

Bulletin-BioSA, n° 18, 2018

Humus sapiens

Cartoon by E. L. Sambourne, published in the Punch in 1882 with the sentence "Man is but a worm". This parody of Charles Darwin's concepts on the origin of humanity has been corroborated by recent molecular data on the phylogenetic relationships of annelids and vertebrates



Contenu

1. Éditorial.....	2
2. Projets choisis du BioSA.....	3
2.1 Discussion autour d'une valeur de référence pour la matière organique : questions soulevées par rapport au contexte, à la fiabilité des données, à l'acceptation et à l'exécution	3
2.2 Projet « Soil Food Web »	5
2.3 Exercice pratique en laboratoire : détermination des animaux du sol.....	7
3. Forum sur l'application pratique de la biologie du sol	9
3.1 Matière organique et qualité structurale de la couche supérieure du sol	9
3.2 Observatoire national des sols : connaissances acquises après cinq ans de monitoring de la biologie du sol, et prochaines étapes	16

1. Éditorial

1.1 Éditorial

Dominik A. Müller

Canton d'Argovie, Département Bau, Verkehr und Umwelt

Le groupe spécialisé Biologie du sol – application a été fondé en 1995, à l'initiative des services cantonaux de la protection des sols et de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Le 27 avril 2018, il s'est réuni à Aarau pour la 50e fois depuis sa création. À l'occasion de cet anniversaire, les participants ont décidé de changer le nom de ce groupe spécialisé rattaché au Cercle Sol et de l'intituler BioSA. Le groupe s'est réuni au complet à 50 reprises au cours de ces 23 dernières années, et pendant ces séances, il a abordé de nombreux sujets et dû lutter pour résoudre diverses problématiques touchant à la biologie du sol, tout en assurant l'échange entre la recherche et l'exécution. Les 17 bulletins BSA parus à ce jour – qui sont tous disponibles en ligne à l'adresse www.bafu.admin.ch → Thèmes → Sols → Informations pour spécialistes → Mesures de protection des sols → Biologie du sol - illustrent à merveille l'action et le travail de ce groupe. Ils ont aussi changé de nom et s'appellent désormais Bulletin BioSA.

Le numéro 18 du bulletin BioSA établit un lien entre le passé et l'avenir en couvrant le présent. La teneur en matière organique est une question centrale pour le sol et sa biologie. Chaque sol possède en principe une teneur en matière organique typique, qui dépend notamment de sa teneur en argile. Cependant, on observe, en particulier dans les sols cultivés, des déséquilibres entre le taux de matière organique effectif et la valeur théorique. Le FAO a souligné l'importance des teneurs en carbone organique du sol pour ce qui est du changement climatique et de l'utilisation durable du sol en les incluant dans la notion de santé du sol, parmi les 6 domaines d'action définis dans le cadre du

« Koronivia joint work on agriculture » (<http://www.fao.org/climate-change/our-work/what-we-do/koronivia/en>). Le BioSA s'intéresse depuis longtemps à la question de la teneur en matière organique des sols de Suisse. En novembre 2017, 35 personnes (représentants des services de la protection des sols ainsi que de l'administration, de la recherche, de la pratique et de l'enseignement agricoles) se sont retrouvées pour un atelier consacré à ce thème. L'objectif à moyen terme est de développer une valeur de référence pour les teneurs en matière organique des sols suisses. Le projet STRUDEL, présenté dans ce bulletin, propose une solution basée sur une approche fonctionnelle, qui part du principe qu'il existe un lien étroit entre la teneur en argile et le taux de matière organique. Outre la présentation du projet STRUDEL et de l'atelier consacré aux valeurs de référence pour la matière organique, vous trouverez dans ce 18^e Bulletin BioSA des comptes rendus de projets choisis de BioSA, comme le « Soil Food Web », ainsi qu'un aperçu des connaissances acquises par l'Observatoire national des sols (NABO) au cours des cinq dernières années d'activité du NABObio et des perspectives offertes par les nouvelles méthodes d'analyse pour répondre à des questions liées à la biologie du sol.

Au nom du BioSA, je vous remercie de votre intérêt pour la biologie du sol et vous souhaite beaucoup de plaisir à la lecture du présent bulletin.

Dominik A. Müller
Président de BioSA

2. Projets choisis de BioSA

2.1 Discussion autour d'une valeur de référence pour la matière organique : questions soulevées par rapport au contexte, à la fiabilité des données, à l'acceptation et à l'exécution

Andreas Fliessbach

FiBL, Ackerstrasse, 5070 Frick
andreas.fliessbach@fibl.org

Le BioSA a proposé de clarifier les conditions et les principes permettant d'établir une valeur de référence orientée vers l'exécution pour les teneurs en matière organique des sols cultivés. Cette proposition a été discutée avec 35 représentants des services de la protection des sols et de l'administration, de la recherche, de la pratique et de l'enseignement agricoles lors d'un atelier organisé le 16 novembre 2017 à Berne. Quatre intervenants ont été invités à présenter leurs stratégies de développement d'une valeur de référence et à faire part de leurs expériences relatives à l'application de celle-ci.

- Else Bünemann, FiBL Frick, *Review on soil quality concepts and the importance of soil organic matter* (Bünemann et al. 2018)
- Martin Wiesmeier, LFL Freising, *Site-typical humus contents of cropland soils in Bavaria - Status quo and future challenges*
- Holger Flaig, LTZ Augustenberg, *Humus contents of arable soils in the context of cross compliance, balancing, and target values - the discussion in Baden-Württemberg*
- Pascal Boivin, hepia Genève, *Guide values of organic matter content for soil protection. Sampling requirements and related issues*

Toutes les contributions ont confirmé le rôle important de la matière organique comme indicateur de la qualité du sol. En plus du

taux de matière organique du sol, toutes les stratégies présentées intègrent la teneur en argile et les conditions géoclimatiques. Elles se distinguent toutefois par la démarche adoptée pour la formation d'une valeur de référence. Dans l'étude bavaroise (fig. 1), 5 % des sols n'atteignent pas la valeur minimale de 1% C_{org} publiée par l'UE dans son rapport sur l'état des sols en Europe (Jones et al. 2012).

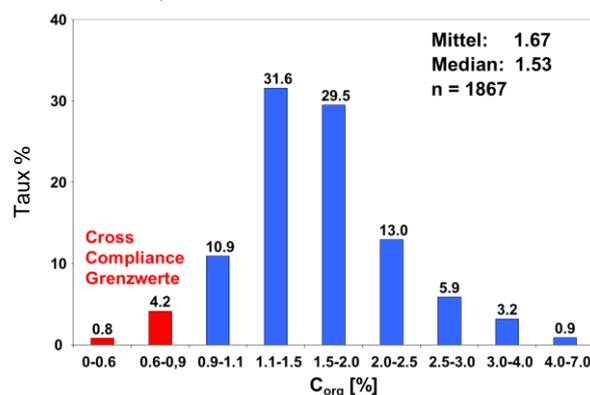


Figure 1 : Distribution de la fréquence des teneurs en matière organique mesurées en Bavière (Wiesmeier, 2017).

Les stratégies appliquées en Bavière et dans le Bade-Wurtemberg consistent à définir des valeurs indicatives à l'aide d'une vaste base de données provenant de programmes d'observation à long terme. À partir de cette base de données, des fourchettes de teneurs en matière organique du sol ont été déterminées en fonction de la teneur en argile et de l'altitude (ou des précipitations et des températures). Une approche qualifiée de normative, car elle part de teneurs moyennes en matière organique constatée à un moment donné. En raison

de l'exploitation actuelle ou antérieure, ces moyennes ne peuvent toutefois pas correspondre à la valeur qui permettrait de maintenir les fonctions du sol.

La méthode présentée par Pascal Boivin pour déterminer une valeur de référence pour la matière organique repose sur une approche fonctionnelle, développée sur la base d'une sélection de sols de Suisse romande (cf. point 3.1). Elle consiste dans un premier temps à évaluer la structure du sol à l'aide du test à la bêche. La comparaison de cette évaluation avec les teneurs en matière organique et en argile a permis d'établir une étroite relation entre le rapport $C_{org}:argile$ et la qualité structurale du sol (cf. point 3.1, fig. 13).

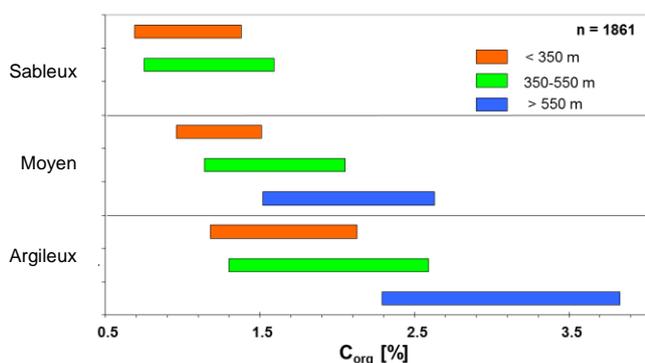


Figure 2 : Fourchettes des teneurs en C organique groupées en fonction de l'altitude et du « type de sol » dans les sols du programme bavarois de monitoring (Wiesmeier, 2017).

Se baser uniquement sur le test à la bêche pour effectuer une appréciation globale de la qualité du sol pourrait se révéler insuffisant, car bien que cette méthode permette de décrire différentes fonctions pédologiques, elle repose sur des caractéristiques visuelles de nature qualitative. Dans une stratégie utilisée aux Pays-Bas, des spécialistes évaluent un site et choisissent un sol qui sert de référence pour une région géoclimatique donnée et peut être comparé avec les autres sols de la région (Rutgers et al. 2008). Cette stratégie se prête bien à la vulgarisation, car elle établit un lien concret avec un sol qui, selon l'évaluation des spécialistes, remplit toutes ses fonctions. Elle permet aussi de développer un indicateur

sur la base d'un vaste éventail de sols et de le vérifier. Cependant, le lien avec la fonctionnalité de chaque sol repose uniquement sur la validité de l'indicateur. Dans l'idéal, il faudrait vérifier dans chaque site si la dynamique de l'indicateur est la même que celle d'une méthode de description directement basée sur la fonction du sol. Le test à la bêche, qui peut être réalisé de manière autonome par l'agriculteur, offrirait une possibilité de faire cette comparaison.

En Allemagne, de nombreux efforts de réglementation ont échoué en raison de la difficulté à définir une valeur de référence pour la matière organique, et l'on se borne à calculer le bilan humique de l'exploitation. Celui-ci montre si la teneur en matière organique d'une exploitation agricole est excédentaire ou déficitaire. Mais il ne fournit pas d'indications géoréférencées sur un site en particulier.

En Suisse, une démarche administrative visant à modifier les réglementations de l'ordonnance sur les paiements directs (OPD), qui prescrit déjà une analyse de sol tous les dix ans, suffirait dans un premier temps, élément qui plaide en faveur d'une stratégie normative pour déterminer une valeur de référence. Il s'agirait de faire en sorte que les analyses de sol et les géodonnées correspondantes puissent être disponibles pour des interprétations complémentaires. Les modifications de l'OPD devraient ensuite prévoir une exécution correcte du prélèvement et de l'analyse des échantillons de sol et préciser que les résultats doivent être mis à la disposition des services fédéraux avec des géodonnées de référence. Ce dernier point serait probablement un peu plus difficile à appliquer, car le sol est une propriété privée. Ce qui plaide en faveur de la stratégie fonctionnelle, c'est qu'elle permet d'évaluer la pertinence de la teneur en matière organique relevée dans un site peut être évaluée par une description visuelle du sol à l'aide du test à la bêche. L'évaluation de la structure du sol est utile non seulement pour l'agriculteur, qui peut ainsi adapter son

mode d'exploitation, mais aussi pour le développement d'une valeur de référence pour la matière organique. Les approches normative et fonctionnelle permettent toutes deux d'effectuer des comparaisons avec des sites de référence choisis au niveau régional afin d'assurer un contrôle continu. En principe, les conditions suivantes doivent être respectées pour réaliser un monitoring étendu :

- L'échantillonnage sur le terrain doit être représentatif d'une surface homogène jusqu'à une profondeur uniformisée de 20 cm. Le cas échéant, échantillonner séparément des secteurs partiels.
- L'analyse de sol doit être réalisée selon des méthodes de référence standardisées.
- Les informations collectées sont à conserver dans une base de données avec les géodonnées de référence correspondantes de manière à être disponibles pour des comparaisons avec d'autres statistiques des surfaces.

Cette base de données serait un instrument approprié pour prendre des mesures lorsque des signes montrent qu'un sol est menacé. Combinée avec les indications fournies par la gestion des parcelles de l'exploitation et, le cas échéant, avec un test à la

bêche, elle permettrait à l'agriculteur d'évaluer son système d'exploitation et, à la Confédération, de contrôler l'efficacité des programmes de paiements directs pour le compartiment sol.

Bibliographie :

- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L., 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120, 105-125.
- Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A.J., 2008. Soil ecosystem profiling in the Netherlands with ten references for biological soil quality. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Wiesmeier, M., 2017. Site-typical humus contents of cropland soils in Bavaria – Status quo and future challenges. *Humus guidance values*, Berne.
- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gardi, C., Erhard, M., Hervás, J., Hierderer, R., Jeffery, S., Lükewille, A., Marmo, L., Montanarella, L., Olazábal, C., Petersen, J.-E., Pentzek, V., Strassburger, T., Tóth, G., van den Eeckhaut, M., Liedekerke, M.v., Verheijen, F., Viestova, E., Yigini, Y., 2012. The State of Soil in Europe - A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report - SOER 2010. In: European Commission (Ed.), JRC Reference report, Luxembourg.

2.2 Projet « Soil Food Web »

Claudia Maurer-Troxler

Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne

Beat Frey

Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

Contexte et objectif

Bien que l'importance que revêtent les organismes du sol pour de nombreuses fonctions pédologiques soit reconnue, leur répartition et leurs fonctions écologiques restent encore en grande partie méconnues. Cela tient d'une part à leur énorme diversité – les bactéries comptent à elles seules environ un billion d'espèces dans le monde - et, d'autre part, à la difficulté à les identifier et à les cultiver en laboratoire.

Grâce aux énormes progrès réalisés dans le séquençage génétique moléculaire et la technologie informatique, le décodage du matériel génétique des microorganismes permet aujourd'hui de recenser ces communautés microbiennes complexes avec une haute résolution. Le principe consiste à comparer les profils génétiques avec des données disponibles et connues provenant de bases de données de comparaison.

Celles-ci sont toutefois encore très lacunaires, même pour les microorganismes, et il n'en existe pratiquement pas pour les animaux du sol. Or des connaissances approfondies sur la diversité de la vie du sol et sur les influences dues aux changements du milieu environnant sont indispensables pour maintenir une agriculture et une sylviculture durables. Aujourd'hui, l'effet de certaines activités humaines agricoles et sylvicoles sur la composition des communautés microbiennes peut être démontré à partir de l'ADN extrait du sol. À l'avenir, les analyses biologiques moléculaires nous aideront à détecter les changements affectant le milieu environnant, à mesurer l'efficacité des mesures d'exploitation ou encore à soutenir de manière ciblée des espèces spécifiques utiles ; elles permettront d'analyser de manière approfondie et de surveiller au niveau biologique ce système extrêmement complexe que constitue le sol.

Le projet Soil Food Web du BioSA vise à apporter une contribution au relevé de données de comparaisons génétiques, en particulier pour les animaux du sol. Il s'agit à cet effet d'identifier les animaux du site « Kocherpark » (BioSA 2015) si possible au niveau de l'espèce, et de les soumettre à des analyses moléculaires.

Prélèvement d'échantillons

Le 22 mars 2017, deux échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 0-10 cm dans le site PRAIRIE et deux autres dans le site FORÊT du « Kocherpark ». Une quantité importante de litière a en outre été récoltée le 24 mars dans le site FORÊT en prévision de la journée pratique (cf. point 2.2). Après ces prélèvements, 30 g de terre de chaque échantillon de sol ont été mis de côté pour les analyses moléculaires ; les arthropodes et les nématodes ont été extraits du volume restant à l'aide du dispositif McFadyen à l'Institut de recherche de l'agriculture (FiBL). Pour les échantillons de litière, l'extraction s'est faite à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) au moyen de l'appareil

Berlese. En outre, trois prélèvements de vers de terre ont été réalisés aux deux emplacements le 2 octobre 2017. Les animaux ont été délogés au formol et conservés dans de l'éthanol pur.

Analyses

Les animaux provenant des échantillons de litière et de sol ainsi que les vers de terre ont été identifiés au microscope stéréoscopique, dans la mesure du possible par groupes/genres/espèces, et conservés dans de petits récipients. Pour les analyses moléculaires, les échantillons classés par groupes ont été lavés afin d'éliminer l'éthanol et homogénéisés, puis leur ADN a été extrait. D'autre part, dix grammes de terre ont été prélevés dans chaque échantillon de sol pour en extraire l'ADN total (métagénome). À partir de l'ADN extrait (des animaux et du métagénome du sol), on a isolé un segment de génome se prêtant à l'identification. Les segments d'ADN isolés qui correspondaient à certains organismes cibles ont été multipliés selon la méthode de la réaction en chaîne par polymérase, et séquencés avec des séquenceurs très performants. Les séquences ADN trouvées (codes-barres) ont été classées dans une base de données de comparaison génétique. Les résultats du metabarcoding peuvent alors être comparés avec les méthodes de détermination classiques basées sur la morphologie et la comparaison de séquences ADN.



Figure 3. Des participants du BioSA prélèvent des échantillons dans le Kocherpark à Berne.

Perspectives

L'objectif de l'étude pilote est de développer une première bibliothèque de référence génétique de la faune du sol en Suisse. À l'avenir, le metabarcoding ADN de la pédofaune intéressera de nombreux domaines de la recherche sur la biodiversité du sol, car cette méthode permet d'éviter ou d'automatiser dans une large mesure la collecte, le tri et la détermination, opérations longues et coûteuses. Cependant, les séquences ADN trouvées (codes-barres) ne peuvent

être attribuées à une espèce que si celle-ci a déjà été enregistrée dans la base de données de référence. Parmi les animaux du sol, certains genres ne répondent pas aux protocoles standard de barcoding. Il faudra donc améliorer les protocoles d'amplification pour que les analyses séquentielles donnent de bons résultats. À cet effet, il sera nécessaire d'élaborer des stratégies en vue d'assurer une production efficace des codes-barres ADN et de pouvoir développer leur application scientifique.

2.3 Exercice pratique en laboratoire : détermination des animaux du sol

Claudia Maurer-Troxler

Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne
claudia.maurer@vol.be.ch

À l'occasion de leur séance printanière, les membres du BioSA se sont réunis le 28 mars 2017 à la HAFL à Zollikofen pour y effectuer un exercice pratique. La réunion avait pour thème les animaux du sol.



Figure 4. Acarien



Figure 5. Myriapode



Figure 6. Collemboles

Après un exposé introductif au cours duquel des informations ont été données sur la fonction et la biologie des différents groupes, les participants ont pu observer et déterminer des animaux vivants à l'aide de la loupe binoculaire.



Figure 7. Larve de hanneton (ver blanc)

Les petits organismes qui avaient été extraits de la litière prélevée au Kocherpark dans le cadre du projet « Soil Food Web » (cf. point 2.1) ont révélé un monde d'une grande diversité, autrement presque invisible et souvent méconnu même des spécialistes : Aptérygotes du groupe des Collemboles de différentes tailles – certains au corps poilu très pigmenté avec de longues pattes et antennes et de grands yeux, d'autres plus petits, blancs et avec une furcula très réduite ; acariens aux formes très variées - sphériques et brillants ou plats et ronds, rapides et de mœurs prédatrices, ou lents et détritiphages ; myriapodes pourvus d'une ou de deux paires de pattes par segment, araignées, gastéropodes, isopodes, coléoptères et leurs larves, asticots et pseudoscorpions.



Figure 8. Pseudoscorpion

Les participants ont été frappés par l'extraordinaire variété de formes et de couleurs de ces différents groupes, dont la détermination grossière exigeait un bon sens de l'observation et a donné lieu à des discussions animées.



Figure 9. Carabe



Figure 10. Acarien prédateur



Figure 11. Asiopodes

3. Forum sur l'application pratique de la biologie du sol

3.1 Matière organique et qualité structurale de la couche supérieure du sol

Alice Johannes¹, Peter Weisskopf

Agroscope, Groupe fertilité et protection des sols
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zurich

Pascal Boivin

¹hepia-inTNE
Agronomie, groupe Sols et Substrats
150 route de Presinge, 1254 Jussy-Genève

Avec l'avènement de l'agriculture « moderne » (seconde moitié du 20^{ème} siècle), le triptyque fertilisation minérale – pesticides – labour a joué un rôle dominant dans la gestion de la production agricole. Peu d'attention a été portée à la qualité du sol, essentiellement considéré comme un support. En particulier la qualité physique a été très négligée. La perte de qualité des sols est aujourd'hui jugée très alarmante, et est souvent mise en relation avec le déficit de matière organique. Or la teneur en matière organique (MO) ou en carbone organique (C_{org}) détermine la plupart des propriétés et

fonctions des sols, dont les propriétés physiques telles qu'aération, réserve en eau, porosité et stabilité structurale (Kay, 1998), et les processus de transport, aération et rétention liées. L'étude de (Dexter et al., 2008), à partir de bases de données de sols français et polonais, a frappé les esprits en montrant que la fraction de C_{org} correspondant au rapport C_{org}/Argile de 10% (MO=C_{org}×1.725 : MO/Argile de 17%) correspondait statistiquement au plus fort coefficient de détermination des propriétés physiques par C_{org}. Ces auteurs en concluent que ce rapport correspondrait à la capacité de complexation de la MO sur les argiles.

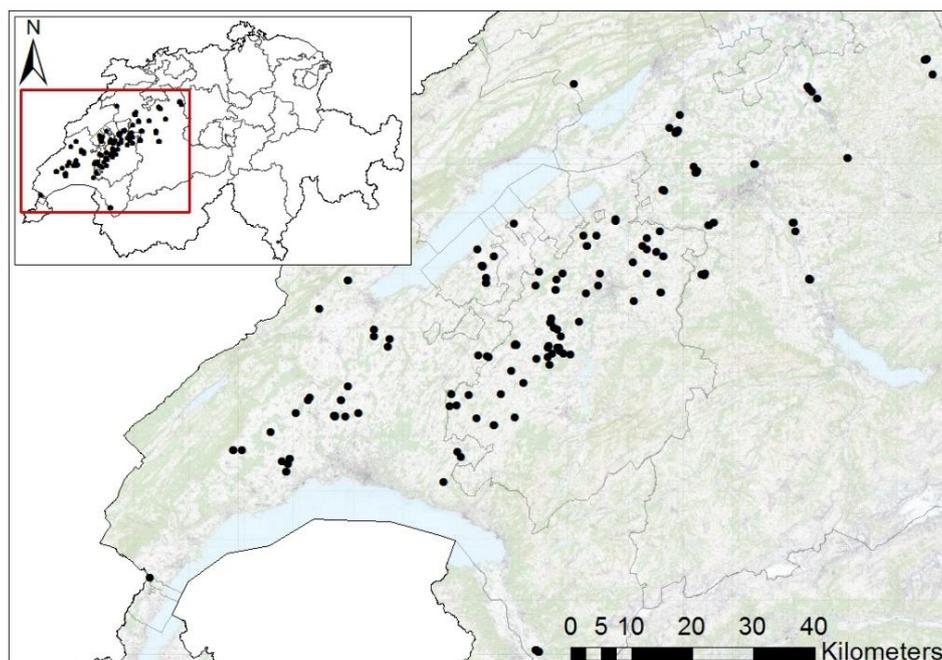


Figure 12. Carte de l'échantillonnage Strudel dans les cantons de VD, FR et BE.

Dans la méthode VESS, la qualité de la structure du sol est notée de 1 à 5, une note entre 1 et 3 correspond à un sol de bonne qualité, une note supérieure entre 3 et 5 correspond à une structure dégradée qui exige des mesures de remédiation. Il suffit de 10 minutes pour faire un test VESS, et 5 tests permettent de détecter un changement de qualité de structure de 0.5 et de noter une parcelle avec une précision relative de 10% (Leopizzi et al., 2018). De bonnes corrélations entre le VESS et les mesures physiques ont été trouvées (Guimarães et al., 2013; Johannes et al., 2017b).

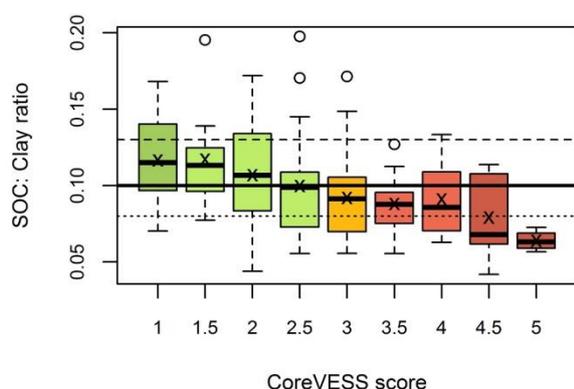


Figure 13. Relation entre les scores VESS et le rapport Corg:Argile tirée de (Johannes et al., 2017a). Les scores entre 1 et 3 correspondent à une structure de bonne qualité, entre 3 et 5 à une structure de mauvaise qualité.

Pour le projet Strudel, environ 200 sols appartenant au type de sol Braunerde, soit des cambi-luvisols (Food and Agriculture Organization, 2014), formés sur substrat mixte moraine et molasse, et répartis sur les cantons de Berne, Fribourg et Vaud, ont été échantillonnés (figure 12). Ces sols sont exploités pour 1/3 en prairie permanente (PP),

1/3 en rotation conventionnelle avec labour (CT) et 1/3 en rotation conventionnelle avec semis-direct (NT) depuis au moins 10 ans. Ils ont été choisis pour représenter une large gamme d'état structural. Dans le but de mieux caractériser le lien entre teneur en MO et qualité de la structure des horizons A, cette recherche a rediscuté les résultats de (Dexter et al., 2008), tout en utilisant les nouvelles techniques de caractérisation de la structure (analyse du retrait, VESS sur test bêche et VESS sur motte (Johannes et al., 2017b)). Elle permet de proposer des valeurs guides de teneur en Corg, dans une perspective de protection de la qualité physique des sols (Johannes et al., 2017a). Cet article revient sur ces résultats pour en discuter les implications.

Importance du rapport Corg:Argile

La figure 13 tirée de (Johannes et al., 2017a) met en relation les qualités structurales trouvées et le rapport Corg/Argile. On voit que la valeur 3 (limite entre une bonne structure et une structure nécessitant remédiation) est statistiquement franchie lorsque le rapport Corg/Argile devient inférieur à 0.10 (0.17 pour MO/Argile), ce qui correspond au rapport identifié par (Dexter et al., 2008). Ce rapport ne correspond pas à un optimum en termes de détermination des propriétés physiques. Dans les échantillons prélevés, la qualité structurale augmente linéairement avec la teneur en Corg, quel que soit le rapport, qui dépasse les 0.14 dans de nombreuses parcelles échantillonnées (Johannes et al., 2017a).

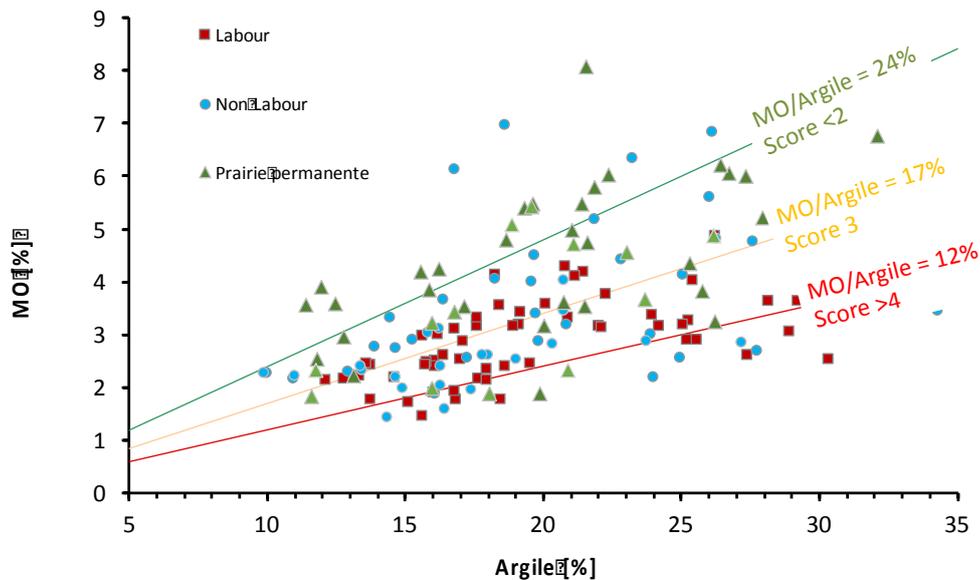


Figure 14. Echantillons collectés dans le projet Strudel, horizon A, 5-10 cm : teneurs en argile et en MO en % (gravimétrique), et régressions linéaires des scores VESS <2 (très bonne structure, vert), =3 (orange) et >4 (structure dégradée, rouge). Les non-labour ont plus de 10 ans.

La figure 14 présente le détail des valeurs de MO et de teneur en argile trouvées. Les modes de mise en valeur du sol y sont distingués. Trois régressions ont été tracées, correspondant respectivement aux scores VESS <2 (très bonne structure), 3 (limite acceptable) et >4 (structure dégradée). On constate que la qualité structurale et le rapport MO/Argile sont proportionnels. Plus un sol est argileux, plus il faut de matière organique pour atteindre un niveau de qualité structurale donné. Les agriculteurs le savent et ce résultat a déjà été souligné par la recherche, bien que de façon moins détaillée, par exemple par (Feller and Beare, 1997). En conséquence, il n'est pas correct de recommander une teneur en matière organique fixe pour l'horizon A des sols cultivés. La teneur en matière organique doit être recommandée en proportion de la teneur en argile. Cela est reconnu depuis très longtemps, par exemple les recommandations de fumure de l'INRA dès le milieu du 20ème siècle prenaient en compte ce rapport MO/Argile (Julien, 2017 et figure 15). C'est ce que font partiellement les « Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017) », qui depuis 1994 ont fait des recommandations distinctes selon des catégories de teneur en argile.

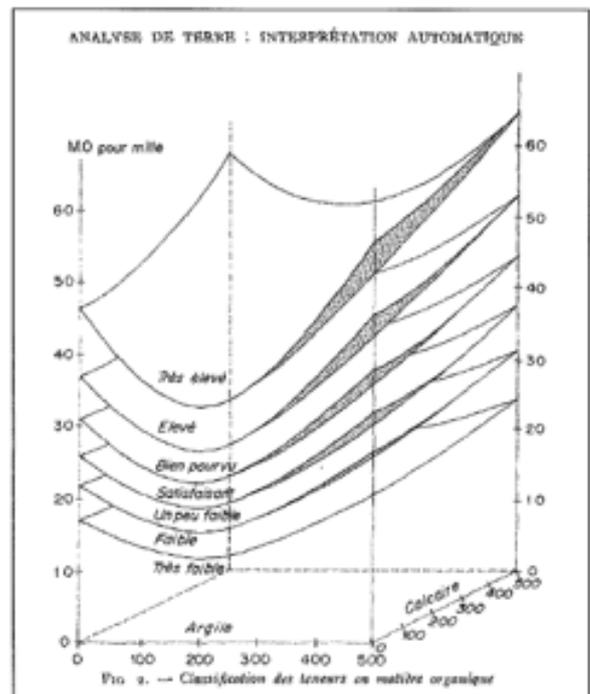


Figure 15. Abaque utilisée pour interpréter la teneur en matière organique en fonction du taux d'argile et du calcaire ; tiré du conseil de fertilité à l'INRA (Rémy, J-C, 1970 in Julien, J.-L., 2017).

Teneurs en MO des sols de grande culture suisses

En figure 16 sont reportées les teneurs en MO et en argile de parcelles genevoises en grandes cultures analysées par le laboratoire « Sols et Substrats » de hepia dans le cadre des analyses PER (2015 analyses). Les recommandations correspondant aux

PRIF 2009 ainsi que les seuils critiques de rapport MO/Argile, mis en évidence en figure 14, sont reportés. Les teneurs observées sont presque toutes « satisfaisantes » par rapport aux PRIF (75% des cas). Peu de parcelles se trouvent dans la catégorie « riche / élevé », près de 25% sont en catégorie « insuffisant ». Ce constat pourrait paraître encourageant. Cependant le rapport MO/Argile moyen est de 10% (Corg/Argile 6%), soit inférieur à la limite des 12% correspondant à la moyenne des scores VESS > 4. Ceci est cohérent avec les observations de terrain de l'état structural des sols, qui était généralement mauvais. En l'état des connaissances, cette situation est tout à fait représentative des sols cultivés européens

(Dexter et al., 2008) et de celle des autres cantons. Les cantons qui ont une proportion élevée d'herbages et d'élevage comme Fribourg ou le Jura s'en sortent un peu mieux mais la plupart des sols affichent un rapport MO/Argile autour des 12%, et peu atteignent les 17% (non montré). Pourtant ces seuils ont été définies en relation à l'état structural, et sur la base d'observations au champ, ils sont opérationnels. A contrario les PRIF ne sont pas basées sur des propriétés objectives des sols, ou sur une réponse des cultures, mais reposent plutôt sur un état constaté en fin de 20ème siècle. Or les sols avaient alors déjà largement perdu leur MO (Lal, 2004)

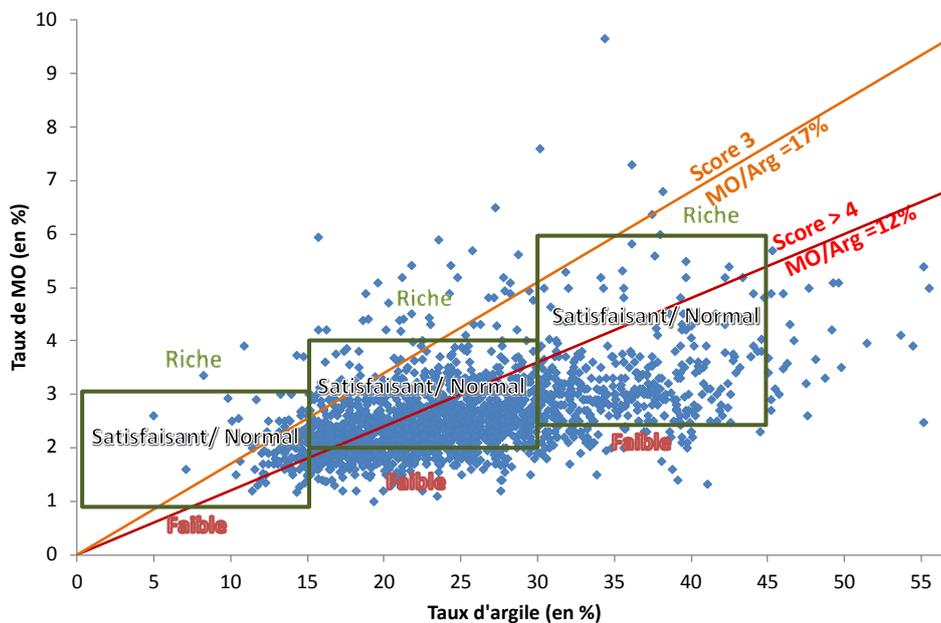


Figure 16. Résultats des analyses PER en grandes cultures, pour des parcelles Genevoises, avec interprétation selon les DBF 2009 (« faible », « satisfaisant/normal », « riche ») et selon les seuils de rapport MO/Argile (effet de la MO sur la qualité structurale des sols).

Autres observations et conséquences

L'examen de la figure 13 apporte encore une information de première importance pour la gestion de la qualité des sols. L'échantillonnage pratiqué ne visait pas à comparer différentes modalités (PP, CT et NT) et en particulier pas le non-labour au labour. Les échantillons ont été prélevés dans la couche 5-10 cm, limite proche de la profondeur à laquelle labour et non-labour voient leurs teneurs en MO se rejoindre. Dans ce sens, le fait qu'une partie des non-

labour présente des rapports MO/Argile élevés est un bilan très positif pour cette technique. Toutefois on observera que les trois modalités présentent des gammes de valeur extrêmement larges sur laquelle les observations sont dispersées. Les écarts entre les hautes et basses qualités sont quasi identiques pour les trois modalités. Autrement dit, il y a des sols labourés avec un bon état structural et un (très) bon rapport MO/Argile, tandis qu'il y a beaucoup de prairies permanentes et de non-labour qui,

à l'inverse, manquent de MO et ont une structure dégradée. Si les PP et NT présentent en moyenne une qualité structurale légèrement meilleure, la marge de progression au sein de chaque mode de mise en valeur est bien plus grande que celle entre ces catégories. Protéger la qualité des sols agricoles par obligation de moyens est donc voué à l'échec, comme le constate le suivi environnemental de l'OFAG (Rapport agricole 2017). La recherche devrait fortement se pencher sur les déterminismes de cette hétérogénéité, déterminismes qui de toute évidence incluent des facteurs aux échelles parcellaire, exploitation, et filière de production et commercialisation.

Les pressions sur l'agriculture pour séquestrer du C_{org} vont croître spectaculairement, avec les alertes récentes sur l'accélération du réchauffement climatique, et le constat que la séquestration dans les sols cultivés est la seule « NET » (Negative Emission Technologie) sur laquelle quelques espoirs peuvent être portés (EASAC, 2018). L'initiative 4 pour 1000 (<https://www.4p1000.org/>) propose d'augmenter d'un facteur 1.004 chaque année les teneurs en C_{org} des sols, ce qui représente une augmentation de 13% sur 30 ans. Ceci serait susceptible de limiter la hausse des températures sous le seuil des +2° dans les prochaines décennies. Or du point de vue d'une qualité minimale de la structure des sols, les sols genevois en grandes cultures devraient passer d'un rapport MO/Argile de 10% à 17% au moins, soit une augmentation de 70%. Et il en est de même de la plupart des sols cultivés suisses et européens. Considérer le rapport MO/Argile conduit à recalculer les quantités de C_{org} à séquestrer, et la dynamique temporelle de croissance de la teneur en MO. En effet, il semble que plus un sol est riche en argile et déficitaire en MO, plus sa teneur en MO augmentera rapidement si des mesures sont prises (Schimel et al., 1994). Contrairement à ce qui est trop souvent retenu de la littérature, des augmentations très significatives (rapport

MO/Argile passant de 8-10% à 12-17%) sont effectivement rapportées dans de nombreuses études et publications pour des durées de 5 à 10 années. Donc, prendre soin de la qualité structurale des sols en augmentant les teneurs en MO va bien au-delà des ambitions climatiques ce qui renforce la crédibilité de l'initiative 4 pour 1000. Ceci n'enlève rien aux critiques et prudenances qu'il convient de rappeler (Baveye et al., 2018) sur cette question, mais lance un clair avertissement à l'agriculture et aux pédologues : une pression considérable va s'exercer dans un futur proche. A titre d'exemple le plan climat du canton de Genève (volet 2, 20-12-2017) prévoit la séquestration de 1.5 10³ t CO₂ dans les sols, alors qu'atteindre un rapport MO/Argile de 17% sur 75% de la surface d'assolement et pour les 20 premiers cm de sol correspond à près de 10⁶ t CO₂.

Enfin, et pour revenir à la qualité structurale des sols, si un bon rapport MO/Argile permet au sol d'être dans une bonne catégorie de qualité, de stabilité et de résilience structurale, il est toujours possible de le compacter mécaniquement. Aussi, le test bêche doit être pratiqué après chaque opération, pour évaluer l'impact de cette opération et envisager le cas échéant des correctifs. Autrement dit, améliorer la teneur en MO va améliorer les conditions de formation et de stabilisation de la structure des sols mais il faut en même temps contrôler les processus qui ont pour conséquence la déformation de la structure des sols, notamment et avant tout le risque de compaction mécanique par les machines agricoles.

Conclusions

Le rapport MO/Argile est l'indicateur de la qualité structurale potentielle des sols. Il doit être complété avec des informations sur le court terme de type test bêche (évaluation de l'impact des machines) et test de fragilité (type Terranimo®). L'établissement d'une échelle de valeur montre que ce rapport ne

doit pas être inférieur à 12%, devrait atteindre 17% et peut atteindre 24% en situation d'exploitation réelle.

Par rapport à ces critères, les sols suisses sont très déficitaires en MO et une augmentation de l'ordre de 70% est souhaitable a minima dans l'intérêt de la qualité structurale des sols. Une telle augmentation serait très supérieure à l'objectif 4 pour 1000, mais paraît réaliste au regard des constats faits en milieu agricole. Une grande pression va de toute façon s'exercer sur les usagers du sol pour qu'ils se dirigent dans cette direction.

Or on voit également sur le terrain que les différences moyennes entre les pratiques sensées augmenter la teneur en MO (comme le non-labour) et celles qui seraient négatives (comme le labour) ne sont pas très grandes, relativement aux écarts constatés au sein de ces catégories. La recherche doit se réorienter vers la compréhension des déterminismes de ce constat. Enfin, ceci plaide fortement pour inciter par d'obligation d'action comme on le fait actuellement, mais pour récompenser au résultat en laissant les agriculteurs libres de choisir le moyen d'y parvenir. Ce changement de paradigme est recommandé dans toutes les sphères de décision. Il devient possible puisque les indicateurs correspondants sont définis et accessibles.

Références

- Alaoui, A., Lipiec, J., Gerke, H.H., 2011. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. *Soil Till Res*, 115–116, 1–15.
- Askari, M.S., Cui, J., Holden, N.M., 2013. The visual evaluation of soil structure under arable management. *Soil Till Res* 134, 1–10
- Ball, B.C., Batey, T., Munkholm, L.J., 2007. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use Manage* 23, 329–337.
- Ball, B.C., Guimarães, R.M.L., Cloy, J.M., Hargreaves, P.R., Shepherd, T.G., McKenzie, B.M., 2017. Visual soil evaluation: A summary of some applications and potential developments for agriculture. *Soil Till Res* 173, 114–124.
- Baveye, P.C., Berthelin, J., Tessier, D., Lemaire, G., 2018. The "4 per 1000" initiative: A credibility issue for the soil science community? *Geoderma* 309 118–123.
- Dexter, A.R., Richard, G., Arrouays, D., Czyz, E.A., Jolivert, C., Duval, O., 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma* 144, 620–627.
- EASAC, European Academies Science Advisory Council, 2018. Negative emission technologies: What role in meeting Paris Agreement targets? EASAC policy report 34
- Feller, C., Beare, M.H., 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79, 69–116.
- Food and Agriculture Organization, 2014. World reference base for soil resources 2014 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, Rome.
- Gautronneau, Y., Manichon, H., 1987. Guide méthodique du profil cultural, CEREF-ISARA/GEARA-INAPG. ed.
- Guimarães, R.M.L., Ball, B.C., Tormena, C.A., Giarola, N.F.B., da Silva, Á.P., 2013. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. *Soil Till Res* 127, 92–99.
- Guimarães, R.M.L., Lamandé, M., Munkholm, L.J., Ball, B.C., Keller, T., 2017. Opportunities and future directions for visual soil evaluation methods in soil structure research. *Soil Till Res* 173, 104–113.
- Horn, R., Fleige, H., 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. *Soil Tillage Research*, 102, 201–208.
- Johannes, A., 2016. Structural degradation of agricultural soils: assessment and setting threshold values for regulation (PhD thesis). ETHZ, Zurich, Switzerland.
- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P.C., 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., Boivin, P., 2017b. To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? *Soil Till Res* 173, 24–32.
- Julien, J.-L., 2017. Entre agronomie et agriculture: La Station agronomique de l'Aisne 120 ans de recherche-développement. Editions L'Harmattan.
- Kay, B.D., 1998. Soil structure and organic carbon: a review. In: R. Lal, J.M.K. (Ed.), *Soil Processes and the Carbon Cycle*, Advances in Soil Science. Boca Raton, Fla. CRC Press, pp. 169–197.
- Lal, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304, 1623–1627.
- Leopizzi, S., Gondret, K., Boivin, P., 2018. Spatial variability and sampling requirements of the visual evaluation of soil structure in cropped fields. *Geoderma* 314, 58–62.

Mueller, L., Shepherd, G., Schindler, U., Ball, B.C., Munkholm, L.J., Hennings, V., Smolentseva, E., Rukhovic, O., Lukin, S., Hu, C., 2013. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *Soil Till Res* 127, 74–84.

Rapport agricole 2017 - Indicateurs agro-environnementaux (IAE) URL <https://www.agrarbericht.ch/fr/environnement/monitoring-agro-environmental/indicateurs-agro-environnementaux-iae> (accessed 3.28.18).

Richner, W., Sinaj, S., 2017. Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017). *Recherche Agronomique Suisse* 8, 276.

Schimel, D.S., Braswell, B.H., Holland, E.A., McKeown, R., Ojima, D.S., Painter, T.H., Parton, W.J., Townsend, A.R., 1994. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles* 8, 279–293.

3.2 Observatoire national des sols : connaissances acquises après cinq ans de monitoring de la biologie du sol, et prochaines étapes

Anna-Sofia Hug, Franco Widmer, Florian Gschwend et Andreas Gubler

Agroscope, Groupe fertilité et protection des sols
Département ressources naturelles et agriculture
Reckenholzstrasse 191
CH-8046 Zurich

Les explications qui suivent sont tirées pour la plupart du rapport récemment publié sous le titre « NABObio - Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. » Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren (Hug et al., 2018). Tous les détails concernant l'observation à long terme de la biologie du sol dans le cadre de NABO se trouvent dans ce rapport, qui peut également être téléchargé en format pdf sur le site www.nabo.ch.

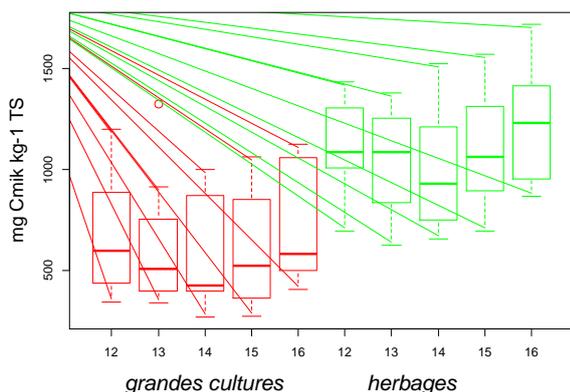


Figure 17 : Biomasse microbienne (SIR) des classes d'utilisation grandes cultures (rouge) et herbages (vert) relevée sur la période de 2012 à 2016 ; n=100 (20 sites à 5 moyennes annuelles). Boîtes à moustaches (box-plot) avec médianes

NABObio

Depuis 2012, le NABO recueille chaque année des informations sur la quantité, l'activité et la qualité du microbiome du sol de 30 sites NABO dans le cadre du monitoring de la biologie du sol NABObio. Pour pouvoir approfondir l'interprétation de ces mesures microbiologiques, on y relève également des paramètres annexes chimiques et physiques ainsi que des informations sur les conditions climatiques et l'exploitation.

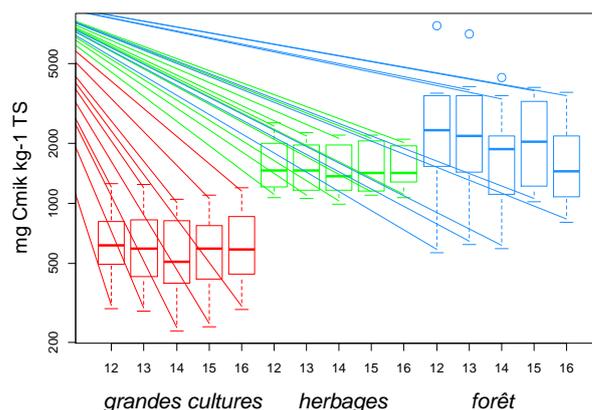


Figure 18 : Biomasse microbienne (FE-C) des classes d'utilisation grandes cultures (rouge) et herbages (vert) relevée sur la période de 2012 à 2016 ; n=150 (30 sites à 5 moyennes annuelles). Boîtes à moustaches avec médianes ; axe y log transformé.

Comme on pouvait s'y attendre, les résultats des cinq premières années font apparaître des différences liées à l'utilisation du sol. Ainsi, les sites de grandes cultures présentent des teneurs en biomasse, des valeurs de respiration basale et des quantités d'ADN inférieures à celles des sites d'herbages et de forêt (figures 17 à 20).

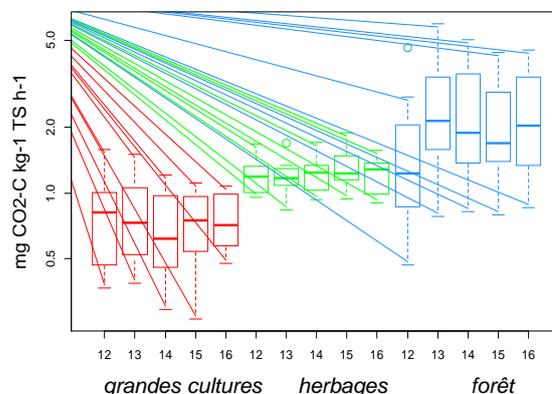


Figure 19 : Respiration basale des classes d'utilisation grandes cultures (rouge) et herbages (vert) relevée sur la période de 2012 à 2016 ; n=150 (30 sites à 5 moyennes annuelles). Boîtes à moustaches avec médianes ; axe y log transformé.

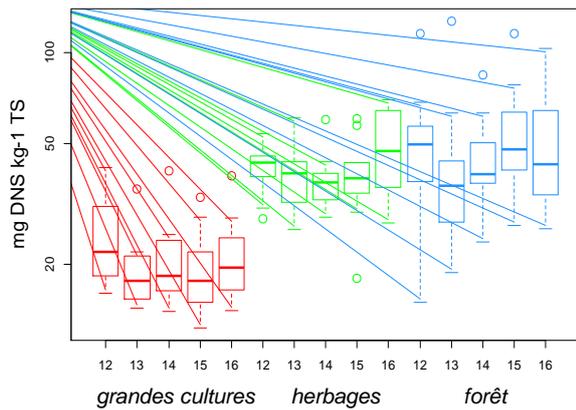


Figure 20 : Quantité d'ADN des classes d'utilisation grandes cultures (rouge) et herbages (vert) relevée sur la période de 2012 à 2016 ; n=150 (30 sites à 5 moyennes annuelles). Boîtes à moustaches avec médianes ; axe y log transformé.

Les valeurs de la biomasse microbienne et de la respiration basale ont présenté une bonne reproductibilité durant ces cinq années. La composition des communautés microbiennes (diversité bêta) est aussi restée stable pendant cette période. Il a donc été possible de définir pour chaque site NABObio des valeurs typiques pour la biomasse, la respiration basale et les communautés microbiennes.

On a constaté que l'interprétation de modifications significatives des valeurs biologiques du sol ne pouvait se faire que sur une période de plusieurs années et en association avec des informations complémentaires sur le site. Les coefficients de corrélation relativement élevés ($r=0,82-0,91$) entre les paramètres globaux des biomasses microbiologiques (FE_C, SIR) et biomoléculaires (quantités d'ADN) indiquent la présence d'informations redondantes sur la quantité de microorganismes du sol (fig. 20). À l'avenir, NABObio utilisera uniquement la méthode FE_C pour déterminer la biomasse.

Les analyses de la diversité des extraits d'ADN ont montré que la détermination de la richesse spécifique microbienne (diversité alpha) ne se prête que partiellement à une observation à long terme, car elle ne présente qu'une faible corrélation avec les autres facteurs environnementaux et n'est pas typique de l'exploitation. Des OTU parfois très similaires ont été trouvées dans différents sites et différentes classes d'utilisation (fig. 21). Les OTU sont les unités de base du metabarcoding et peuvent être analysées de la même manière que les espèces. La notion de diversité des OTU est ainsi utilisée à la place de la diversité des espèces (voir encadré). Cela contrairement à la composition des communautés microbiennes (« structure des communautés »). Le relevé mené sur plusieurs années a permis de montrer que chacun des 30 sites de NABObio présentait une structure de communautés microbiennes spécifique. En outre, les divers types d'utilisation du sol (grandes cultures, herbages et forêt) se distinguent aussi par des différences au niveau des communautés microbiennes (fig. 22).

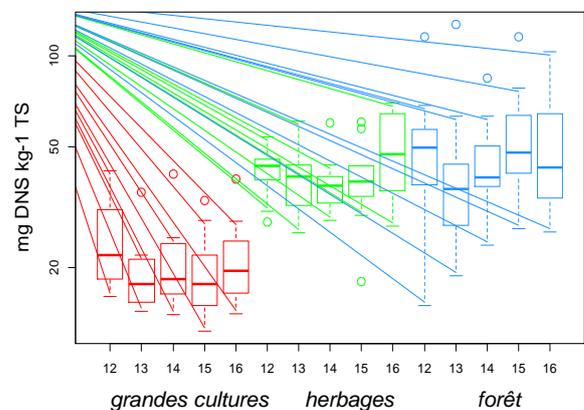


Figure 20 : Quantité d'ADN des classes d'utilisation grandes cultures (rouge) et herbages (vert) relevée sur la période de 2012 à 2016 ; n=150 (30 sites à 5 moyennes annuelles). Boîtes à moustaches avec médianes ; axe y log transformé.

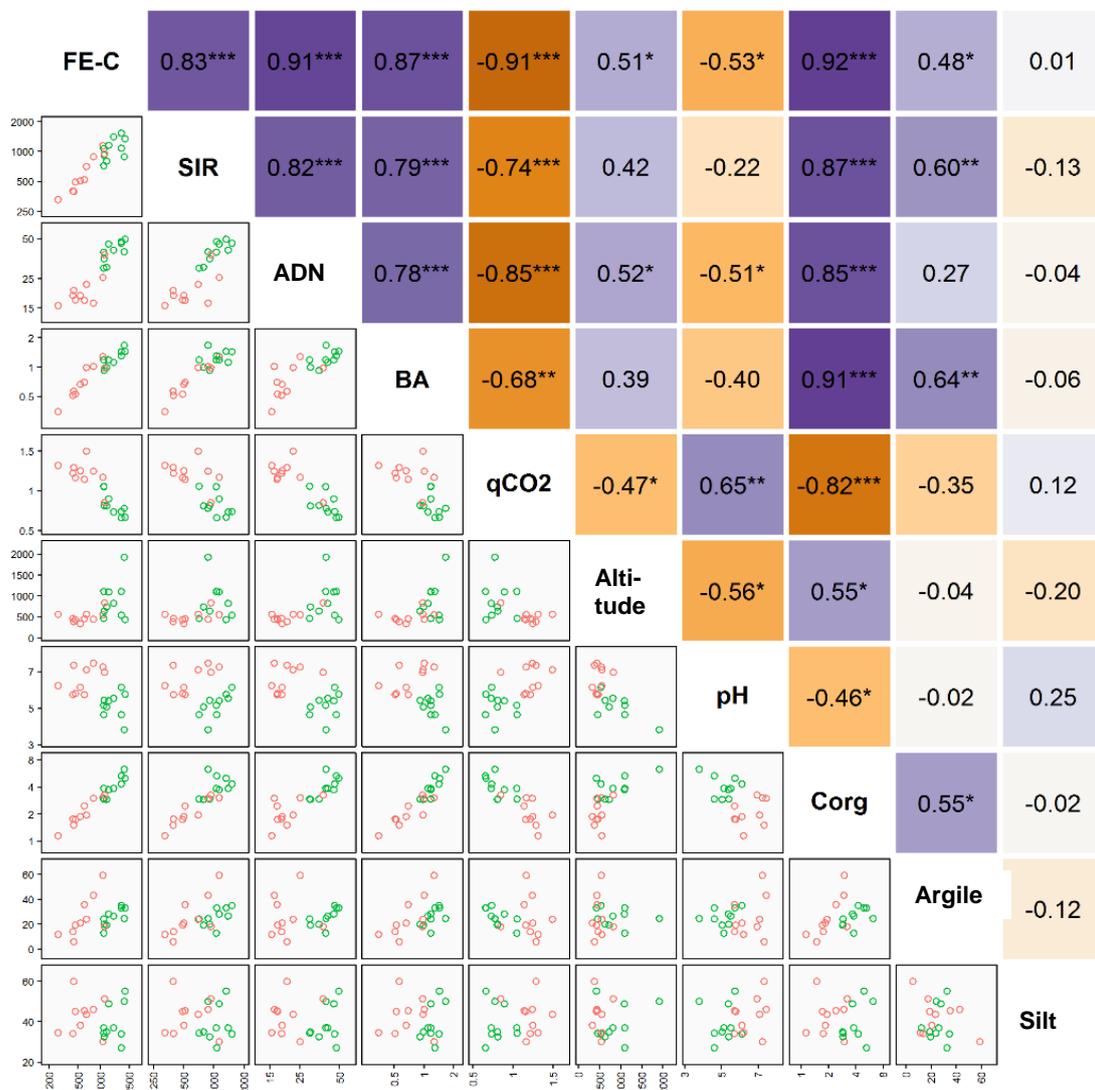


Figure 21 : Diagramme de dispersion et corrélations (d'après Spearman * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$) entre les sites de NABObio pour les paramètres microbiologiques, les propriétés du sol et les caractéristiques de la station. Couleur des carrés : violet = corrélations positives, orange = corrélations négatives, gris = corrélations nulles ou très faibles. La moyenne 2012-2016 par site est présentée pour chaque paramètre. La couleur des cercles montre l'utilisation du sol : rouge = grandes cultures ; vert = herbages.

Comment fonctionne le metabarcoding ?

Les différentes espèces possèdent aussi différentes séquences ADN. Il est donc possible d'identifier des organismes par le séquençage de certains segments d'ADN, appelés « codes-barres ADN ». Le metabarcoding est une méthode développée à partir des codes-barres ADN, qui permet de décrire des communautés biologiques complètes au lieu d'organismes individuels (Taberlet et al. 2012). Le principe consiste à extraire la totalité de l'ADN d'un échantillon prélevé dans l'environnement et de séquencer tous les codes-barres ADN qu'il con-

tient. Cela permet d'identifier tous les organismes d'une communauté biologique et de déterminer leur fréquences relative (Hartmann et al. 2015). La plupart des espèces, en particulier chez les microorganismes, n'étant pas encore décrites (Hawksworth et Lücking, 2017), les séquences sont groupées en fonction de leur similitude. Les groupes de séquences très similaires – en général des séquences présentant une correspondance d'au moins 97% – sont désignées sous le nom d'**OTU** (operational taxonomic units).

Si les communautés microbiennes d'un site devaient se modifier à l'avenir, les informations complémentaires serviront à établir les causes possibles et à effectuer une évaluation qualitative des changements. D'autre

part, les extraits d'ADN conservés permettront d'étudier au moyen d'analyses spécifiques de nouvelles problématiques, comme l'influence des produits phytosanitaires, des antibiotiques ou du changement climatique.

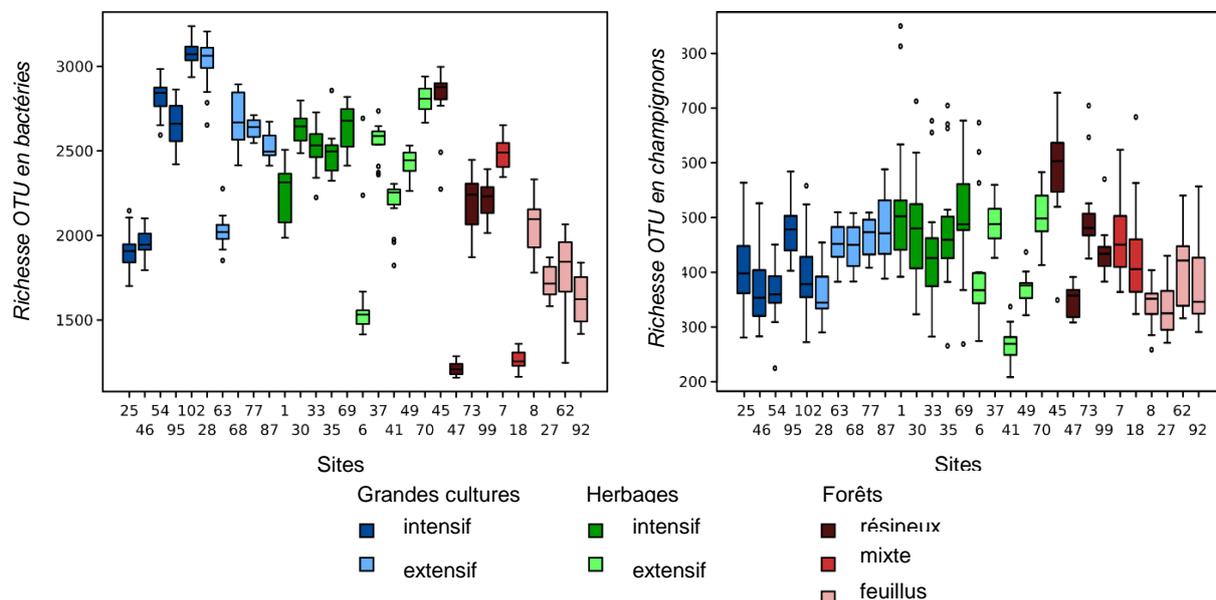


Figure 22 : OTU : Richesse en OTU des bactéries (à gauche) et des champignons (à droite) des sites NABO-bio.

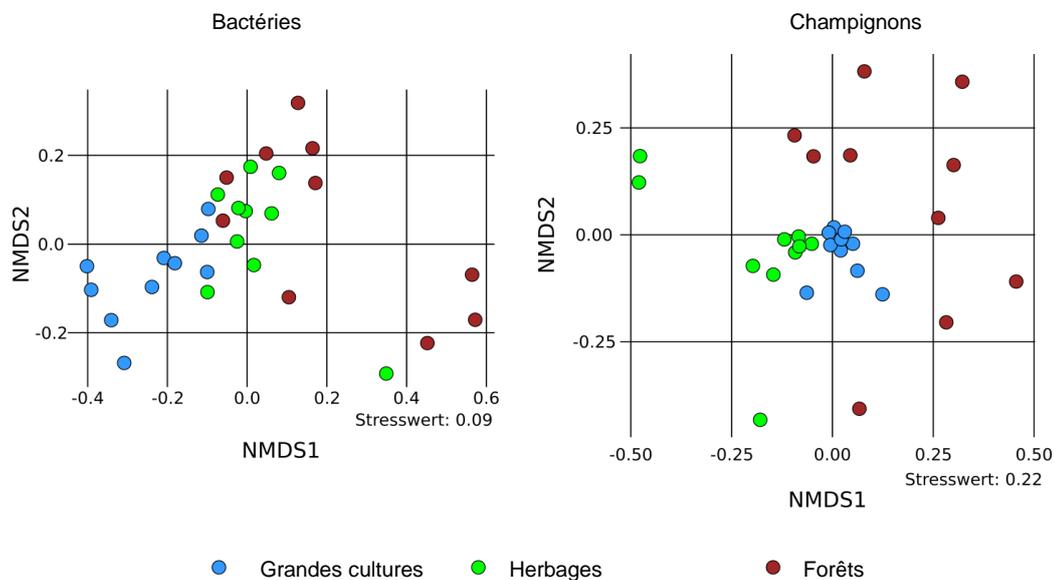


Figure 23 : Classement des comparaisons des structures de communautés bactériennes (à gauche) et fongiques (à droite). Chaque point représente une structure de communautés « moyenne » d'un site NABO-bio, la couleur indique le type d'utilisation respectif. Plus les points sont rapprochés, plus les structures des communautés des sites sont similaires.

Évolution de NABO-bio

Depuis 2017, le monitoring de la biologie du sol mené dans le cadre de NABO-bio se poursuit avec des relevés annuels effectués sur 9 sites de grandes cultures et 10 sites

d'herbaies. Depuis 2017, la biomasse microbienne n'est plus déterminée que par la méthode de fumigation-extraction au chloroforme. Cette méthode est très répandue au niveau international et plus fiable que la mé-

thode SIR. Elle permet en outre de déterminer l'azote microbien. De 2018 à 2022, la biomasse microbienne, la respiration basale, la quantité d'ADN et les structures des communautés microbiennes seront relevées sur l'ensemble du réseau de mesure NABO afin d'établir un état des lieux. À partir de 2023, NABO sera en mesure de fournir des renseignements sur l'activité, la quantité et la composition du microbiome de ses 111 sites. En outre, les extraits d'ADN seront conservés et resteront à disposition pour étudier à l'avenir d'autres problématiques.

Des recommandations ont été formulées sur la base des résultats obtenus entre 2012 et 2016. Elles peuvent servir d'aide à la décision pour les responsables de programmes d'observation à long terme de la biologie du sol.

- Trois échantillons composés par année, prélevés sur une surface suffisamment grande. La surface d'échantillonnage devrait être de 100 m² au moins, surtout lorsque les sites sont hétérogènes.
- Prélever les échantillons à la même saison pour garantir la comparabilité des résultats d'une année à l'autre.
- Les grandeurs de mesure recommandées comprennent un paramètre de l'activité (respiration basale), un paramètre global (biomasse) et un paramètre de la diversité.
- Archivage des extraits d'ADN, qui pourront être réanalysés ultérieurement pour l'étude de nouvelles problématiques.
- Utilisation de méthodes standardisées, qui ne devraient plus être modifiées pendant toute la durée du monitoring. Il est vivement recommandé de se baser sur des procédures opératoires normalisées (SOP).
- Méthodes uniformisées au plan suisse pour améliorer la comparabilité et la couverture au niveau national.
- Il est indispensable de disposer d'informations complémentaires sur le site : paramètres physiques et chimiques du sol, et si possible données relatives au climat et à l'exploitation.

- Des analyses régulières d'un échantillon de référence sont nécessaires pour contrôler la stabilité du système de mesure au fil des années.
- Planifier avec un expert l'interprétation statistique des données, et cela dès la conception du programme de monitoring. Il faut notamment tenir compte du fait que les mesures répétées sur un site dans le cadre d'un monitoring ne constituent pas des observations indépendantes.

Développement d'indicateurs

Les indicateurs permettent de déterminer plus facilement l'état et l'évolution des sols. Ils peuvent être déduits à partir de paramètres chimiques et biologiques et intégrer différentes données d'analyse pour fournir une vision d'ensemble. Les indicateurs doivent refléter l'état d'une propriété ou d'une prestation importante du sol, et représenter des paramètres à la fois compréhensibles et pertinents. Ils doivent aussi pouvoir être utilisés par les décideurs politiques et le public. Dans l'idéal, un indicateur n'est pas constitué de paramètres purs. Les résultats sont plus probants lorsque les valeurs mesurées peuvent être évaluées qualitativement à l'aide de valeurs de référence. La représentation graphique de l'évaluation des valeurs microbiennes de NABObio en est un exemple (fig. 23). La biomasse microbienne comprend la partie de la matière organique du sol constituée de microorganismes vivants. Ceux-ci jouent un rôle essentiel pour de nombreuses fonctions du sol. La présence d'une grande quantité de microorganismes est donc un indicateur d'une bonne qualité du sol (Ottow, 2011). En outre, la biomasse microbienne est fortement corrélée à la teneur en carbone organique et est sensible aux perturbations. L'évaluation des valeurs mesurées se base sur des valeurs calculées typiques du site, réparties en des classes allant de très élevée à faible (fig. 24) (Oberholzer et al., 1999). Un procédé similaire existe pour évaluer les mesures de la respiration basale.



Figure 24 : Évaluation des teneurs en biomasse FE-C relevées de 2012 à 2016 dans les sites de grandes cultures de NABObio d'après des valeurs calculées typiques du site.

L'illustration graphique de la répartition par classe et par année de mesure montre l'état et l'évolution de la quantité de biomasse microbienne présente dans les sols analysés sous une forme claire et compréhensible. Ce qui est nécessaire pour les informations communiquées à un large public, comme pour celles contenues dans les rapports sur l'environnement. Cependant, la pertinence des informations est ici limitée par le nombre réduit de sites (10). Il est prévu d'élargir la base de données et d'améliorer la pertinence des indicateurs en collaboration avec les programmes cantonaux de monitoring de la biologie du sol.

Biologie moléculaire

Le développement rapide des méthodes d'analyse biomoléculaires offre à l'observation des sols de toutes nouvelles possibilités de décrire de façon encore plus approfondie l'état et l'évolution du sol. Outre des paramètres globaux, ces méthodes permettent désormais de déterminer de manière toujours plus détaillée la composition du microbiome. Ces informations sont indispensables pour évaluer la qualité des sols, compte tenu du rôle essentiel des organismes du sol dans la plupart des fonctions pédologiques. Dans le cadre de NABObio, nous sommes parvenus, dans une première étape, à établir la typicité des communautés microbiennes en fonction du site. La prochaine étape consiste à chercher des

groupes d'organismes qui réagissent à des facteurs environnementaux (négatifs ou positifs) spécifiques et sont ainsi susceptibles de servir d'indicateurs. À cet effet, il faudra d'une part étudier les effets de certains facteurs de stress sur le microbiome de sites NABO et effectuer des analyses approfondies des données déjà disponibles. D'autre part, il conviendra d'élargir le réseau de mesure, par exemple en étendant l'échantillonnage à l'ensemble de NABO, ou en intégrant des sites KABO. Ce qui permettra de compléter l'éventail des communautés d'organismes identifiées comme caractéristiques d'un site du point de vue des propriétés ou de l'utilisation du sol, et d'augmenter ainsi les possibilités d'interprétation statistique. Pour atteindre cet objectif, l'utilisation dans la mesure du possible de méthodes d'analyses standardisées au niveau suisse se révèle indispensable.

Bibliographie :

- Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P., Widmer, F., 2015. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal* (2015) 9, 1177–1194.
- Hawksworth, D., Lücking, R., 2017. Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species, p 79-95. In Heitman, J., Howlett, B., Crous, P., Stukenbrock, E., James, T., Gow N (ed), *The Fungal Kingdom*. ASM Press, Washington, DC. doi: 10.1128/microbiol-spec.FUNK-0052-2016.
- Hug A.-S., Gubler A., Gschwend F., Widmer F., Oberholzer, H.R., Frey, B., Meuli R. G., 2018: NABObio -

Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. Agroscope Science, 63, 2018, 1-55.

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.

Ottow, J.C.G., 2011. *Mikrobiologie von Böden. Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik*. Springer Verlag Berlin Heidelberg. 485 S.

Taberlet, P., Coissac, E., Pompanon, F., Brochmann, C., Willerslev, E., 2012. Towards next-generation biodiversity assessment using DNA metabarcoding. *Molecular Ecology* 21, 2045-2050.

Impressum Bulletin BioSA n° 18/2018

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 2018

Dominik A. Müller
Canton d'Argovie
Département Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung für Umwelt
Grundwasser, Boden und Geologie
Entfelderstrasse 22
5001 Aarau
Tél. :062 835 34 08
E-mail : dominik.mueller@ag.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