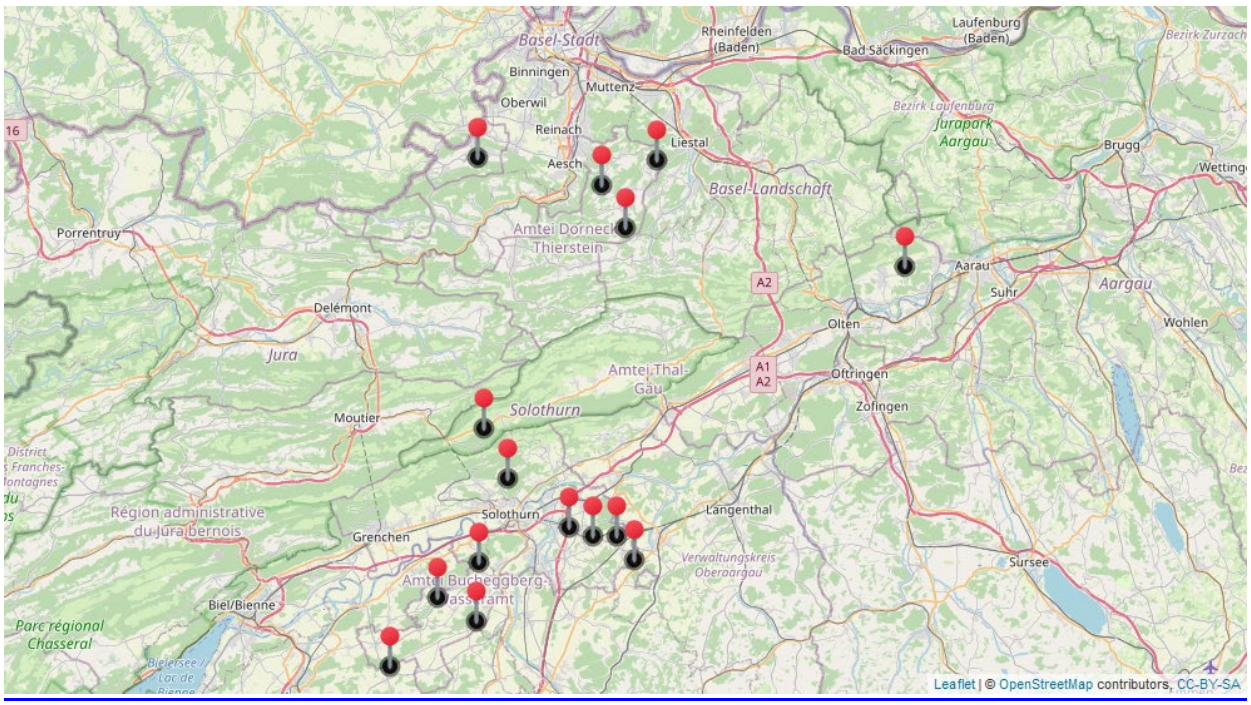

Figure 1 : Des échantillons de sol ont été prélevés à 15 endroits du canton de Soleure et analysés pour déterminer la contamination par l'abrasion de pneus.

Les pneus sont composés de plastiques synthétiques tels que le polybutadiène et le caoutchouc styrène-butadiène. Les pneus contiennent également une variété de métaux lourds tels que le zinc, le cuivre, le plomb et le cadmium utilisés comme additifs, ainsi qu'un certain nombre de composés organiques, notamment des hydrocarbures, des plastifiants et des stabilisants. Au cours de leur utilisation, les pneus s'usent au contact de la route, libérant ainsi de minuscules particules de plastique. Des facteurs tels que le type et l'âge du revêtement de la chaussée, la vitesse de conduite, les freinages et accélérations fréquents, ainsi que le type de pneu et de véhicule, influencent l'intensité de l'abrasion des pneus générée par la conduite. On estime

que chaque personne dans le monde produit entre 0,23 et 4,5 kg de résidus d'abrasion de pneus par an (Kole et al., 2017). Wagner et al. (2018) ont estimé l'abrasion annuelle des pneus par habitant en Allemagne à 1,7 kg. En Suisse, l'apport annuel de résidus d'abrasion de pneus a été estimé à environ 8900 tonnes, soit plus de 60 % de la quantité totale de microplastiques produite en Suisse. Cela correspond à environ 1 kg d'abrasion de pneus par habitant en 2020.

L'abrasion des pneus générée par le trafic peut être transportée par le vent ou par les eaux usées des routes dans les sols avoisinants, ce qui peut entraîner des apports considérables, en particulier le long des routes qui ne sont pas reliées à un système d'évacuation des eaux usées approprié, et les sols peuvent ainsi devenir un réceptacle central pour les résidus d'abrasion des pneus. Cependant, il n'existe actuellement que très peu de mesures directes de l'impact de l'abrasion des pneus sur les sols. Ce manque de données est en partie dû à la disponibilité limitée de méthodes d'extraction et d'analyse accessibles et peu coûteuses, ainsi qu'à l'absence d'une méthode standard généralement reconnue. Par conséquent, la communauté scientifique ne dispose pas encore de valeurs précises sur la pollution des sols par l'abrasion des pneus.

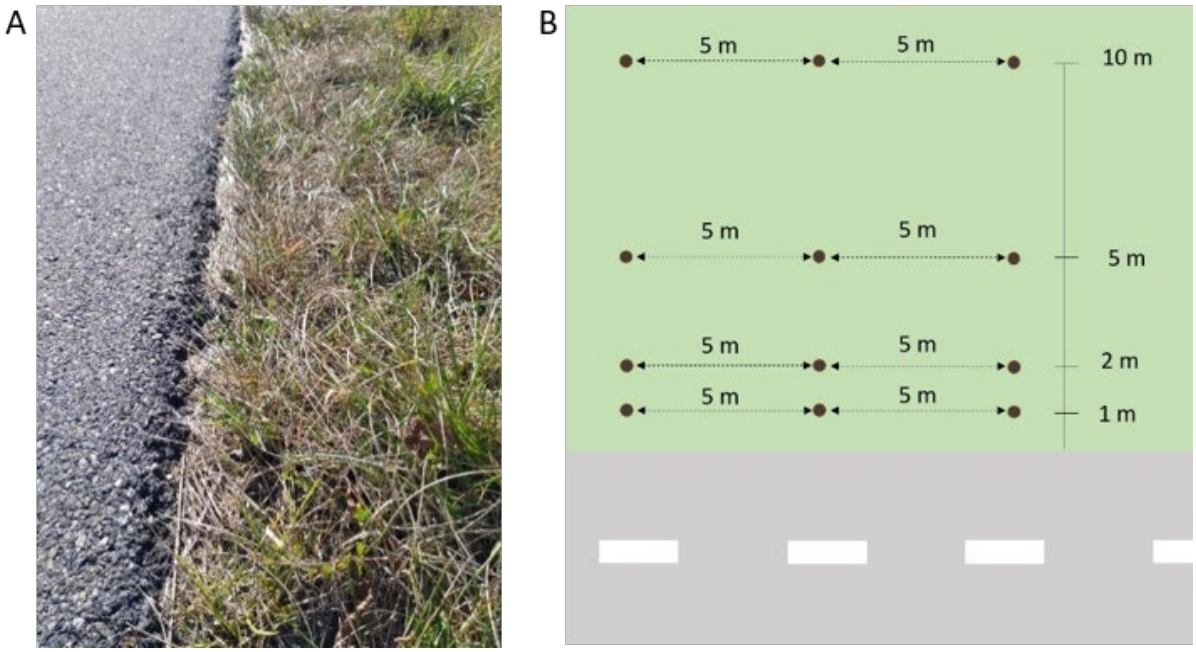

Figure 2 : Transition entre la route et la prairie permanente sur l'un des sites échantillonnés (A) et schéma d'échantillonnage. Sur chaque site sélectionné, 4 échantillons ont été prélevés à 1 m, 2 m, 5 m et 10 m de la route. Chaque échantillon était composé de 3 échantillons individuels prélevés à des intervalles de 5 m et réunis en un échantillon global (B).

De plus, il manque également des études sur les effets de l'abrasion des pneus sur le système plante-sol et la production alimentaire dans les zones agricoles voisines. Une des rares études publiées montre que l'ajout d'abrasifs de pneus affecte plusieurs paramètres biogéochimiques du sol et peut avoir un effet négatif sur la croissance des plantes (Leifheit et al. 2021). Le zinc, en particulier, qui est libéré des particules de pneus (Schulz, 1987 ; Bowman et al., 1994 ; Kim et al., 2022 ; Ding et al., 2023), pourrait ici avoir un impact. Mais d'autres produits chimiques, tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques, par exemple, peuvent également influencer l'activité enzymatique des microbes des sols, et ainsi perturber les cycles des nutriments dans les écosystèmes (Liu & Xu et al., 2023).

Afin de réaliser une évaluation scientifique complète des risques, il est absolument nécessaire et crucial d'élargir les données relatives à la contamination des sols par l'abrasion de pneus et d'évaluer l'impact de cette contamination sur les fonctions du sol. Il est urgent de lancer de nouveaux projets de recherche. Dans ce contexte, un projet financé par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) et réalisé conjointement par l'Institut de recherche de l'agriculture biologique, l'Université de Berne et l'Université technique de Darmstadt, vise à élargir la base de données sur la contamination des sols par l'abrasion de pneus à l'aide de données de mesure réelles et à identifier les effets potentiels sur le système sol-plante.

Sous-projet 1

En collaboration avec l'Office de l'environnement du canton de Soleure, des chercheurs et chercheuses du FiBL, de l'Université de Berne et de l'Université technique de Darmstadt ont sélectionné 15 routes avec des herbages adjacents pour un échantillonnage et une analyse de la pollution par l'abrasion de pneus (voir figure 1). Des échantillons de sol ont été prélevés à des distances de 1 m, 2 m, 5 m et 10 m de la route (voir figure 2B). Les sections de route sélectionnées ne présentaient pas de séparation structurelle avec les prairies (voir figure 2A), et ne comportaient pas de virages ou de pentes. Dans le cadre du projet européen MINAGRIS (voir encadré), une méthode d'extraction et de quantification des microplastiques et de l'abrasion des pneus a été développée sur la base des travaux de Scheurer & Bigalke (2018), Hurley et al. (2018) et Olsen et al. (2020). Cette méthode comprend des étapes successives de fractionnement par densité et de filtration, l'oxydation spécifique de la matière organique ainsi que l'analyse des particules extraites au stéréomicroscope. Les particules sont photographiées avec un agrandissement et quantifiées à l'aide d'un algorithme de segmentation des pixels. L'extraction et la quantification de l'abrasion des pneus à partir du total de 60 échantillons sont achevées. Les données déjà disponibles de cette étude proviennent de quatre des 15 sites. Il a été constaté que tous les sites présentent des quantités élevées de résidus d'abrasion de pneus jusqu'à une distance de 5 mètres du bord de la route, le nombre de particules diminuant nettement dans les deux premiers mètres. Des différences dans la quantité d'abrasion des pneus ont également été constatées entre les différents sites, mais il ne s'agit jusqu'à présent que de tendances statistiquement non significatives. La quantification précise de ces différences et la possibilité de tirer des conclusions à partir de données annexes, telles que la fréquence du trafic ou l'âge des routes, seront étudiées en détail dès que l'ensemble des données sera disponible.

Le projet de recherche MINAGRIS (MIcro- and Nano-plastics in AGRIcultural Soils), financé par l'UE, analyse les effets des micro et nanoplastiques dans le contexte agricole. Vingt institutions européennes de douze pays européens examinent, dans le cadre de onze études de cas, dont deux en Autriche et une en Suisse, l'utilisation de plastiques (films de paillage et autres plastiques agricoles) dans différents systèmes agricoles et leurs effets sur la santé des sols. Chaque étude de cas implique un réseau régional d'exploitations agricoles. L'objectif du projet est de fournir aux agriculteurs et à leurs parties prenantes des outils et des instructions pour évaluer la pollution de leurs sols. Il vise également à aider les professionnels à réduire leur utilisation de plastiques afin d'en diminuer l'apport dans l'environnement.
Plus d'informations :https://minagris.eu/,
facebook.com/minagriseu
twitter.com/minagriseu

Sous-projet 2

Dans le cadre d'une expérience en serre menée au FiBL, un sol agricole a été contaminé par des résidus de pneus fabriqués artificiellement (figure 3) à des concentrations de 0 % à 3 %. Les effets de l'abrasion des pneus sur les poireaux et les laitues ainsi que sur les principales fonctions du sol ont ensuite été étudiés pendant plusieurs semaines. La priorité de l'étude était d'étudier

l'activité des micro-organismes et de déterminer si la qualité et la quantité des récoltes étaient modifiées. L'étude a montré que l'abrasion des pneus peut avoir un effet négatif sur la croissance aérienne et souterraine des plantes, et il a surtout été observé une augmentation des teneurs en zinc et en cuivre dans la plante, qui ne se situaient toutefois pas dans une plage toxique pour celle-ci. En outre, des concentrations élevées de résidus d'abrasion de pneus ont également entraîné des changements dans la communauté microbienne, qui se sont traduits par une modification de l'utilisation du substrat par les microbes lorsqu'ils étaient exposés à des concentrations élevées de résidus. Enfin, une modification de l'activité de différentes enzymes du sol a été observée. Alors que l'activité des enzymes impliquées dans le cycle du carbone avait tendance à diminuer, un schéma inverse a été observé pour les enzymes impliquées dans le cycle de l'azote. De plus amples détails devraient être publiés d'ici la fin de l'année dans une revue spécialisée.

Figure 3 : Des résidus d'abrasion de pneus ont été fabriqués à partir de pneus usagés. Leurs effets sur le système sol-plante ont ensuite été étudiés. Photo : FiBL

Il ne fait désormais plus aucun doute que les sols doivent être au centre des questions relatives aux effets potentiels des microplastiques et des résidus d'abrasion de pneus sur l'environnement. Cependant, il existe des lacunes considérables dans les connaissances sur les concentrations de résidus de pneus dans le sol, sur les stratégies possibles pour éviter d'autres apports et sur les effets de ces apports. Bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour comprendre en détail comment et où l'abrasion des pneus intervient dans le système du sol, les premières données mettent en évidence qu'il est urgent de prendre des mesures pour réduire les apports de résidus d'abrasion de pneus provenant du trafic routier. Ces mesures sont essentielles pour protéger la qualité des sols.

Littérature

Scheurer, M., & Bigalke, M. (2018). Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental science & technology*, *52*(6), 3591-3598.

Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G., & Ragas, A. M. (2017). Wear and tear of tyres: a

stealthy source of microplastics in the environment. *International journal of environmental research and public health*, *14*(10), 1265.
Wagner, S., Hüffer, T., Klöckner, P., Wehrhahn, M., Hofmann, T., & Reemtsma, T. (2018). Tire wear particles in the aquatic environment-a review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water research*, *139*, 83-100.
Leifheit, E. F., Kissener, H. L., Faltin, E., Ryo, M., & Rillig, M. C. (2022). Tire abrasion particles negatively affect plant growth even at low concentrations and alter soil biogeochemical cycling. *Soil Ecology Letters*, *4*(4), 409-415.
Bowman, D. C., Evans, R. Y., & Dodge, L. L. (1994). Growth of chrysanthemum with ground automobile tires used as a container soil amendment. *HortScience*, *29*(7), 774-776.
Kim, L., Lee, T. Y., Kim, H., & An, Y. J. (2022). Toxicity assessment of tire particles released from personal mobilities (bicycles, cars, and electric scooters) on soil organisms. *Journal of Hazardous Materials*, *437*, 129362.
Ding, J., Lv, M., Zhu, D., Leifheit, E. F., Chen, Q. L., Wang, Y. Q., ... & Zhu, Y. G. (2023). Tire wear particles: An emerging threat to soil health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *53*(2), 239-257.
Hurley, R. R., Lusher, A. L., Olsen, M., & Nizzetto, L. (2018). Validation of a method for extracting microplastics from complex, organic-rich, environmental matrices. *Environmental science & technology*, *52*(13), 7409-7417.
Olsen, L. M. B., Knutsen, H., Mahat, S., Wade, E. J., & Arp, H. P. H. (2020). Facilitating microplastic quantification through the introduction of a cellulose dissolution step prior to oxidation: proof-of-concept and demonstration using diverse samples from the Inner Oslofjord, Norway. *Marine Environmental Research*, *161*, 105080.

Impressum BioSA-Bulletin n° 21/2024

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 BSA en 1995. 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).

Présidente 2022-24

Gaby von Rohr
Abteilungsleiterin Stv., Bodenschutz
Amt für Umwelt
Abteilung Boden
Werkhofstrasse 5
Tél +41 32 627 28 05
gaby.vonrohr@bd.so.ch
afu.so.ch

Secrétariat et commande

Andreas Fliessbach
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL)
Ackerstrasse
CH-5070 Frick
Tél. 062 865 72 25
www.fibl.org
E-mail : andreas.fliessbach@fibl.org

Photos de couverture : Andreas Fliessbach

Le bulletin est également disponible en ligne :
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