

Le BSA change de look



Sommaire

Le Groupe de travail BSA-VBB fête son 20 ^e anniversaire en 2015, Année internationale des sols.....	3
Groupe de travail BIOLOGIE DU SOL – APPLICATION BSA - VBB Le nouveau look du BSA	4
20 ^e anniversaire du BSA : échantillonnage de vers de terre au Kocherpark à Berne	6
Dix ans de monitoring de la biologie du sol dans le canton d'Argovie	9
Initiative visant à rassembler des études de biologie du sol en rapport avec des sites en Suisse	15
Recherche sur la biologie du sol dans le cadre de l'Observatoire national des sols	16
La diversité microbienne dans le réseau KABO : le projet KABO-MiDiBo	19
Mesure de l'activité biologique du site de suivi à long terme « Oberacker » par la méthode bait-lamina.....	20
Influence de l'introduction d'une population de vers de terre sur un sol reconstitué dépourvu d'horizon A	29

Impressum Bulletin VBB-BSA n° 16/2015

Éditeur : BSA-VBB (Groupe de travail « Biologie du sol – application »)

Le groupe de travail BSA/VBB 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) et en collaboration avec des institutions de recherche. 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 2015/16

Dr. Elena Havlicek
Thème Sols
Office fédéral de l'environnement (OFEV)
CH-3003 Berne
Tél. 058 465 14 97
E-mail : elena.havlicek@bafu.admin.ch

Secrétariat et commande

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

Le présent bulletin et les éditions précédentes peuvent être consultés sur le site Internet de l'Office fédéral de l'environnement :

Lien : <http://www.bafu.admin.ch/sol/> > Informations pour les spécialistes > Mesures de protection des sols > Biologie du sol

1. Éditorial

Le Groupe de travail BSA-VBB fête son 20^e anniversaire en 2015 Année internationale des sols

Elena Havlicek

Office fédéral de l'environnement, OFEV, division Sol et biotechnologies

elena.havlicek@bafu.admin.ch

Claudia Maurer

Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne – service de la protection des sols

claudia.maurer@vol.be.ch

L'année 2015 a été déclarée « Année internationale des sols » par l'Assemblée générale de l'ONU. Les nombreuses activités et publications (que l'on peut trouver sur le site www.sols2015.ch) avaient pour objectif principal de sensibiliser le grand public aux fonctions que les sols peuvent remplir, en particulier les trois fonctions (production, régulation et milieu de vie) qui dépendent largement de l'activité de la faune du sol.

L'aspect biologique doit aussi être pris en considération dans la mise en œuvre de la protection des sols. C'est pour cette raison que le Groupe de travail BSA a été constitué il y a 20 ans : la Confédération, les cantons et les institutions de recherche élaborent les bases nécessaires à l'utilisation de paramètres biologiques et coordonnent les projets axés sur l'exécution.

Au cours des dernières années, l'environnement du groupe de travail s'est profondément transformé : de nombreux changements sont intervenus dans les ressources humaines, les méthodes élaborées sont appliquées (réseaux national et cantonal d'observation des sols NABO et KABO, recherche), de nouvelles méthodes deviennent actuelles et le besoin de coordination

se fait de plus en plus ressentir (p. ex. stratégie biodiversité, monitoring de la biodiversité, stratégie sol). Autant de raisons qui expliquent que le BSA a revu ses objectifs et sa structure d'organisation. Vous trouverez en page 3 un compte rendu détaillé de cette révision.

Notre excursion d'anniversaire nous a amenés dans un milieu urbain, plus précisément au Kocherpark en ville de Berne : nous avons procédé à un échantillonnage de vers de terre dans deux emplacements différents du parc, avant de discuter entre collègues lors d'un apéritif convivial (p. 5). Cette manifestation a aussi eu des échos dans la presse.

L'année des sols se termine mais la mise en œuvre de la protection des sols doit profiter de l'élan médiatique et politique (motion Müller-Altermatt sur le centre national de compétences pédologiques acceptée le 4 juin dernier) et doit se poursuivre dans les années à venir. Le rôle des organismes du sol et la protection accrue des fonctions liées à l'activité biologique des sols restent un défi à relever.

2. Projets choisis du BSA

Groupe de travail BIOLOGIE DU SOL – APPLICATION BSA - VBB Le nouveau look du BSA

Elena Havlicek

Office fédéral de l'environnement, OFEV, division Sol et biotechnologies

elena.havlicek@bafu.admin.ch

Claudia Maurer-Troxler

Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne – Service de la protection des sols

claudia.maurer@vol.be.ch

Objectif

Le groupe de travail BSA est une plate-forme destinée à coordonner des travaux axés sur l'exécution et à soutenir des projets de recherche dans le domaine de la biologie du sol. Il s'agit d'un groupe spécialisé du Cercle Sol CH. Le groupe de travail BSA :

- s'investit pour que les aspects touchant à la biologie du sol soient intégrés et appliqués dans le cadre des prescriptions légales ;
- assure les contacts et l'échange d'informations entre les organes d'exécution et ceux de la recherche ;
- initie, élabore et évalue, en collaboration avec la recherche, des méthodes pratiques et des bases d'interprétation pour l'exécution ;
- élabore et évalue des bases de recommandation visant à intégrer les méthodes de biologie du sol, notamment dans l'observation à long terme ;
- œuvre à développer l'utilisation de méthodes uniformes pour obtenir une comparabilité optimale des données ;
- émet des recommandations sur la gestion des données et le contrôle de la qualité ;
- s'engage en faveur d'une intégration adéquate de certains aspects de la biologie du sol dans des projets ne concernant pas spécifiquement le sol (p. ex. monitoring de la biodiversité, Stratégie Biodiversité Suisse) ;
- se conçoit comme une aide et un interlocuteur pour l'interprétation de données ;

- sensibilise la population et les utilisateurs du sol à la biologie du sol.

Organisation et fonction des organes

Le BSA comprend les services cantonaux de la protection des sols, l'OFEV, le NABO et différentes institutions de recherche (fig. 1).

Structure, mode de travail, tâches et produits

- La présidence change tous les deux ans parmi les organes d'exécution (Confédération, cantons). Le président ou la présidente est membre du groupe de pilotage et dirige les séances.
- Le secrétariat soutient le groupe de travail au plan administratif : échange de documents, préparation de séances, tenue de procès-verbaux, rédaction du bulletin, préparation et organisation de manifestations spécialisées, etc. Il est financé par l'OFEV.
- Le groupe de pilotage est constitué d'un ou d'une représentante de l'OFEV, des cantons, du NABO, des institutions de recherche et du secrétariat. Il définit les orientations, échange des informations, prépare les dossiers d'actualité et organise des conférences et des colloques. Le groupe de pilotage se réunit en fonction des besoins.
- Le groupe de travail se réunit une à deux fois par an pour échanger des informations et prendre des décisions sur les dossiers préparés.

- Les thèmes les plus divers relevant de la biologie du sol font l'objet de projets concrets limités dans le temps. Il peut s'agir de projets internes au BSA, de projets de recherche externes ou de projets communs. Au besoin, des bureaux privés sont aussi représentés.
- En matière d'information et de communication, le groupe de travail publie des bases d'application (stratégies, aides techniques) ainsi qu'un bulletin (projets, activités de recherche, bases d'exécution).

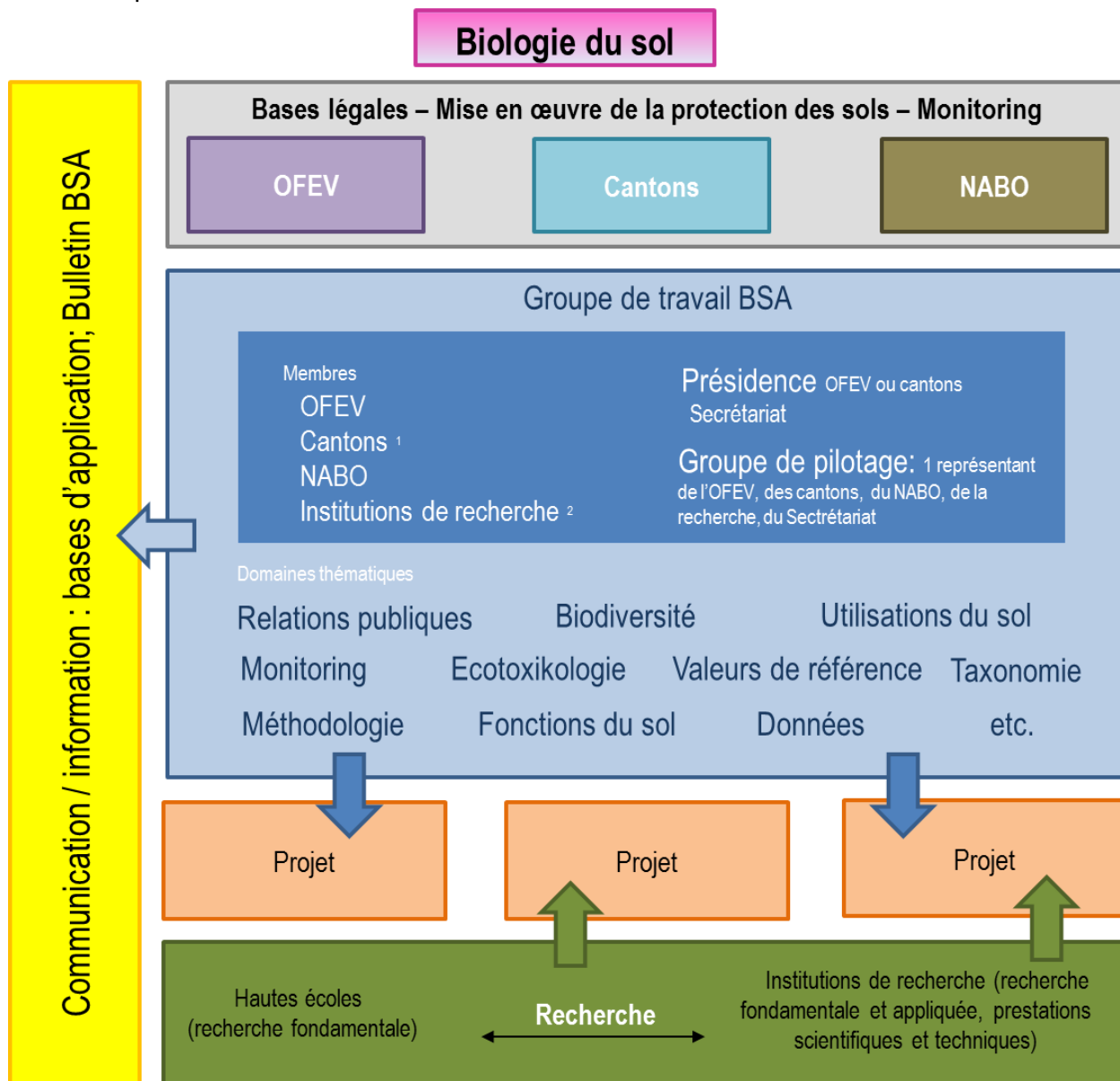


Figure 1 : Organigramme du BSA (état en 2014 : ¹ AG, BE, FR, SG, SO, ZH; ² Agroscope, FiBL, WSL, Centre Ecotox)

Le BSA fête ses 20 ans : échantillonnage de vers de terre au Kocherpark à Berne

Claudia Maurer

Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne – Service de la protection des sols
claudia.maurer@vol.be.ch

La vie abonde sous les pieds des citadins. Au Kocherpark, au cœur de la ville de Berne, de nombreux vers de terre accomplissent leur précieux travail qui consiste à transformer les feuilles mortes et le gazon tondu en terre fertile. De plus, ils creusent des galeries qui infiltrent les eaux de pluie et évitent que les pelouses ne soient inondées, même après un orage.

Sites et échantillonnage

Le 29 avril 2015, à l'occasion de son 20^e anniversaire, le Groupe de travail BSA a organisé un recensement de vers de terre sur le terrain (fig. 2). Le choix s'est porté sur un sol urbain, un terrain encore largement méconnu sur le plan de la biologie du sol. Trois échantillons ont été prélevés respectivement dans un site de FORÊT et un site de PRAIRIE dans des conditions optimales (10–15 °C, pluie abondante après un mois d'avril sec).



Figure 2: Le BSA à la recherche des vers de terre

Pour le site FORÊT, nous avons choisi une petite surface occupée par des feuillus et des buissons, dont le sol était recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de feuilles mortes.

Pour le site PRAIRIE, le choix s'est porté sur une pelouse déjà ancienne. Pendant la période de végétation, celle-ci est coupée une fois par semaine (tonte mulching), fertilisée avec un engrais potassique longue durée, aérée une fois par an au maximum et sursemée de temps à autre.

L'échantillonnage a été circonscrit dans un cadre métallique de 50x50 cm enfoncé à environ 2 à 3 cm de profondeur dans le sol, après que l'herbe a été tondu à ras et les feuilles mortes enlevées. Le carré a été arrosé pendant 40 minutes avec une solution de formol à 0,1 %. Les vers de terre délogés ont été collectés et fixés dans une solution de formol à 4 % pour être examinés au laboratoire. Il a fallu environ 12 litres de solution de formol par cadre dans la surface de prairie et plus de 23 litres en forêt, où le sol était extrêmement perméable. Ensuite, la moitié de la surface d'échantillonnage a été enlevée sur une profondeur de 20 cm et les vers de terre ont été ramassés à la main. Ils ont tous été identifiés et pesés ultérieurement au laboratoire et les résultats convertis en valeurs par m².

Résultats et discussion

Espèces

Le site FORÊT est dominé par les espèces fousseuses *Nicodrilus longus* et *N. nocturnus*. Deux espèces endogées du genre *Octolasion*, plutôt rare dans les sols agricoles, y ont aussi été trouvées en grand nombre (*O. cyaneum* et *O. tyrtaeum*). Par contre, les vers de terre vivant dans la litière étaient presque totalement absents. Au total, dix espèces différentes ont ainsi été identifiées (tab. 1).

Le site PRAIRIE est dominé par l'espèce fousseuse *Lumbricus terrestris* et l'espèce

endogée *Allolobophora rosea*, typique des prairies. Le *L. terrestris* était particulièrement abondant, mais présentait un poids individuel (1,6 g en moyenne) nettement inférieur au poids habituel (2 à 6 g). Aucune espèce épigée n'a été trouvée. Au total, seules cinq espèces ont pu être répertoriées dans les sites de prairie (tab. 1).

Une prairie permanente du Plateau suisse renferme en moyenne huit à dix espèces (OFEFP 1997, Cahier n° 291). Le site FORÊT correspond à cette moyenne, alors que le site PRAIRIE ne contenait aucune espèce épigée et pas d'autres espèces endogées. Cette situation s'explique probablement par une forte concurrence alimentaire avec l'espèce dominante *L. terrestris*.

Abondance (nombre d'individus) et biomasse (poids)

Les trois échantillons parallèles du site FORÊT sont très similaires, aussi bien en ce qui concerne l'abondance que la biomasse (fig. 3). Ils totalisent 278 individus/m² pour une biomasse de 323 g/m². Il n'existe pas de valeurs de référence pour la forêt, mais la comparaison avec les valeurs moyennes d'une prairie naturelle du Plateau (250-400 g/m², Ø 301 g/m², OFEFP 1997) montre un niveau très semblable. Dans le canton de Berne où les sols sont plutôt légers, les valeurs sont inférieures, de l'ordre de 225 g/m² (Direction de l'économie publique, Rapport sur les sols 2009). On peut en déduire que la surface de forêt contient une population très nombreuse de vers de terre. Cette abondance pourrait être liée à la grande quantité de litière facilement transformable se trouvant dans ce site humide et très perméable.

Tableau 1: Liste des espèces trouvées dans les sites FORÊT et PRAIRIE, Kocherpark, Berne, 29 avril 2015

Espèces	FORÊT	PRAIRIE
<i>Lumbricus castaneus</i>	occasionnellement	absent
<i>Lumbricus terrestris</i>	régulièrement	fréquemment
<i>Nicodrilus longus</i>	fréquemment	occasionnellement
<i>Nicodrilus nocturnus</i>	fréquemment	absent
<i>Nicodrilus caliginosus</i>	absent	régulièrement
<i>Allolobophora chlorotica</i>	occasionnellement	absent
<i>Allolobophora icterica</i>	fréquemment	régulièrement
<i>Allolobophora rosea</i>	occasionnellement	fréquemment
<i>Allolobophora sp.</i>	occasionnellement	absent
<i>Octolasion cyaneum</i>	fréquemment	absent
<i>Octolasion tyrtaeum</i>	fréquemment	absent
Total espèces	10	5

Les trois échantillons parallèles du site PRAIRIE diffèrent en termes d'abondance, en particulier des espèces endogées. En revanche, les trois valeurs de biomasse sont semblables (fig.4). Avec 171 g/m², la prairie possède nettement moins de biomasse que la forêt ou que les prairies naturelles du Plateau suisse. Le nombre de *L. terrestris* est très élevé, mais les animaux étant plus légers que la normale, les valeurs de biomasse totale sont inférieures. Le produit de la tonte hebdomadaire peut nourrir une grande population de vers de terre, mais les individus sont plutôt « sous-alimentés ».

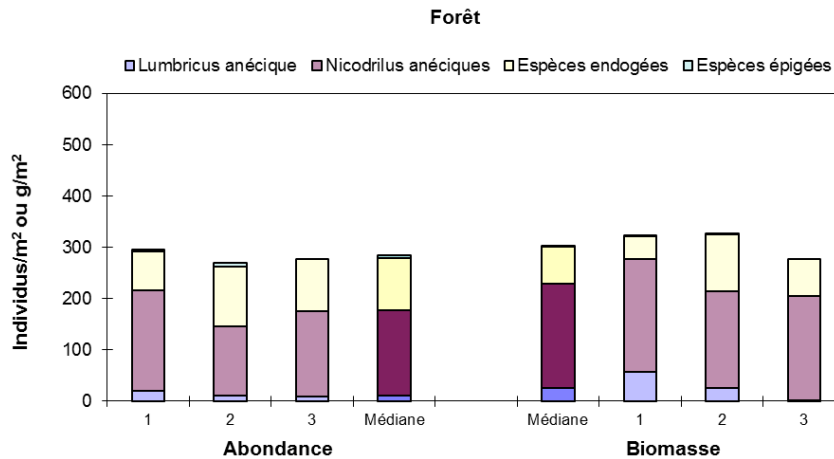


Figure 3 : Abondance et biomasse des trois échantillons parallèles ainsi que médiane pour le site FORÊT, Kocherpark de Berne, 29 avril 2015

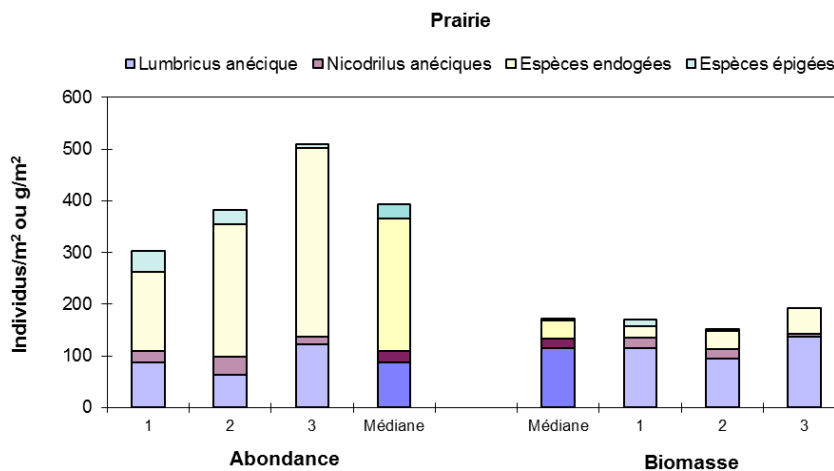


Figure 4 : Abondance et biomasse des trois échantillons parallèles ainsi que médiane pour le site PRAIRIE, Kocherpark de Berne, 29 avril 2015

Conclusions

Même dans un parc urbain au cœur de la ville de Berne, on trouve de grandes quantités de vers de terre. Le sol très aéré, meuble et recouvert de litière du site FORÊT en abrite une population diversifiée et très importante, avec dix espèces pour 323 g/m². Cette population est dominée par les vers de terre de grande taille, les deux espèces fousseuses *N. longus* et *N. nocturnus* et les espèces endogées *O. cyaneum* et *O. tyrtaeum*.

Le site PRAIRIE en revanche présente des chiffres nettement inférieurs, tant pour le nombre d'espèces (5) que pour la biomasse (171 g/m²). La végétation uniforme de la pelouse se reflète dans le manque de diversité

de la population : les vers de terre de la litière sont totalement absents, et seules deux espèces dominent. L'herbe tondue fournit régulièrement de la nourriture à une population relativement abondante de l'espèce anécique *L. terrestris*, mais le poids des individus est bien inférieur à celui observé en moyenne chez les individus des sols de prairie exploités par l'agriculture. Les deux sites – FORÊT et PRAIRIE – présentent une forte population d'espèces fousseuses, importantes pour la décomposition de la litière et la structuration du sol. Ainsi, la biomasse végétale produite peut être aisément décomposée et recyclée et les galeries verticales assurent une bonne évacuation de l'eau de pluie. Seule la diversité des vers de terre est très restreinte dans la pelouse du site PRAIRIE.

Dix ans de monitoring de la biologie du sol dans le canton d'Argovie

Dominik Mösch, Matthias Hunziker

Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt
dominik.moesch@ag.ch

Le sol renferme une multitude d'organismes. Ils font partie de cet écosystème où ils accomplissent un précieux travail. Dans le cadre de l'observatoire des sols du canton d'Argovie, le service de l'environnement mène depuis 2005 des études microbiologiques dans des sites sélectionnés du canton. Les résultats montrent l'influence de l'utilisation du sol et de ses propriétés abiotiques sur la présence et l'activité des microorganismes. Inversement, la biologie du sol peut servir d'indicateur de changements survenus dans le sol.



Figure 5 : Une amibe (*Amoeba proteus*) comme représentante de la microfaune. Cet unicellulaire vorace encercle ses proies (ici une petite particule végétale) avec ses pseudopodes et les enferme dans une vacuole alimentaire arrondie. Photo : Eckard Voelcker & Steffen Clauß, www.penard.de

Le sol est un milieu très diversifié qui abrite de nombreux organismes vivants. Sous la surface d'un mètre carré de terrain vivent non seulement des vertébrés, comme les taupes ou les souris, mais aussi des dizaines voire des centaines de vers de terre, de millepattes, de cloportes, d'araignées, de larves d'insectes, de limaces et de coléoptères. La mésofaune compte plusieurs milliers d'individus, dont notamment les encytréides, les rotifères, les tardigrades, les acariens, les collemboles et les nématodes.

Quant aux microorganismes, constitués de la microfaune (p. ex. amibes et flagellés, fig. 5) et de la microflore (bactéries, champignons et algues), ils regroupent des milliards voire des billions d'individus et constituent 80 à 90 % de la biomasse du sol. Comme élément de l'écosystème, le sol remplit d'importantes fonctions. Plusieurs de ces services écosystémiques ont un lien direct avec les organismes du sol. Ceux-ci contribuent de manière déterminante aux fonctions du sol décrites ci-après :

1. Ensemble, ils peuvent transformer ou dégrader pratiquement tous les composés organiques, assurant ainsi la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol.
2. Ils brassent et mélangent la terre (bioturbation) et contribuent ainsi à la formation de la structure du sol.
3. Ils peuvent, par une transformation partielle ou complète, dégrader des polluants comme les huiles minérales hydrocarbonées ou les hydrocarbures polycycliques aromatiques (polluants organiques).
4. Ils forment des substances à masse moléculaire élevée (humines) qui sont importantes pour la fixation des éléments nutritifs et des polluants.
5. Ils influencent l'approvisionnement en oxygène du sol et les processus qui en découlent.

Cette énumération montre que ces organismes jouent un rôle essentiel dans la fertilité du sol. L'observatoire cantonal des sols (KABO) mesure des paramètres microbiologiques dans des sites sélectionnés chaque année depuis dix ans. Le contexte de ces mesures effectuées dans le canton d'Argovie et les résultats des trois premières années de relevés ont été présentés en détail

dans la revue UMWELT AARGAU n° 46 de novembre 2009, pp 21 à 24.

Les paramètres biologiques comme indicateurs de la qualité des sols

Le sol, habitat de microorganismes, se forme et se transforme naturellement ou par suite de l'activité humaine sous l'effet de facteurs chimiques, physiques et biologiques. Ces influences se reflètent dans la présence, la diversité et l'activité des microorganismes. Ces derniers, comme l'ont montré différentes études, sont en effet sensibles aux modifications de leur environnement. C'est pourquoi ils peuvent servir d'indicateurs pour évaluer la fertilité du sol. En outre, l'observation à long terme de la biologie du sol permet de détecter très tôt des changements préjudiciables intervenant dans le sol.

Méthodes d'investigation

Chaque année au printemps, avant le début de la végétation et les premiers apports d'engrais, des échantillons sont prélevés dans la couche supérieure du sol. La profondeur d'échantillonnage définie est de 0 à 10 cm pour les herbages et de 0 à 20 cm pour les terres assolées. Les quatre échantillons mixtes prélevés sur chaque site sont analysés par la station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Les mesures portent sur la biomasse microbienne, la respiration basale du sol et le quotient métabolique. En 2006, tous les sites ont été évalués à dans le cadre de l'échantillonnage du KABO. La teneur en carbone du sol, le pH et la granulométrie ont été déterminés à cette occasion pour chaque site. Ces paramètres et la formule de régression calculée à l'échelle suisse permettent d'évaluer les propriétés microbiennes des sites étudiés à l'aide de valeurs de référence. Un écart entre la valeur mesurée et la valeur de référence signifie qu'il existe aussi d'autres propriétés du site qui influencent la microbiologie. Par ailleurs, des valeurs de comparaison tirées de la littérature scientifique

et répertoriées au plan national sont également utilisées pour évaluer les résultats des sites argoviens.

Terminologie

Biomasse microbienne : la biomasse microbienne est une mesure générale exprimant l'état de vitalité et d'activité du sol. Sa grandeur dépend de divers facteurs environnementaux (climat, propriétés pédologiques, utilisation et exploitation du sol). Il s'agit d'un paramètre pédologique important, puisque ces organismes jouent non seulement un rôle décisif dans la décomposition et la transformation de la matière organique, mais représentent aussi une réserve de nutriments rapidement assimilables.

Respiration basale : comme la respiration humaine, la décomposition de matières organiques entraîne l'émission de gaz carbonique (CO₂). Le CO₂ produit est une mesure exprimant l'activité respiratoire aérobie de l'ensemble des organismes du sol. En l'absence de perturbation, il s'instaure un équilibre écologique dans le sol entre les organismes et leur activité de décomposition. La respiration dans cet état est qualifiée de respiration basale. Quand cet équilibre est rompu, la respiration change suite à une modification de la biomasse microbienne.

Quotient métabolique : le quotient métabolique exprime l'efficacité énergétique d'une communauté de microorganismes et correspond au rapport entre la respiration basale et la biomasse microbienne mesurée avec la méthode de respiration induite par le substrat (SIR). Il caractérise l'état physiologique des microorganismes et fournit une valeur approximative des besoins pour la conservation de la communauté microbienne d'un sol. Plus il est élevé, plus la quantité de substrat rejetée sous forme de CO₂ est grande et plus la proportion du substrat incorporé dans la biomasse microbienne est faible.

Les sites du KABO sont classés en différentes catégories en fonction de leur utilisation (terre assolée, herbages) (tab. 2.). La catégorie « herbages » comprend en outre deux sites supplémentaires (n° 303 et 305) où la couche supérieure du sol riche en nutriments a été décapée. Ils sont utilisés

actuellement comme sites maigres, pauvres en éléments nutritifs. Les sites 304 et 306 se trouvent à côté de ceux dont la « terre végétale » a été décapée. Ils ont été retournés pour la dernière fois lors de la création des sites maigres et servent depuis de surfaces de comparaison.

Tableau 2 : Les onze sites du KABO et les deux sites décapés avec leurs surfaces de comparaison respectives

Abréviation	Localité	Utilisation et remarques	Nombre de mesures
100Ob	Obermumpf	Terre assolée, bio	9
101He	Hellikon	Terre assolée	10
105Me	Merenschwand	Terre assolée	7
121Gr	Gränichen	Terre assolée avec beaucoup de prairie artificielle dans l'assolement	10
122Ku	Küttigen	Herbage, prairie maigre	10
124Ab	Abtwil	Herbage, sol organique	7
153Su	Suhr	Terre assolée	9
154Ro	Rohr	Herbage, extensif	9
156Bö	Bözen	Herbage	10
157Sc	Schinznach	Herbage, vigne	9
158Me	Mettau	Terre assolée	3
303Ba_abh.	Baden	Herbage, décapé	7
304Ba_Ref.	Baden	Herbage (référence), extensif	7
305Me_abh.	Merenschwand	Herbage, décapé	5
306Me_Ref.	Merenschwand	Herbage (référence), extensif	5

Résultats

D'une manière générale, les résultats montrent des valeurs de biomasse microbienne (fig. 6) et de respiration basale (fig. 7) plus élevées dans les sites d'herbages que dans les surfaces assolées. On peut en déduire que la capacité de décomposition et les taux de transformation sont plus élevés dans les sites d'herbages. Cela s'explique par le fait que la teneur en carbone organique des herbages est par nature supérieure à celle des terres assolées. Quand la quantité de réserve alimentaire est plus importante, les microorganismes sont plus fréquents et produisent donc davantage de CO₂. Les résultats du quotient métabolique pour les dix dernières années montrent que les données des terres assolées ne varient pas beaucoup entre les sites et tendent à se situer à un niveau plus bas que celui des sites d'herbages.

Par rapport aux valeurs attendues calculées (valeur de référence) des sites de terres assolées, les valeurs mesurées de biomasse microbienne et de respiration basale se situent en général dans l'intervalle de confiance statistique, à l'exception du site d'Obermumpf (100Ob). Le mode de culture (bio) et les propriétés favorables du sol (bonne teneur en carbone et bon pH) du site 100Ob pourraient expliquer que les valeurs de mesure atteignent, voire dépassent ici la plage des valeurs maximales mesurées (valeurs de comparaison) à l'échelle suisse.

Dans les sites d'herbages, les valeurs de la biomasse microbienne et de la respiration basale se situent dans le quartile supérieur des valeurs de comparaison suisses. Comme il n'existe pas encore de valeurs de référence pour ces sites, il n'a pas été possible d'estimer des valeurs attendues spécifiques.

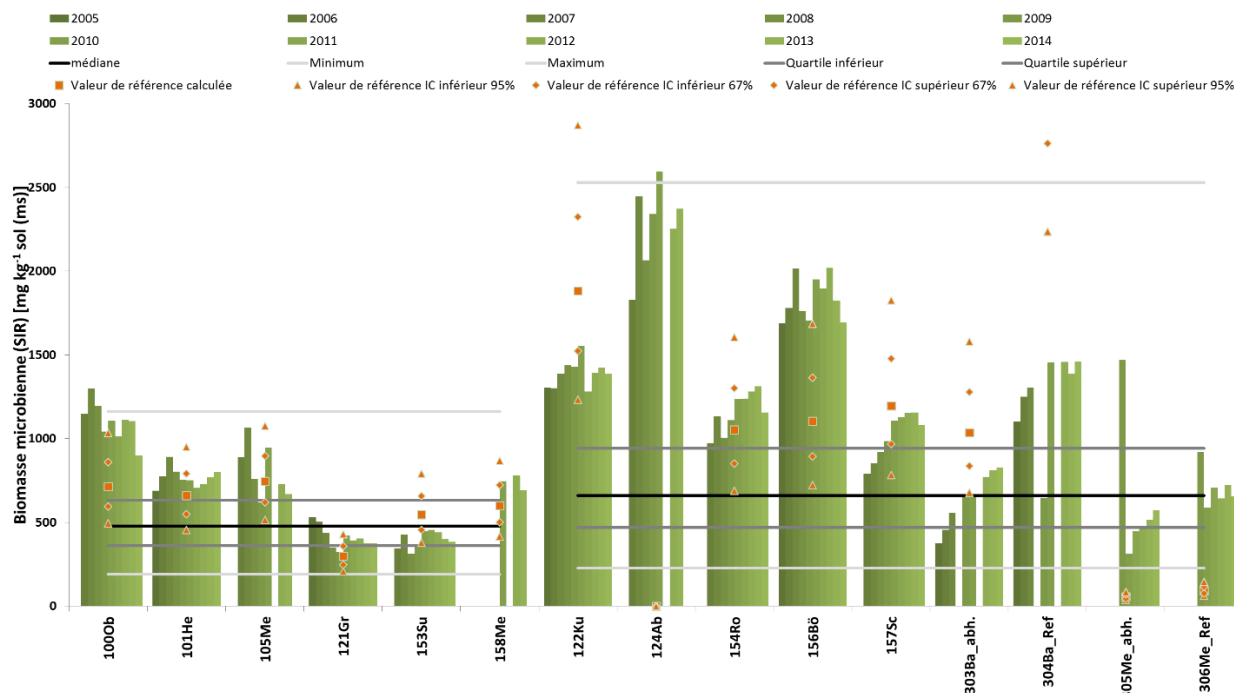


Figure 6: Évolution de la biomasse microbienne dans les sites de terres assolées et d'herbages. On constate que les sites d'herbages (à droite) présentent en général une biomasse microbienne plus élevée que les sites de terres assolées (à gauche).

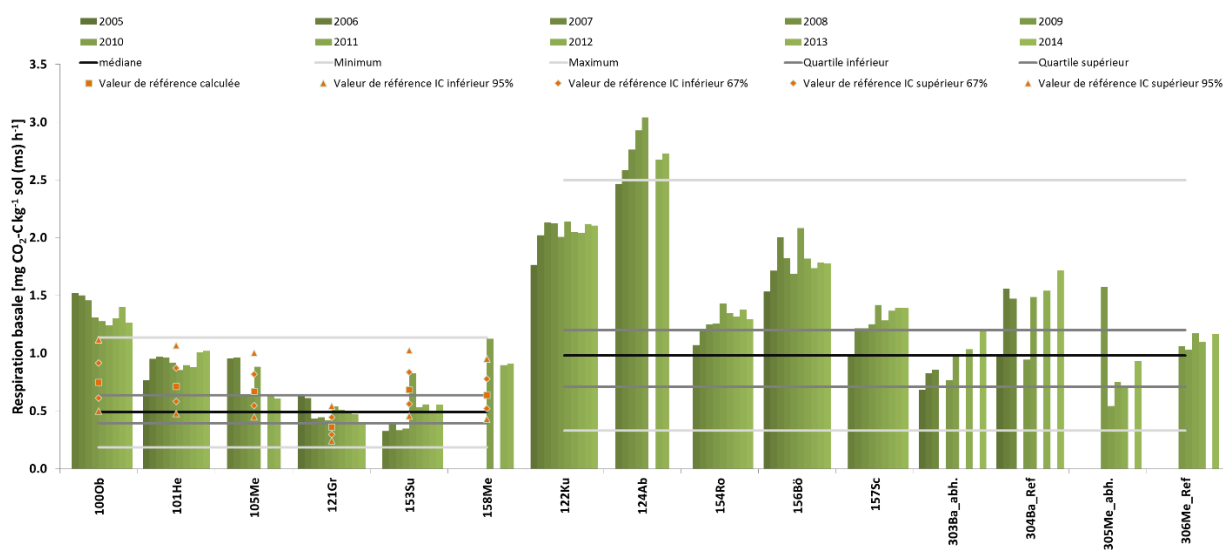


Figure 7: Évolution de la respiration basale dans les sites de terres assolées et d'herbages. Les surfaces exploitées de façon peu intensive présentent souvent une respiration basale plus élevée (à gauche sites de terres assolées, à droite sites d'herbages).

La prairie maigre de Küttigen (122Ku) est un site extrême du point de vue de l'offre en substances nutritives. Les résultats montrent des valeurs de biomasse microbienne basses par rapport aux valeurs de référence typiques du site et une respiration basale supérieure à la moyenne suisse. Le quotient métabolique sur la période de mesures de dix ans est comparativement élevé (fig. 8). Il

semble que les micro-organismes moins abondants persèverent dans ces conditions externes, ayant ainsi un métabolisme défavorable en attendant des temps plus favorables en termes de nutriments disponibles. Car alors, la diversité et la quantité des microorganismes pourront augmenter et les processus métaboliques se dérouler à un meilleur niveau.

Parmi les terres assolées, les sites de Gränichen (121Gr) et de Suhr (153Su) présentent les valeurs de biomasse microbienne et de respiration basale les plus basses. Ces résultats sont confirmés par les valeurs attendues spécifiques pour ces sites ; le site 121Gr, sablonneux, relativement pauvre en carbone et faiblement acide, offre les conditions les plus défavorables aux microorganismes. À Gränichen, le quotient métabolique, qui ne change pratiquement pas, se

situe dans le quartile supérieur en comparaison suisse. Autrement dit, il se trouve dans le quart des valeurs de mesure les plus élevées. Il semble que les microorganismes ne trouvent pas ici des conditions optimales et qu'ils soient donc moins nombreux (biomasse microbienne), globalement moins actifs (respiration basale) et que leur métabolisation soit moins efficace (quotient métabolique) par rapport à d'autres sites argoviens de terres assolées.

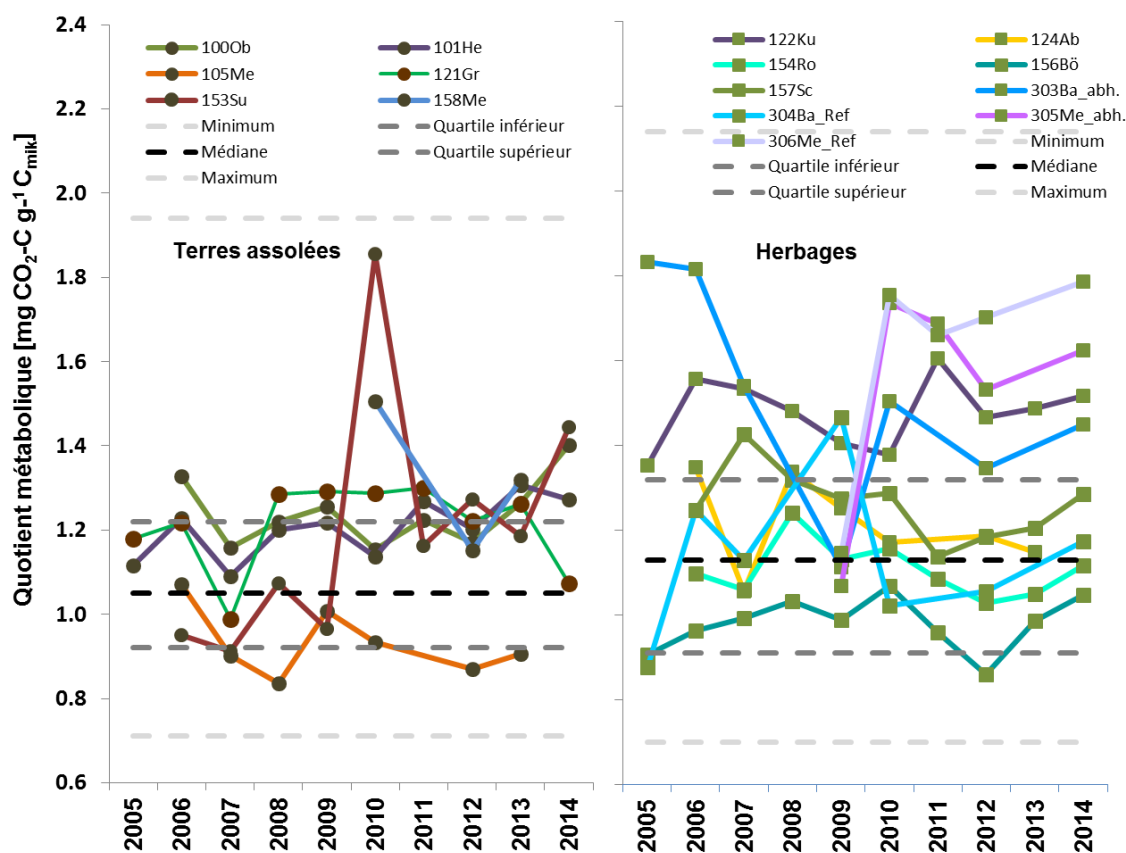


Figure 8: Évolution du quotient métabolique. Les points bruns et les carrés vert sombre représentent les années de mesures. Des valeurs élevées du quotient métabolique signalent une perturbation du système et des conditions de vie suboptimales pour les microorganismes.

Le site de Suhr (153Su) est un terrain assolé exploité de façon intensive pour la production de plantes sarclées (comme le maïs). Le passage répété de véhicules au cours de l'année, y compris en automne à l'époque des récoltes, peut endommager le sol. Concernant la biomasse microbienne, les valeurs mesurées sont basses, voire en

dessous de la valeur probable prévue. Ce site est l'un des rares à montrer une augmentation marquée du quotient métabolique, qui s'explique surtout par la modification de la respiration basale. D'après les paramètres étudiés, ce site semble être utilisé de façon défavorable du point de vue de la biologie du sol.

Le site présentant les valeurs les plus élevées de biomasse microbienne et de respiration basale est celui d'Abtwil (124Ab). Ces résultats sont dus à la forte teneur en matière organique du sol. Ils dépassent en partie la valeur de comparaison maximale et la limite d'utilisation du système de référence (plus de 4 % de teneur en C), raison pour laquelle on ne dispose pas d'estimations spécifiques pour ce site.

Les deux surfaces à Baden (303Ba_abh., 304Ba_Ref) - terrains adjacents situés sur une pente exposée sud-est – montrent une augmentation de la biomasse microbienne et de la respiration basale. Le quotient métabolique tend à diminuer dans le site 303Ba_abh., et à stagner avec une importante variabilité dans le site 304Ba_Ref. Les paramètres biologiques signalent donc que l'activité microbienne est en augmentation, alors qu'elle avait d'abord montré une baisse d'efficacité dans l'utilisation de la matière organique due aux transformations du sol (décapage de la couche supérieure pour le site 303Ba_abh, labourage de la surface de référence pour le site 304Ba_Ref).

Une intervention dans le système comme un décapage – à l'exemple de Baden (303Ba_abh) et de Merenschwand

(305Me_abh) –, montre que les valeurs de la biomasse microbienne, et par conséquent de la respiration basale, augmentent les années suivantes et se rapprochent de la valeur initiale des surfaces de référence. Par ailleurs, les valeurs élevées de quotient métabolique par rapport aux autres sites d'herbages sont le signe d'une perturbation du système, et donc de conditions de vie sub-optimales pour les microorganismes.

Conclusions

Les facteurs pédogénétiques interagissent tous entre eux de différentes manières et offrent aux microorganismes différentes conditions de vie. Ce qui peut se mesurer dans la fréquence, l'activité et l'état. Comme le montrent les résultats du monitoring des dix dernières années, les paramètres biologiques peuvent être de bons indicateurs de la qualité du sol. Un monitoring de la biologie du sol est donc vivement conseillé, en particulier après des transformations. Cependant, vu l'importante variabilité observée dans ce genre de situation (cf. sites 303Ba_abh. à 306Me_Ref), il faut veiller à choisir une méthode de surveillance suffisamment fine et axée sur le long terme, afin d'éviter les erreurs d'interprétation.

Initiative visant à rassembler des études de biologie du sol en rapport avec des sites en Suisse

Andreas Fliessbach

Institut de recherche de l'agriculture biologique, Frick

andreas.fliessbach@fibl.org

But

Un grand nombre de recherches, études et relevés sont réalisés, mais seule une partie de ces travaux sont rendus publics. En effet, lorsque les résultats ne correspondent pas aux attentes, que les hypothèses ne sont pas confirmées ou qu'aucune différence n'est constatée, il y a peu de motivation à publier une étude qui finit souvent au fond d'un tiroir. L'initiative proposée ici vise à répertorier dans une banque de données les travaux portant sur les organismes du sol en Suisse, afin d'obtenir une vue d'ensemble des études existantes et des sites étudiés.

Le BSA cherche, par cette initiative, à rassembler les travaux dans lesquels des indicateurs biologiques (p. ex. comptage d'organismes) ou biochimiques (matière organique du sol, biomasse microbienne, respiration du sol, enzymes du sol, ADN et PLFA comme indicateurs de communautés microbiennes) ont été utilisés pour évaluer la qualité du sol. Il peut s'agir de travaux de master, de bachelor ou de thèse de doctorat, de manuscrits, de comptes rendus ou de matériel audiovisuel.

Procédure

Une banque de données a été établie avec des adresses de personnes travaillant dans

des universités, des hautes écoles, des laboratoires et services cantonaux, des musées d'histoire naturelle et des bibliothèques. Ces personnes reçoivent une lettre pour les informer du projet et ensuite un tableau Excel par courriel, dans lequel les études peuvent être inscrites. Comme la saisie demande un travail considérable, les données peuvent aussi être fournies sous une autre forme (listes, banques de données, travaux originaux).

Utilisation des données

Les informations bibliographiques recueillies sont saisies dans une banque de données et reliées au site, ainsi qu'avec les méthodes utilisées et les organismes étudiés dans le sol.

Toutes les personnes ayant été contactées pourront ensuite avoir accès à la banque de données ainsi constituée et faire des recherches par groupe d'organismes et par région. En même temps, cette synthèse fournit des données de base pour le relevé de la biodiversité du sol dans le cadre de la Stratégie Biodiversité Suisse de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et pour l'élaboration de bioindicateurs du sol destinés à l'Observatoire national des sols NABO.

Recherche sur la biologie du sol dans le cadre de l'Observatoire national des sols (NABO)

Anna-Sofia Hug

Andreas Gubler, Franco Widmer, Hansrudolf Oberholzer, Reto Giulio Meuli

Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU

anna.hug@agroscope.admin.ch

Beat Frey

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

But

Bien que les organismes du sol jouent un rôle essentiel dans tous les cycles de substances importants de la nature, les connaissances sur les interactions de ce monde complexe et méconnu vivant sous terre sont encore très lacunaires. C'est en particulier vrai pour les communautés microbiennes, actrices de nombreuses fonctions écologiques fondamentales, comme la décomposition de la matière organique, la disponibilité des éléments nutritifs ou l'immobilisation de polluants. Des calculs ont montré que dix grammes de sol pouvaient contenir jusqu'à 10^7 espèces différentes de bactéries et d'archées. En outre, on suppose que la majeure partie de cette énorme biodiversité est constituée d'espèces très rares qui peuvent facilement disparaître en cas de pollution

chimique du sol (Curtis et al. 2005). Les organismes dans le sol sont très sensibles aux atteintes (p. ex. compaction, polluants, engrais) et peuvent ainsi fournir très rapidement des informations sur des changements intervenant dans le système sol (Hartmann et al. 2014 et 2015). Il est du plus grand intérêt pour l'Observatoire national des sols (NABO) d'intégrer les paramètres biologiques du sol dans la routine de son programme de mesures. Ce mandat est aussi donné par l'OSol, dont l'art. 2a requiert de pouvoir évaluer les biocénoses typiques pour la station (OSol, 1998). D'autre part, la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS) demande que « d'ici à 2020, la surveillance de l'évolution des écosystèmes, des espèces et de la diversité génétique [soit] assurée. » (objectif stratégique 10 ; OFEV, 2012).

Tableau 3 : Paramètres et méthodes de détermination

Paramètres	Désignation	Unité	Méthode
Biomasse microbienne ¹ Respiration induite par le substrat	Biomasse (SIR)	mg C _{mic} kg ⁻¹ MS	B-BM-HM*
Biomasse microbienne ^{1,3} Méthode de fumigation-extraction au chloroforme	Biomasse (FE)	mg C _{mic} kg ⁻¹ MS	B-BM-FE*
Respiration basale ^{1,3}	Respiration basale (BA)	mg CO ₂ -C kg ⁻¹ MS h ⁻¹	B-BA-IS*
Quantité d'ADN ^{2,3}	Quantité d'ADN	mg DNS kg ⁻¹ MS	PicoGreen
pH ⁴	pH		pH CaCl ₂
Rapport C/N ⁴	C/N		détermination des cendres à sec
Poids volumique de la terre fine ⁴	MV TF	g cm ⁻³	
Teneur en eau de la terre fine ⁴	TE TF	% du poids	gravimétrie
Température du sol (-5 cm,-15 cm) ⁴	Temp.S	° C	
Température de l'air ⁴	Temp. A	° C	

1 Mesures par H.R. Oberholzer (terres assolées et herbages), 2 Mesures par F. Widmer (terres assolées et herbages),

3 Mesures par B. Frey (sites forestiers), 4 Mesures par le NABO (terres assolées, herbages et sites forestiers)

* Méthodes de référence des Stations fédérales de recherche en agriculture (FAL, FAW, RAC, 1998)

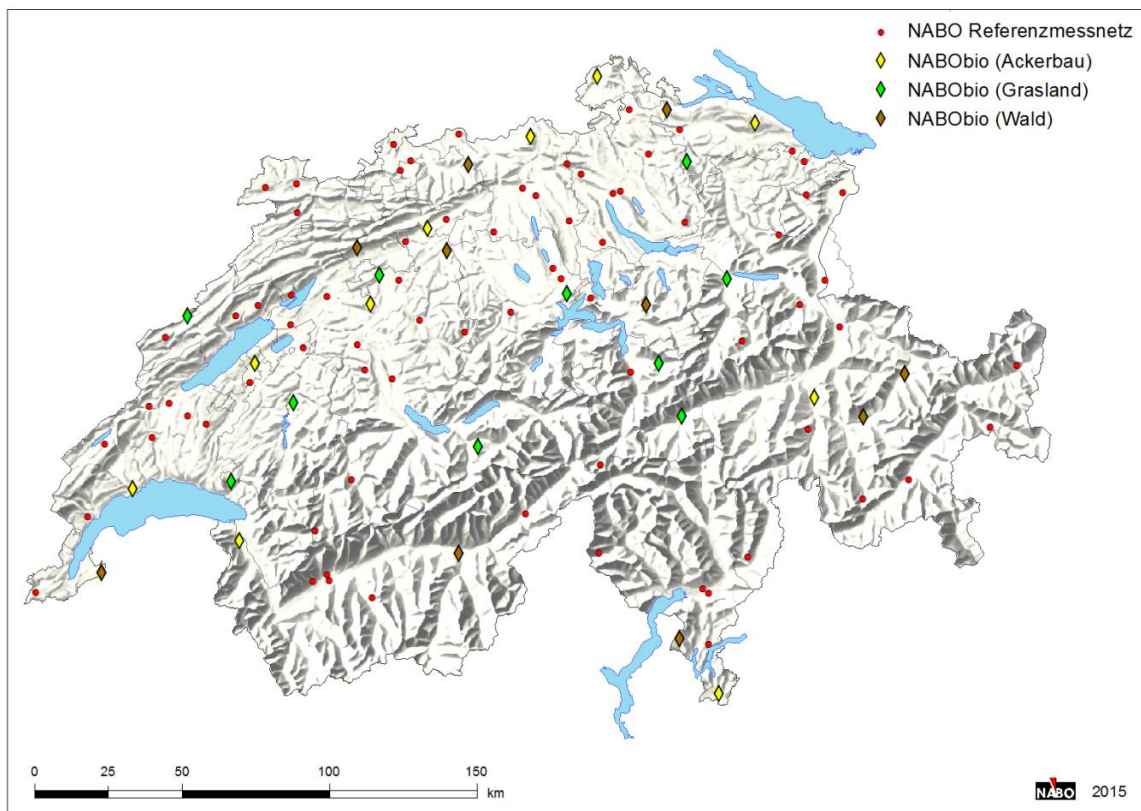


Figure 9 : Sites de mesure de référence du NABO pour NABObio (représentés par des losanges)

Sur la base de recommandations nationales et internationales (Schwab et al. 2006 ; Oberholzer et al. 2007 ; Kibblewhite et al. 2008), le NABO a lancé en 2012 le sous-projet NABObio et entrepris d'effectuer des mesures de paramètres biologiques du sol sur 30 sites du réseau (fig. 9, tab. 3). L'objectif est d'obtenir dans le cadre de NABObio des informations sur l'état des propriétés biologiques du sol de ces sites NABO et de vérifier et fixer les critères méthodologiques requis pour une observation à long terme. Les méthodes classiques de détermination microbiologique sont complétées par des analyses de génétique moléculaire, qui se développent très rapidement. Les énormes progrès réalisés avec cette technologie ouvrent de nouvelles possibilités dans la recherche sur la diversité des organismes du sol et de leurs fonctions. D'autre part, des caractéristiques importantes du sol, comme le pH et le rapport C/N, sont également mesurées. Ensuite, outre les propriétés chimiques du sol, la teneur en eau gravimétrique des échantillons de sol et le poids volumique de la terre fine (matière sèche de la

terre fine par unité de volume, MV TF) (tab. 3) sont déterminés, ce qui permet de garantir la comparabilité de la matière sèche observée et de l'état du sol (teneur en eau) entre les relevés. La température de l'air et du sol est également relevée sur le terrain, de même que l'assolement actuel. Ces paramètres annexes doivent permettre d'interpréter de manière plus approfondie les résultats de mesure inhabituels de l'analyse microbiologique. Pour pouvoir déterminer si les variations temporelles des valeurs microbiologiques sont des modifications effectives ou dues à l'environnement, ou sont des changements causés par le système de mesure, des échantillons de référence congelés (- 20°C) provenant du premier relevé sont mesurés pour chaque site en même temps que les échantillons frais.

Le projet NABObio est réalisé en collaboration avec les groupes de recherche Observatoire national des sols, Écologie moléculaire (F. Widmer) et Fertilité/Protection du sol d'Agroscope (H.R. Oberholzer) et Pro-

cessus des rhizosphères (B. Frey) de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL (tab. 3).

Les résultats des trois premiers relevés montrent que les différents groupes d'utilisation (grandes cultures, herbages et forêt) ont une influence sur les paramètres biologiques du sol. Les sites de grandes cultures présentent des valeurs plus basses que les herbages, ce qui avait aussi été démontré dans d'autres études et programmes d'observation des sols (Rutgers et al. 2009 ; Griffiths et al. 2011 ; Dequiedt et al. 2011). Par contre, les sites forestiers montrent une large gamme de teneurs en biomasse qui, ajoutées à un rapport C/N élargi, dénotent une biomasse microbienne plus élevée que les sites d'herbages. Les liens entre les valeurs microbiologiques, les propriétés du sol, les conditions climatiques et le type d'exploitation doivent être analysés de façon plus détaillée au moyen d'évaluations statistiques. La question intéressante est de savoir dans quelle mesure les propriétés du sol, les conditions climatiques, mais aussi l'exploitation influencent les valeurs microbiologiques et biomoléculaires.

En 2015, on a commencé à déterminer la composition des communautés fongiques et bactériennes des 30 sites NABO au moyen d'analyses par amplification PCR et séquençage de marqueurs génétiques spécifiques. À partir des analyses des quatre premières années d'observation, il est possible de décrire la composition des biocénoses typiques des sites. Ces données peuvent servir de valeurs de référence pour évaluer l'état de la biodiversité des sols. L'analyse biomoléculaire constitue ainsi un instrument capital dans la réalisation du mandat défini par l'OSol (art. 2a ; OSol, 1998) et la Stratégie Biodiversité Suisse (Objectif stratégique 10 ; OFEV, 2012).

Au printemps 2016, les sites seront échantillonnés pour la cinquième fois. La prolongation de la période d'observation et le nombre croissant de valeurs de mesure permettront de délimiter plus précisément la plage de fluctuation des caractéristiques biologiques « naturelles » des sols (valeurs

de référence ou *base lines*), et d'améliorer l'évaluation d'autres mesures sous l'angle de la menace pour la fertilité du sol. À partir de 2017, il est par ailleurs prévu de quantifier et analyser l'ADN de la totalité des quelque 100 sites du NABO.

Références :

- OFEV, 2012 : Stratégie Biodiversité Suisse. En exécution de la mesure 69 (objectif 13, art. 14, section 5) du programme de la législature 2007–2011 : Élaborer une stratégie en faveur du maintien et du développement de la biodiversité.
- Curtis, T.P., Sloan, W.T. (2005) : Exploring Microbial Diversity – A Vast Below. *Science* 309: 1331 – 1333.
- Dequiedt, S., Saby, N.P.A., Lelievre, M., Jolivet, C., Thioulouse, J., Toutain, B., Arrouays, D., Bispo, A., Lemanceau, R. und Ranjard, L., 2011 : Biogeographical patterns of soil molecular microbial biomass as influenced by soil characteristics and management. *Global Ecol. Biogeogr.* 20 : 641-652.
- Hartmann, M., Niklaus, P.A., Zimmermann, S., Schmutz, S., Kremer, J., Abarenkov, K., Lüscher, P., Widmer, F., Frey, B., 2014 : Resistance and resilience of the forest soil microbiome to logging-associated compaction. *The ISME Journal* 8: 226-244.
- 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* 9: 1177-1194.
- Griffiths, R.I., Thomson, B.C., James, Ph., Bell, Th., Bailey, M. und Whiteley, A.S., 2011 : The bacterial biogeography of British soils. *Environ. Microbiol.* 13(6): 1642-1654.
- Kibblewhite, M.G., Jones, R.J.A., Baritz, R., Huber, S., Arrouays, D., Micheli, E. and Stephens, M. (2008). ENVASSO Final Report Part I: Scientific and Technical Activities. ENVASSO Project (Contract 022713) coordinated by Cranfield University, UK, for Scientific Support to Policy, European Commission 6th Framework Research Programme.
- Oberholzer, H.R., Scheid, S., Bonvicini, A., Müller, S., Brunner, H. und Schwab, P., 2007 : Bodenmikrobiologische Kennwerte im NABO-Referenzmessnetz. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Zürich.
- Rutgers, M., Schouten, A.J., Bloem, J., van Eerkeren, N., de Goede, R.G.M., Jagers, G.A.J.M., Akkerhuis, O.P., van der Wal, A., Mulder, C., Brussaard, L. und Breure, M., 2009 : Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. *Eur. J. Soil Sci.* 60: 820-832.
- Schwab, P., Weisskopf, P., Oberholzer, H.R., Scheid, S. und Berli, M., 2006 : Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Pilotprojekt LAZBO. Teil 4 : Folgerungen, Empfehlungen und Ausblick für die Langzeitbeobachtung. Agroscope FAL Reckenholz. Zürich.

Schwab, P., Hug, A.S. und Oberholzer, H.R., en préparation: Langzeitbeobachtung von biologischen Bodeneigenschaften. Ergebnisse bodenmikrobiologischer Untersuchungen 2001-2006 im Projekt LAZBO – Schlussbericht. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.

VBB, BSA, 2009 : Groupe de travail Biologie du sol – application BSA. Aide à la mise en œuvre - Utilisation et interprétation des paramètres biologiques du sol. Frick.

La diversité microbienne dans le réseau KABO : le projet KABO-MiDiBo

Franco Widmer

*Écologie moléculaire, Institut des sciences en durabilité agronomique, Agroscope
franco.widmer@agroscope.admin.ch*

Contexte

Le sol remplit de multiples fonctions que l'on peut classer en différentes catégories : production, régulation, habitat, support, matières premières et archivage. Les trois premières au moins ont un lien direct avec la biologie du sol, autrement dit avec les organismes qui y vivent. Les microorganismes, comme les bactéries et les champignons, sont connus pour jouer un rôle important dans les fonctions du sol, car ils occupent une place centrale dans les cycles des substances, la structure du sol, l'alimentation des plantes, la dégradation des polluants, etc. Les microorganismes représentent aussi la forme de vie la plus variée. Un gramme de sol peut en contenir jusqu'à 10 milliards, pouvant appartenir à 10 000 espèces différentes. Cependant, la plupart de ces espèces microbiennes et leurs fonctions n'ont pas encore été décrites en détail. On sait aussi que la microbiologie et, plus précisément, la diversité microbologique du sol reflètent les changements de l'état de l'habitat sol et peuvent donc servir d'indicateurs sensibles des modifications de la qualité du sol. Pour que cet indicateur puisse être utilisé dans le monitoring de la qualité du sol, il est important de définir la communauté microbienne caractéristique d'un type d'habitat donné, autrement dit de caractériser la spécificité de l'habitat et de définir la stabilité temporelle de la diversité microbienne dans le sol. A fortiori dans le contexte d'une ob-

servation générale des sols qui a pour objectif de recenser les écarts d'un système par rapport à une *base line* et de servir ainsi de système d'alerte de base.

Situation initiale

Le Groupe de travail Biologie du sol – application (BSA) avait lancé un projet consistant à étudier le potentiel infectieux des mycorhizes (PIM) dans différents sites des observatoires cantonal (KABO) et national (NABO) des sols. Ce projet KABO-PIM a fourni des échantillons de sol et extraits d'ADN de 154 sites.

But du projet KABO-MiDiBo

Le projet KABO-MiDiBo a pour objectif d'utiliser les 154 échantillons d'ADN du projet KABO-PIM pour répertorier la diversité microbologique du sol. Des analyses génétiques de la diversité fongique et bactérienne sont réalisées avec les méthodes les plus récentes pour déterminer la diversité et la constitution des espèces (structure de communautés) présentes dans les différents sites du KABO. Le projet est traité pendant l'année 2015, les analyses et évaluations s'appuient sur les outils bio-informatiques les plus modernes pour pouvoir déterminer la diversité microbologique dans le sol. Il est ainsi possible de comparer directement les données provenant des sites du KABO et du NABO (cf. Hug et al. page 15) et de tirer des conclusions beaucoup mieux étayées sur les communautés microbiennes typiques de différents sites et présentes dans les sols suisses.

3. Forum : la biologie du sol dans la pratique

Mesure de l'activité biologique du site de suivi à long terme « Oberacker » par la méthode bait-lamina

Sophie Campiche,

Émilie Grand, Caroline Gachet Aquillon, Nadzeya Homazava,

Étienne Vermeirssen, Inge Werner, Benoît J.D. Ferrari

Centre suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL (Centre Ecotox), Lausanne
sophie.campiche@centreecotox.ch

Claudia Maurer, Andreas Chervet, Wolfgang G. Sturny

Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne, Protection des sols, Zollikofen

Rodolphe Schlaepfer

École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Laboratoire des systèmes écologiques (ECOS), Lausanne ; Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Lausanne

Introduction

Les organismes édaphiques jouent un rôle primordial dans la fertilité des sols, intervenant dans de nombreux processus et fonctions essentiels comme la décomposition de la matière organique, le recyclage des nutriments ou la formation et le maintien de la structure du sol. Les atteintes physiques ou chimiques faites au sol ont un impact direct sur les organismes du sol. L'utilisation de méthodes en lien avec les organismes pour identifier et quantifier ces perturbations dans une démarche de bioindication représente donc un avantage pour évaluer la qualité des sols.

Parmi les outils existants permettant de suivre les paramètres biologiques et écologiques des organismes, le test bait-lamina est une méthode simple permettant de mesurer *in situ* l'aspect fonctionnel de l'écosystème sol. L'activité alimentaire (activité biologique) des organismes édaphiques tels que vers de terre, enchytraeïdes, collemboles et acariens, est évaluée au niveau communautaire en mesurant la disparition d'une série d'appâts organiques (« bait ») enchâssés dans de petits bâtonnets de PVC insérés verticalement dans le sol (von Törne, 1990 ; Kratz, 1998). La méthode peut être utilisée pour évaluer les effets des

produits chimiques sur le sol, entre sites contaminés et sites de référence par exemple, mais également pour surveiller à long terme la qualité biologique des sols. Une norme internationale ISO est en cours d'élaboration (ISO, 2015). Dans la majorité des cas, on observe une diminution de l'activité alimentaire des organismes en réponse aux perturbations anthropiques (pollution, tassement, érosion) faites au sol (Kula & Römbke, 1998 ; Filzek et al., 2004). Cependant, un certain nombre d'autres facteurs abiotiques comme les caractéristiques du sol ou le climat, viennent également influencer la réponse bait-lamina. La température et le taux d'humidité du sol sont par exemple deux facteurs connus pour avoir une forte incidence sur l'activité des organismes (Larink & Kratz, 1994), faisant aussi varier la réponse du test et compliquant ainsi l'interprétation des résultats.

L'influence des facteurs abiotiques reste encore mal caractérisée et peu de données sont disponibles à ce sujet.

Dans ce projet, la méthode bait-lamina a été utilisée sur les parcelles de suivi à long terme « Oberacker » à l'Inforama Rütli de Zollikofen dans le canton de Berne, afin de comparer l'activité biologique des organismes

du sol pour différentes cultures en semis direct, avec et sans application de glyphosate et pour deux types de fumure, tout en intégrant le taux d'humidité du sol afin de caractériser la variabilité de la réponse du test.

Matériel et méthode

Activité biologique : les expériences bait-lamina réalisées sur les parcelles « Oberacker » ont été menées en 2011 sur des cultures de maïs (printemps, avant et après semis) et d'orge d'automne (été-automne, après semis). Chacune des cultures a reçu pour moitié un apport de fumure conventionnelle DBF-GCH (= données de base

pour la fumure des grandes cultures et des herbages) (Sinaj et al., 2009) et pour l'autre moitié de la culture, une fumure équilibrée Kinsey (Kinsey & Walters, 2014), cela avec ou sans application de glyphosate (Toxer Total®, 360 g/l de substance active (s.a.)). Pour chaque culture, l'activité alimentaire des organismes du sol a été mesurée deux fois, soit immédiatement après, soit plusieurs semaines après l'application du glyphosate à la dose d'application en champ de 5 l/ha (soit 1800 g s.a./ha), pour un total de quatre expériences. La fig. 10 résume les expériences et traitements réalisés.

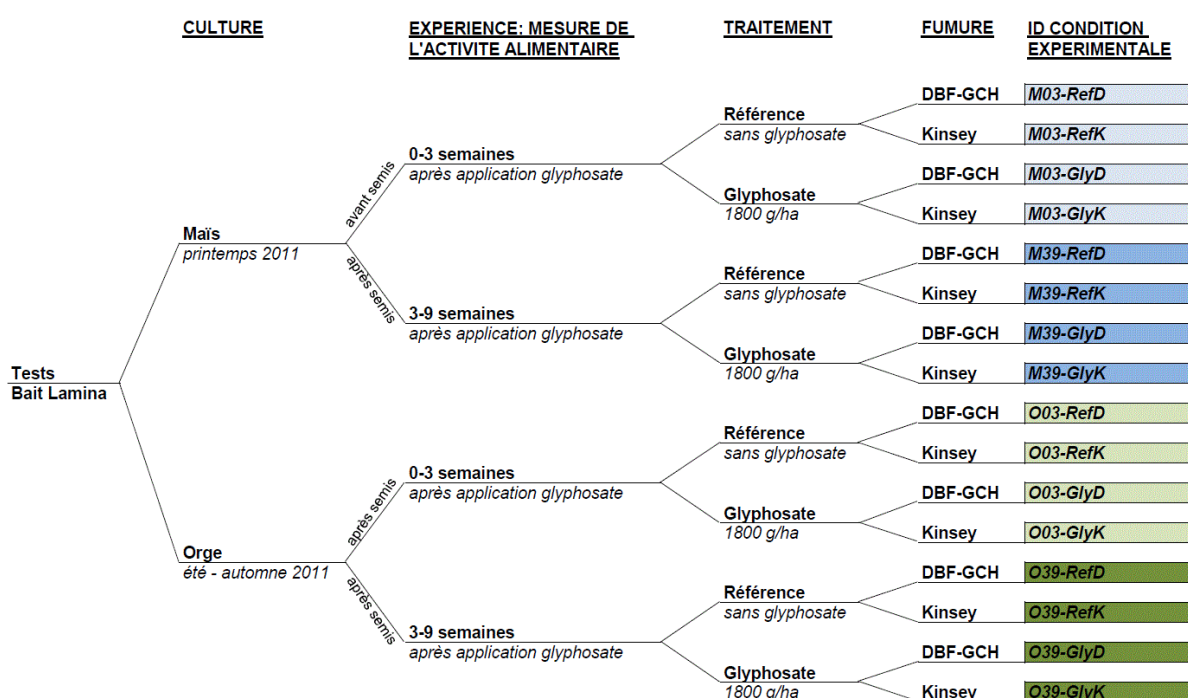


Figure 10 : Expériences bait-lamina réalisées au cours de l'année 2011 sur les parcelles « Oberacker » à l'Infra-rama Rütli de Zollikofen pour mesurer l'activité alimentaire des organismes du sol dans des cultures de maïs et d'orge d'automne pour différents traitements herbicide et fumure. Pour chaque culture, l'activité alimentaire a été mesurée une première fois dans les trois premières semaines suivant l'application du glyphosate ("03") puis une deuxième fois, plus de trois semaines après son application ("39").

Les parcelles « Oberacker » se composent d'un sol brun profond de type limon sableux faiblement humique (Chervet et al., 2001). Les bait-lamina utilisés pour la mesure de l'activité alimentaire ont été fournis par Terra Protecta GmbH, Berlin, Allemagne (www.terra-protecta.de). Les bâtonnets de PVC mesurant 16 cm de long et perforés de 16 trous chacun, ont été remplis d'un mélange composé de cellulose, son de blé et charbon actif (70:27:3 %). Les bait-lamina

ont été insérés verticalement dans le sol et laissés en place entre une et trois semaines, en raison des différents travaux agricoles à réaliser sur les parcelles. Un total de 64 bait-lamina, soit quatre blocs (ou réplicats) de 16 bait-lamina disposés sur une surface de 30x30 cm, ont été utilisés pour chaque condition expérimentale (fig. 11). À la fin de l'essai, l'activité alimentaire a été évaluée en quantifiant le nombre d'ouvertures vides par bâtonnet, c'est-à-dire

le nombre d'appâts organiques consommés par les organismes du sol. L'activité alimentaire est exprimée en pourcentage d'appâts perforés. Une activité alimentaire atteint 100 % si tous les appâts d'un bâtonnet ont été consommés. L'activité alimentaire globale (AAG) des 64 bait-lamina par traitement ainsi que le profil de distribution de l'activité alimentaire (PDAA) sur les huit premiers centimètres de profondeur de sol ont été comparés entre les différents traitements et expériences. Au final, les activités alimentaires moyennes globales journalières (AAGj) et le profil de distribution journalier (PDAAj) ont été reportés pour permettre la comparaison des différentes expériences.

Paramètres physico-chimiques : en parallèle à la réponse bait-lamina et pour chaque condition expérimentale, des échantillons composites de sol prélevés sur 10 cm de profondeur ont été collectés afin de mesurer les différents paramètres physico-chimiques du sol, en particulier le taux d'humidité (méthode gravimétrique, 105 °C) et les concentrations en glyphosate. Les résidus de glyphosate présents dans les échantillons de sol ont été analysés selon la méthode mise au point par Ibanez et al. (2005). Pour résumer, les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre (20 °C) pendant 96 h, puis tamisés à 2 mm avant leur extraction avec du KOH 0.6 M et leur dérivatisation au chlorure de fluorenylméthoxycarbonyl (FMOC-Cl) dans un tampon de borate. La détection a été réalisée en chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem avec ionisation par électrospray (LC-MS/MS).



Figure 11: Bâtonnets bait-lamina insérés verticalement dans le sol pour la mesure de l'activité biologique des organismes présents dans les huit premiers centimètres de sol, dans des cultures de maïs (a) et d'orge d'automne (b).

Résultats et discussion

Concentration de glyphosate dans le sol :

les analyses chimiques ont montré la présence de glyphosate dans les échantillons de sols collectés sur les sites traités avec l'herbicide pour les cultures de maïs et d'orge, et également, mais dans une moindre mesure, pour les sites non traités. La fig. 12 montre les concentrations en glyphosate analysées dans les échantillons de sols. La concentration maximale de glyphosate (substance active) a été mesurée pour la culture de maïs, dans les échantillons des sites traités, collectés quelques heures après l'application de l'herbicide, avec des concentrations de 1,6 mg/kg de matière sèche (m.s.) de sol pour le site M-GlyK (voir fig. 10 pour le code) et de 1,2 mg/kg (m.s.)

pour le site M-GlyD (fig. 12a). 39 jours après l'application du glyphosate, ces concentrations avaient diminué de moitié pour atteindre des valeurs d'environ 0,7 mg/kg (m.s.) pour les deux sites. Le temps de demi-vie (DT50) moyen du glyphosate dans les sols en conditions de champ a été estimé entre 3 et 174 jours (Tomlin, 2000), et les résultats obtenus sont donc en accord avec ces données. Pour l'orge, des concentrations en glyphosate plus faibles que pour le maïs, de l'ordre de 0,4 mg/kg (m.s.), ont été mesurées dans les échantillons collectés un jour après application de l'herbicide pour les sites traités (fig. 12 b). Cela pourrait s'expliquer par la présence d'un paillage féverole plus important pour la culture d'orge que pour la culture de maïs, qui aurait pu favoriser l'interception de l'herbicide. On constate également que les concentrations en glyphosate mesurées dans le sol juste après l'application se situent dans la plage des « concentrations initiales prédites dans l'environnement » (PECi) estimées entre 0,3 et 2,4 mg s.a./kg (m.s.) et calculées à partir du modèle FOCUS (Forum for

the coordination of pesticide fate models and their use) (FOCUS, 2006) après une seule application de l'herbicide.

Pour les sites de référence (non traités au glyphosate) de la culture de maïs et d'orge, de faibles quantités de glyphosate ont toutefois été mesurées dans les échantillons de sol avec des concentrations allant de 0,004 à 0,06 mg s.a./kg (m.s.) (fig. 12 a et b). Des applications antérieures de glyphosate pourraient en être la cause, bien qu'elles remontent à plus de deux ans pour les parcelles concernées. En effet, considérant la DT50 la plus élevée mentionnée pour le glyphosate, de faibles quantités de cet herbicide, de l'ordre de celles mesurées dans cette étude, pourraient être détectées après ce laps de temps. De plus, il a été démontré que des quantités de glyphosate correspondant à 0,08 % de la concentration initiale étaient encore détectables 27 mois après son application, ce qui, en l'occurrence, équivaldrait à une concentration proche de 0.001 mg/kg pour la plus forte des concentrations mesurées (Simonsen *et al.*, 2008).

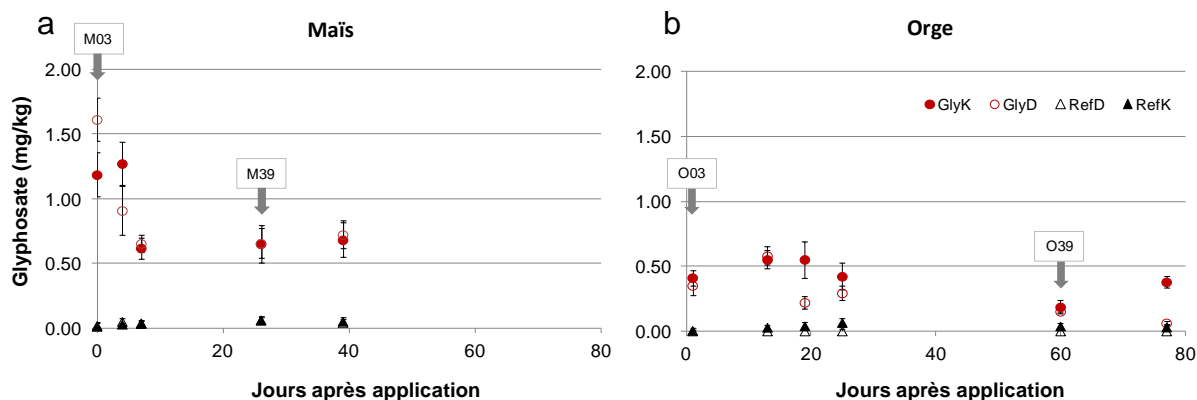


Figure 12: Concentrations en glyphosate (mg/kg de matière sèche ; moyenne \pm écart type) mesurées dans les échantillons de sol collectés juste après application et à différents moments après application pour les différentes conditions expérimentales. GlyK = site traité au glyphosate avec fumure Kinsey; GlyD = site traité au glyphosate avec fumure DBF-GCH; RefD = site de référence non traité, avec fumure DBF-GCH; RefK = site de référence non traité, avec fumure Kinsey. Le début des quatre expériences bait-lamina réalisées est indiqué par les flèches.

Pour d'autres organismes édaphiques comme par exemple *Eisenia fetida* (un ver de terre), *Hypoaspis aculeifer* (un acarien) et *Folsomia candida* (un collembole), aucun effet sur la reproduction en condition de la-

boratoire n'a été reporté pour des concentrations jusqu'à 473 mg/kg (m.s.) (glyphosate RAR, 2013). Les concentrations en glyphosate mesurées (MEC) dans les deux cultures sont donc dans notre cas large-

ment inférieurs aux valeurs de toxicité obtenues lors de ces essais conventionnels de laboratoire. Cependant, une diminution significative du nombre de juvéniles produits a été observée chez le ver de terre *Eisenia andrei* lors d'une étude exposant ce dernier à des échantillons de sols collectés sur terrain agricole pour des concentrations en glyphosate inférieures à 0.05 mg/kg (Casabé *et al.*, 2007) (fig. 12).

Activité alimentaire globale : une activité biologique des organismes du sol a été mesurée grâce à la méthode bait-lamina pour toutes les conditions expérimentales. Les résultats montrent de fortes disparités entre les quatre expériences réalisées. En effet, sur la totalité des expériences, l'AAGj (fig. 13) a varié entre 0,26 % (M39-RefK) et 5,44 % (M03-RefD). Ces deux valeurs ont été mesurées à quelques semaines d'intervalle pour la culture de maïs sur les sites de référence. La comparaison de l'activité alimentaire entre différentes périodes reste difficile, puisqu'elle dépend fortement des conditions climatiques et, plus particulièrement, du taux d'humidité et de la température du sol. Actuellement, il n'existe pas encore de valeurs de référence en relation avec les facteurs abiotiques, le type ou l'occupation du sol pour le test bait-lamina. Les taux d'activité obtenus sur les parcelles de l'Oberacker se situent cependant dans la plage des AAGj observées pour les terres arables dans d'autres études européennes (Graenitz & Bauer, 2000 ; Larink & Sommer, 2002)

Au cours des trois semaines suivant l'application du glyphosate et pour la même expérience, aucune différence significative de l'AAGj des organismes du sol n'a été observée entre les sites de référence et les sites ayant reçu l'herbicide, que ce soit pour la culture de maïs ou pour la culture d'orge (fig. 13 a et c). En revanche, trois à neuf semaines après l'application du glyphosate, des différences significatives d'activité alimentaire ont été observées entre sites traités et sites de référence pour les deux types

de cultures (fig. 13 b et d). Cependant, aucune cohérence entre les expériences n'a pu être trouvée. En effet, pour le maïs, des différences ont été observées pour la fumure Kinsey mais pas pour la fumure DBF-GCH, avec une proportion d'appâts consommés plus faible pour le site de référence que pour le site traité au glyphosate (fig. 13 b). Pour l'orge, l'inverse a été observé avec une activité alimentaire plus élevée pour le site de référence que pour le site traité à l'herbicide et, cette fois, pour la fumure DBF-GCH. Aucune différence d'activité alimentaire n'a été observée entre site traité et site non traité pour la fumure Kinsey (fig. 13 d). Par ailleurs, les concentrations mesurées en glyphosate (fig. 12) n'expliquent pas les différences d'activité alimentaire avec les autres conditions. L'ensemble des résultats souligne donc que d'autres facteurs ont pu masquer certains effets comme, par exemple, le taux d'humidité. D'autres études utilisant les bait-lamina pour la mesure de l'activité biologique des organismes exposés au glyphosate en milieu agricole ont montré les mêmes divergences d'activité biologique que cette étude, soit une diminution significative de l'activité alimentaire après environ sept semaines d'exposition (1440 g s.a./ha, culture de soja) (Casabé *et al.*, 2007), soit une augmentation significative entre huit et dix semaines après l'application de l'herbicide (1080 g s.a./ha, vignoble) (Reinecke *et al.*, 2002). En ce qui concerne les deux types de fumure testées, aucune différence significative des AAGj n'a été mesurée entre ces dernières pour une même expérience et ce dans les quatre cas.

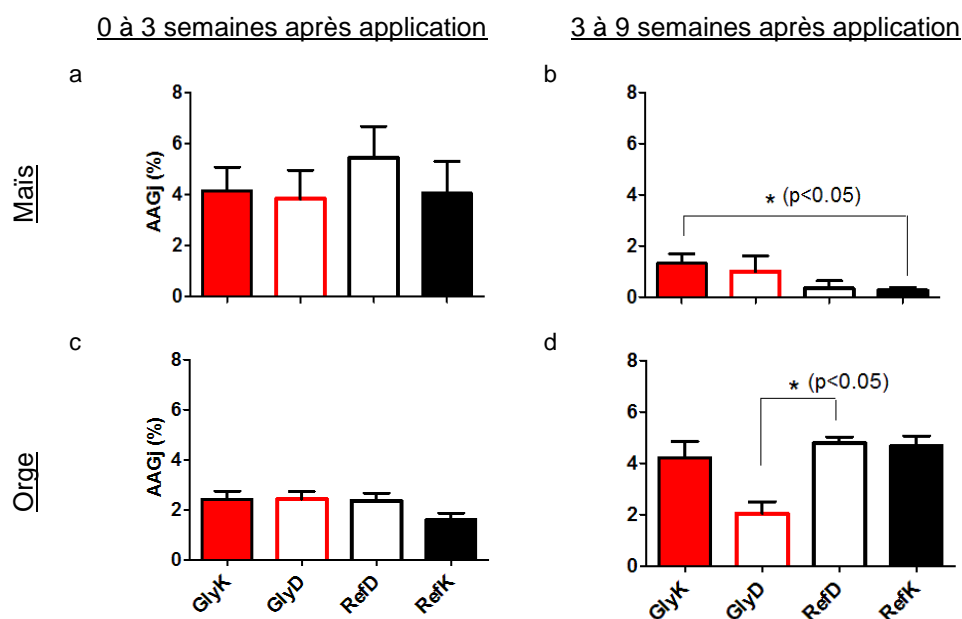


Figure 13: Activité alimentaire globale journalière (AAGj) des organismes du sol pour les quatre expériences bait-lamina réalisées (moyenne \pm écart type; n=64). a) Culture de maïs 0 à 3 semaines après l'application du glyphosate, b) Culture de maïs 3 à 9 semaines après application du glyphosate, c) culture d'orge d'automne 0 à 3 semaines après application du glyphosate, d) culture d'orge d'automne 3 à 9 semaines après application du glyphosate. GlyK = site traité au glyphosate (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l de substance active) avec fumure Kinsey; GlyD = site traité au glyphosate (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l de substance active) avec fumure DBF-GCH; RefD = site de référence non traité, avec fumure DBF-GCH; RefK = site de référence non traité, avec fumure Kinsey; *statistiquement différent, Kruskal-Wallis et test post hoc de Dunn.

Distribution de l'activité biologique : les profils de distribution de l'activité alimentaire des organismes dans les huit premiers centimètres du sol pour les différentes conditions expérimentales sont présentés à la fig. 14. Des profils d'activités verticaux ont été observés pour toutes les expériences, à l'exception de celle concernant le maïs immédiatement après application de glyphosate (M03), traduisant une activité alimentaire comparable des organismes dans les couches supérieures et inférieures de sol (fig. 14 b, c et d) et ce, quel que soit le traitement ou le type de fumure. En revanche, pour l'expérience M03, l'activité alimentaire des organismes du sol était plus élevée dans les couches supérieures (7,5 % en moyenne entre 0,5 et 1,5 cm) par rapport aux couches profondes (2,6 % entre 7 et 8 cm) (fig. 14 a). Ce profil en hyperbole est considéré comme le profil caractéristique de l'activité alimentaire des organismes dans les huit premiers centimètres de sol et est

reporté dans de nombreuses études (Grae-nitz & Bauer, 2000 ; Filzek et al., 2004; Römbke et al, 2006). Un changement de profil semble indiquer des perturbations faites au sol et est souvent associé à une activité biologique réduite (Sturm et al., 2002 ; Filzek et al., 2004). La première expérience bait-lamina réalisée (M03 ; fig. 14 a) est la seule des quatre expériences effectuées pour laquelle aucuns travaux en champs (c. à d. moisson, semis ou labour de la parcelle adjacente), hormis fertilisation de la parcelle, n'ont été exécutés dans les six mois précédant le test. De plus, pour cette expérience, un taux d'humidité légèrement plus élevé a été mesuré dans les couches supérieures de sol (0 à 5 cm) comparé aux couches plus profondes (5 à 10 cm), ce qui n'était pas le cas pour les autres expériences. L'engrais vert en décomposition sur les sites M03 aurait également pu favoriser un apport de matière organique plus important que pour les autres expériences réalisées.

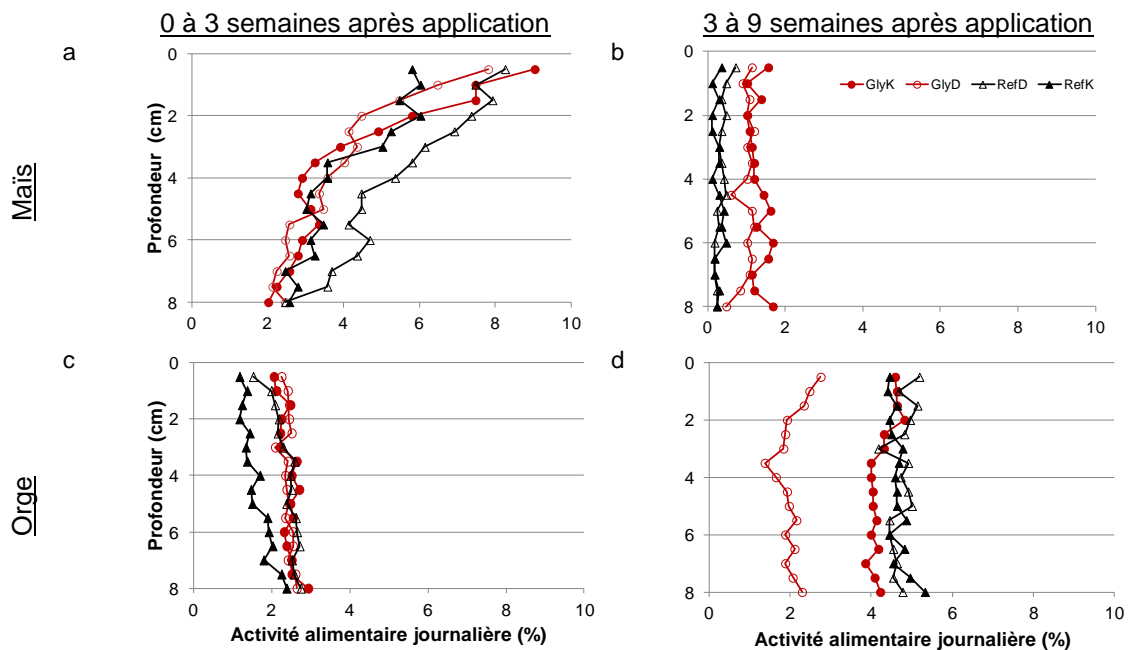


Figure 14: Profil de l'activité alimentaire journalière des organismes dans les huit premiers centimètres de sol pour les différentes conditions expérimentales. Les valeurs représentent la moyenne de l'activité alimentaire de 64 bait-lamina pour chaque profondeur (les écarts-type ne sont pas représentés pour de ne pas surcharger la figure). a) Culture de maïs 0 à 3 semaines après l'application du glyphosate, b) Culture de maïs 3 à 9 semaines après application du glyphosate, c) culture d'orge d'automne 0 à 3 semaines après application du glyphosate, d) culture d'orge d'automne 3 à 9 semaines après application du glyphosate. GlyK = site traité au glyphosate (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l de substance active) avec fumure Kinsey; GlyD = site traité au glyphosate (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l de substance active) avec fumure DBF-GCH; RefD = site de référence non traité, avec fumure DBF-GCH; RefK = site de référence non traité, avec fumure Kinsey

Influence du taux d'humidité: de fortes disparités ont été observées dans le taux d'humidité du sol entre les différentes conditions expérimentales, avec des valeurs mesurées entre 9 et 25 %. Ce facteur étant également à même d'influencer l'activité alimentaire des organismes édaphiques, ces valeurs ont donc été intégrées aux résultats de l'activité alimentaire obtenus. La relation entre ces deux paramètres est présentée à la fig. 15. Une corrélation positive est observée : l'AAGj des organismes augmente sensiblement avec des taux d'humidité du sol plus élevés, ce qui est en accord avec d'autres études de mesure de l'activité biologique réalisée avec la méthode bait-lamina (Larink, 1993 ; Filzek et al., 2004 ; Simpson et al. ; 2012). Une diminution de l'activité des organismes édaphiques est en effet généralement observée dans des conditions d'humidité défavorables, une humidité du sol réduite ayant des effets négatifs significatifs sur l'abondance des organismes épigés et

endogés par exemple (Eggleton et al., 2009).

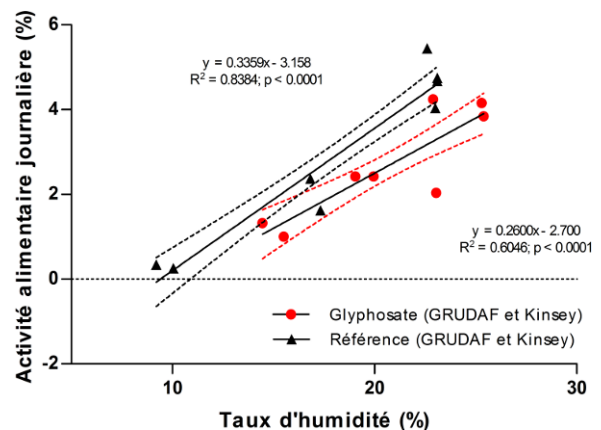


Figure 15: Relation entre le taux d'humidité du sol et l'activité alimentaire journalière des organismes du sol pour les sites de référence sans herbicide (triangles noirs) et pour les sites ayant reçu une application de glyphosate (cercles rouges) (moyennes avec n = 64 pour l'activité alimentaire et n = 3 pour l'humidité). Les lignes en pointillés représentent l'intervalle de confiance à 95 % des régressions linéaires.

Lorsque le taux d'humidité du sol est pris en considération pour comparer l'activité alimentaire entre sites traités et non traités, on observe alors pour le glyphosate une tendance à diminuer l'activité biologique des organismes du sol, à des taux d'humidité supérieurs à 15 % (fig. 15).

Conclusion et perspectives

La méthode bait-lamina est une méthode rapide et simple permettant une première appréciation de l'activité biologique des organismes du sol. Elle permet non seulement une évaluation globale, mais aussi la mesure du profil de l'activité alimentaire sur une profondeur de 10 cm environ, ce qui fournit généralement des compléments d'informations pertinents sur les atteintes faites au sol. Dans cette étude, les parcelles de l'Oberacker étudiées ont montré des activités biologiques assez diverses, en partie liées à la variabilité temporelle et aux facteurs environnementaux (taux d'humidité du sol) mais également liées à l'herbicide appliqué. La calibration de la réponse des tests *in situ* en fonction des paramètres environnementaux permet une meilleure interprétation de la réponse biologique et améliore la capacité de faire la distinction entre les effets anthropiques et les conditions environnementales. À l'avenir, des expériences additionnelles visant à caractériser plus en détail l'influence du taux d'humidité sur la réponse bait-lamina devraient être réalisées afin de mieux cerner cette variabilité pour corroborer l'issue du test.

La toxicité potentielle du glyphosate et d'autres substances devrait également être évaluée de manière plus approfondie dans ce contexte. En effet, le comportement du glyphosate dans le sol, en fonction du taux d'humidité et de la température par exemple, reste encore mal connu, ce qui pourrait également avoir un impact sur les organismes du sol.

Bibliographie

- Casabé, N., Piola, L., Fuchs, J., Oneto, M. L., Pamparato, L., Basack, S., Giménez, R., Massaro, R., Papa, J. C., Kesten, E. (2007). Ecotoxicological Assessment of the Effects of Glyphosate and Chlorpyrifos in an Argentine Soya Field. *Journal of Soils and Sediments* 7 (4) 232-239.
- Chervet, A., Maurer, C., Sturny, W. G., Müller, M. (2001). Pratique du semis direct en grandes cultures : effets sur la structure du sol. *Revue suisse d'agriculture* 33(1) : 15-19.
- Eggleton P., Inward K., Smith J., Jones D., Sherlock E. (2009). A six year study of earthworm (lumbriidae) populations in pasture woodland in southern England shows their responses to soil temperature and soil moisture. *Soil Biology & Biochemistry* 41(9): 1857-1865.
- Filzek, P. D. B., Spurgeon, D. J., Broll, G., Svendsen, C., Hankard, P. K., Parekh, N., Stubberud, H. E., Weeks, J. M. (2004). Metal effects on soil invertebrate feeding: Measurements using the bait lamina method. *Ecotoxicology*, 13, 807-816.
- FOCUS. (2006). Guidance Document on Estimating Persistence and Degradation Kinetics from Environmental Fate Studies on Pesticides in EU Registration. The Final Report of the Work Group on Degradation Kinetics of FOCUS.
- Glyphosate RAR. (2013). Renewal Assessment Report. Volume 3. Annex B.9 "Ecotoxicology". Rapporteur Member State assessment reports submitted for the EU peer review of active substances used in plant protection products. European Food Safety Authority.
- Graenitz, J., Bauer, R., (2000). The effect of fertilization and crop rotation on biological activity in a 90 year long-term experiment. *Die Bodenkultur - Journal for Land Management, Food and Environment*, 51(2), 99-105.
- Ibanez, M., Pozo, O., Sancho, J. V., Lopez, F., Hernandez, F. (2005). Residue determination of glyphosate, glufosinate and aminomethylphosphonic acid in water and soil samples by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1081, 145-155.
- ISO (2015). International Organisation for Standardisation. Soil quality -- Method for testing effects of soil contaminants on the feeding activity of soil dwelling organisms -- Bait-lamina test. ISO/FDIS 18311. Geneva, Switzerland.
- Kinsey, N., Walters C. (2014). Neal Kinseys Hands-on Agronomy. Der etwas andere Blick auf Bodenfruchtbarkeit und Düngung. Bayer Handelsvertretung, York-Th. Bayer, Berlin.
- Kratz, W. (1998). The Bait-Lamina Test - General Aspects, Applications and Perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 5, 94-96.

- Kula, C., Römbke, J. (1998). Evaluation of soil ecotoxicity test with functional endpoints for risk assessment of plant protection products: State of the art. *Environmental Science and Pollution Research*, 5, 94-96.
- Larink, O. (1993). Bait lamina as a tool for testing the feeding activity of animals in contaminated soils. In Donker, M.H., Eijsackers, H. and F. Heimbach, F. (eds): *Ecotoxicology of Soil Organisms*, pp. 339–345. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Larink, O., Kratz, W. (1994). Bait lamina workshop in Braunschweig - a summing up. *Braunschweiger Naturkundliche Schriften*, 4, 647-651.
- Larink, O., Sommer, R. (2002). Influence of coated seeds on soil organisms tested with bait lamina. *European Journal of Soil Biology* 38, 287-290.
- Reinecke, A. J., Helling, B., Louw, K., Fourie, J., Reinecke, S. A. (2002). The impact of different herbicides and cover crops on soil biological activity in vineyards in the Western Cape, South Africa. *Pedobiologia* 46, 475-484.
- Römbke, J., Höfer, H., Garcia, M. V. B., Martius, C. (2006). Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in Central Amazonia using the bait lamina method. *Journal of Tropical Ecology*, 22:313-320.
- Simonsen, L., Fomsgaard, I. E., Svensmark, B., Spliid, N. H. (2008). Fate and availability of glyphosate and AMPA in agricultural soil. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 43, 365-375.
- Simpson, J. E., Slade, E., Riutta, T., Taylor, M. E. (2012). Factors Affecting Soil Fauna Feeding Activity in a Fragmented Lowland Temperate Deciduous Woodland. *PLoS ONE* 7(1): e29616. doi:10.1371/journal.pone.0029616.
- Sinaj, S., Richner, W., Flisch, R., Charles, R. (2009). Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). *Revue suisse d'agriculture* 41(1), 1-98
- Sturm, J. R. M., Sturm, M., Eisenbeis, G. (2002). Recovery of the biological activity in a vineyard soil after landscape redesign: A three-year study using the bait lamina method. *Vitis* 41(1), 43-45.
- Tomlin CDS, editor (2000). *The pesticide manual: a world compendium*. 12th ed. Croydon: British Crop Protection Council.
- Von Törne, E. (1990). Assessing feeding activity of soil-living animals. *Pedobiologia*, 34, 89-101.

Influence de l'introduction d'une population de vers de terre sur un sol reconstitué dépourvu d'horizon A

Gerhard Hasinger

bio-conseil.ch sàrl, Pringy

g.hasinger@bio-conseil.ch

Roxane Kohler-Milleret, Séverine Didier

Claire Le Bayon

Université de Neuchâtel, Laboratoire d'écologie fonctionnelle

claire.lebayon@unine.ch

Introduction

Le sol est une ressource rare et très convoitée en Suisse, qui est un pays très densément peuplé et doté d'une infrastructure très développée. L'homme intervient de plus en plus sur la couverture pédologique du pays, soit par un bétonnage définitif pour les routes, l'industrie et l'habitat, soit par un décapage temporaire de courte durée (installation des conduites pour le gaz, l'eau, les fibres optiques, etc.) ou de longue durée (exploitation du sous-sol, gravière, etc.). La pollution par des substances (voir le cas récent d'une pollution importante au mercure en Valais) peut nécessiter le décapage du sol afin de traiter ou éliminer la couche superficielle. La couverture pédologique est par conséquent endommagée de manière plus ou moins réversible.

Dans ce contexte, plusieurs questions se sont posées :

- Combien de temps est nécessaire pour qu'une telle atteinte au sol soit résorbée ?
- Quels facteurs influencent ce processus de résilience et comment ?
- Par quels moyens peut-on favoriser la revitalisation du système ?

Ces questions ont été étudiées en partie entre 2005 et 2010, dans une ancienne gravière exploitée par l'entreprise Toggenburger SA, dans la région de Winterthur. Cette gravière avait été comblée avec du matériel issu d'un horizon B de sol brun, mais sans apport d'horizon de surface A.

L'objectif principal du travail a consisté en une biostimulation, à savoir une introduction de vers de terre, associée à un apport de matériaux organiques, afin de favoriser la reconstitution d'un horizon A. L'hypothèse majeure gouvernant cette recherche est que les lombriciens, en tant qu'ingénieurs de l'écosystème responsables de la bioturbation, accélèrent la création d'un horizon A, grâce à l'incorporation de matière organique et à la fabrication d'agrégats et de galeries.

Quatre questions ont été posées :

- Q1 : Les lombriciens introduits sur une surface dépourvue d'horizon A sont-ils susceptibles de survivre ?
- Q2 : S'ils survivent, les lombriciens se dispersent-ils et colonisent-ils les alentours des zones d'inoculation ?
- Q3 : Le succès de la colonisation dépend-il de l'effort d'inoculation, à savoir des taux de 2 % ou 4 % de la surface ?
- Q4 : Les lombriciens sont-ils capables de former un horizon A et d'améliorer ainsi la fertilité du sol ?

Matériel et méthodes

Situation et historique : la parcelle « Grosacker » se situe dans la commune de Stadel, à proximité de Winterthur dans le canton de Zürich (CH-8404; 700380/265380; fig. 16). Elle est entourée sur trois côtés par des champs agricoles et sur un côté par une bordure d'autoroute. La surface totale est d'environ 1,1 ha.



Figure 16: La parcelle Grossacker, commune de Stadel (ZH).

Tableau 4: Historique des cultures et des interventions entre 1984 et 2012.

Périodes	Mode de culture et/ou expérimentation
1984 à 2004	Exploitation du site comme gravière par l'entreprise Toggenburger SA
Été 2005	Épandage du matériel de l'horizon B d'un sol brun puis épandage de 66 tonnes de compost. La parcelle est ensémençée avec le mélange Dormal de OH. Deux fouchages par an sont effectuées et le matériel végétal est laissé sur place.
Été 2006	Visite de reconnaissance en vue de l'installation de l'essai.
Mai 2007	Étude et préparation du terrain. Introduction des 2640 lombriciens.
2007-2010	Suivi expérimental : populations de lombriciens, la végétation et le sol
Octobre 2011	Semis du blé d'automne. La parcelle a été rendue à l'agriculteur.
Juillet 2012	Battage du blé.

Protocole expérimental : la parcelle a été divisée en neuf sous-parcelles de 25×15 m (fig. 17). V1, V2 désignent les différents efforts d'inoculation de lombriciens, respectivement 4 % et 2 %, alors que T désigne le témoin, sans inoculation de lombriciens. Pour chaque traitement, trois répétitions (a, b et c) sont réalisées. Chacune des neuf sous-parcelles est elle-même divisée en 3×5 carrés repérés spatialement en coordonnées (Cx,y) de dimension 5×5 m. Chaque carré a été divisé de manière plus

fine en 25 éléments (Ex,y) de 1×1m. La codification de l'élément central E3,3 qui sera inoculé est « ci ».

Expérience de biostimulation: un total de 66 éléments (ci), situés au centre d'un carré, ont été excavés sur une profondeur de 20 cm. Une couche de mulch a été insérée suivie de terre végétale pour remplir la cavité. Des lombriciens, préalablement extraits d'une prairie voisine selon la méthode de Lawrence & Bowers (2002) ont été introduits. Une classification en deux catégories écologiques, endogés et anéciques, a été effectuée *de visu*. Un total de 40 vers de terre (4 anéciques et 36 endogés) a été introduit sur chacun des 66 éléments ci (fig. 18, 19, 20). Selon la modalité de traitements, l'effort d'inoculation a été de respectivement 4 % et 2 % de la surface pour les sous-parcelles V1 et V2.

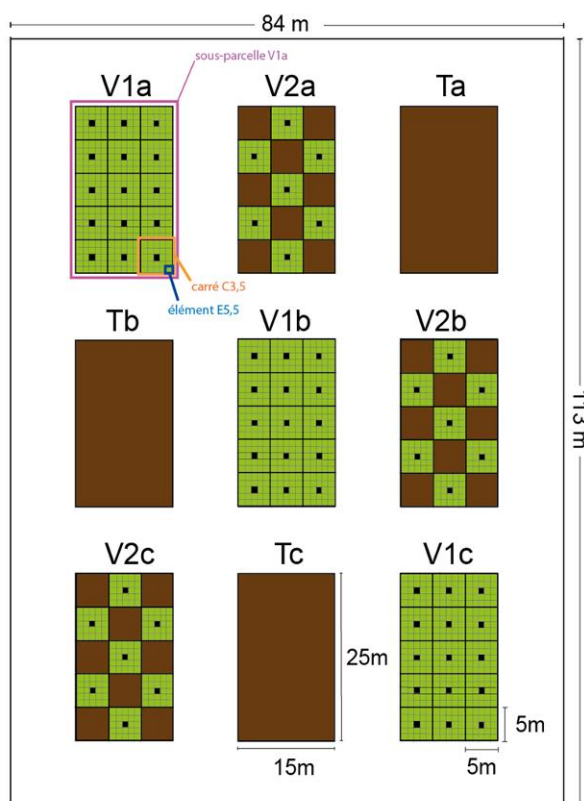


Figure 17: Division de la parcelle et les différents traitements avec réplicats a, b, c. Les points aux centres des carrés (ci) en noir représentent les lieux d'inoculation des lombriciens.



Figure 18: Identification visuelle et répartition des lombriciens. Chaque cuvette contient 40 individus.



Figure 19: Les cuvettes sont distribuées aux points d'inoculation ci.



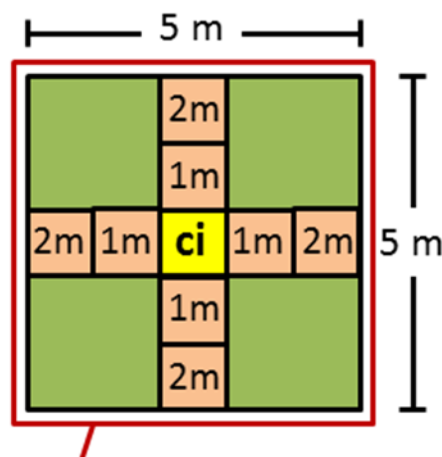
Figure 20: Inoculation des lombriciens.

Suivis effectués

Suivi 1 : pour répondre à la question posée Q1, à savoir si les lombriciens introduits sur une surface dépourvue d'horizon A sont capables de survivre, un suivi des turricules (déjections de surface) a été effectué afin d'évaluer l'activité des vers de terre. Pour considérer le maximum d'occurrences, le

choix s'est porté sur la modalité V1. Ainsi, les turricules ont été observés et comptabilisés dans les ci des sous-parcelles V1a, V1b, et V1c.

Suivi 2 : pour répondre à la question posée Q2 sur la dispersion et la colonisation des lombriciens des alentours des zones d'inoculation (ci), une extraction de vers de terre a été faite à deux reprises durant la période de l'essai, à savoir en 2008 et 2010 selon la méthode de Lawrence & Bowers (2002). Cette extraction a été réalisée en prenant en compte la dispersion de chaque côté du carré d'inoculation initial (fig. 21). L'abondance et la biomasse totales des individus ont été déterminées. En 2008, les vers de terre extraits ont été réintroduits immédiatement alors qu'en 2010, ils ont été fixés dans une solution de formol à 4 % afin de déterminer les différentes espèces dans un second temps au laboratoire. Ce suivi 2 a été réalisé au sein des neuf éléments (fig. 21) des carrés centraux des sous-parcelles V2a, V2b, V2c.



Carré $C_{2,3}$ des sous-parcelles V_{2a} , V_{2b} , ou V_{2c} .

Figure 21: Protocole d'extraction des lombriciens pour le suivi 2. Le point d'inoculation de vers de terre est situé au centre (ci).

Suivi 3 : s'agissant de la relation entre le succès de colonisation et l'effort d'inoculation (Q3), l'abondance et la biomasse des lombriciens ont été quantifiées en fonction des différents traitements V1, V2 et T. Dans

chacune des neuf sous-parcelles, deux éléments ont été choisis. Un protocole identique au suivi 2 a été appliqué. De plus, un mini-profil du sol a été défini afin de déterminer et de caractériser la présence éventuelle d'un horizon A (Q4). En complément, des échantillons de sol ont été prélevés pour des analyses physicochimiques au laboratoire (pH_{KCl} et pH_{H₂O}, granulométrie, perte au feu (PAF), stabilité structurale, ratio C/N, CEC).

Résultats et discussion

État de la parcelle avant l'introduction des lombriciens : le sol de la parcelle est un sol brun sur moraine (BRUNISOL ; AFES, 2009) présentant uniquement un horizon B contenant environ 30 % d'argile et de pH 7. La proportion de squelette est très importante et seuls les quatre premiers centimètres sont meubles. Le reste du profil est très compact avec des agrégats polyédriques. La répartition de la matière organique est hétérogène, car la plupart du temps juxtaposée à la matrice minérale. La présence de lombriciens sur le terrain a été détectée en constatant quelques déjections de surface, les turricules, toutefois très disparates. En mai 2007, trois prélèvements préliminaires de lombriciens, au hasard sur la parcelle et sur une surface totale de 3 m², ont permis de mettre en évidence la présence de respectivement 49, 6 et 1 individus au sein des sous-parcelles V1a, V1b et V1c.

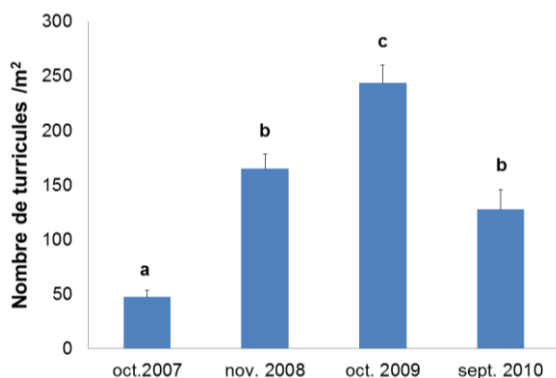


Figure 22: Évolution de l'abondance de turricules par mètre carré dans le traitement V1 (V1a, V1b et V1c). Les lettres a, b, et c indiquent les différences statistiques.

Suivi 1 : survie de la macrofaune lombricienne : l'activité des vers de terre, quantifiée par les turricules indique une croissance régulière de 2007 à 2009, avec un maximum de production moyenne atteignant 244 turricules/m² en 2009 (fig. 22). Ainsi, il apparaît que les lombriciens inoculés ont survécu grâce notamment aux mesures accompagnant l'inoculation (apport de matière organique, non-labour, semis). En 2010, une baisse du nombre moyen de turricules est observée sur les mêmes plaquettes, probablement due à un été particulièrement sec, surtout les semaines précédant l'observation. En effet, comme l'activité des lombriciens est intimement liée aux conditions environnementales, l'absence de précipitations sur une période de plusieurs semaines ralentit l'activité des individus qui tendent à entrer en période de quiescence avant le retour de conditions favorables.

Suivi 2 : dispersion des lombriciens : un an après l'introduction de 40 lombriciens, l'abondance recensée est de 448 individus/m² dans le ci. Entre 2008 et 2010, la dispersion des individus a été relativement homogène depuis le centre d'inoculation (ci) sur l'ensemble de la surface (25 m²), que ce soit en 2008 ou en 2010 (fig. 23). Toutefois, il ne s'agit que de tendances car les différences ne sont pas significatives entre le ci et les prélèvements distants de 1 et 2 m. S'agissant des biomasses moyennes, elles varient peu (données non publiées). En 2010, l'abondance de lombriciens est plus faible dans le ci avec 255 individus/m². Cette baisse peut s'expliquer notamment par la disparition des vers de terre épigés (données non publiées). En retirant les individus épigés des données de 2008, l'abondance totale atteint 134 individus/m² ; dans ces conditions, on constate non pas une baisse d'effectifs mais au contraire une hausse.

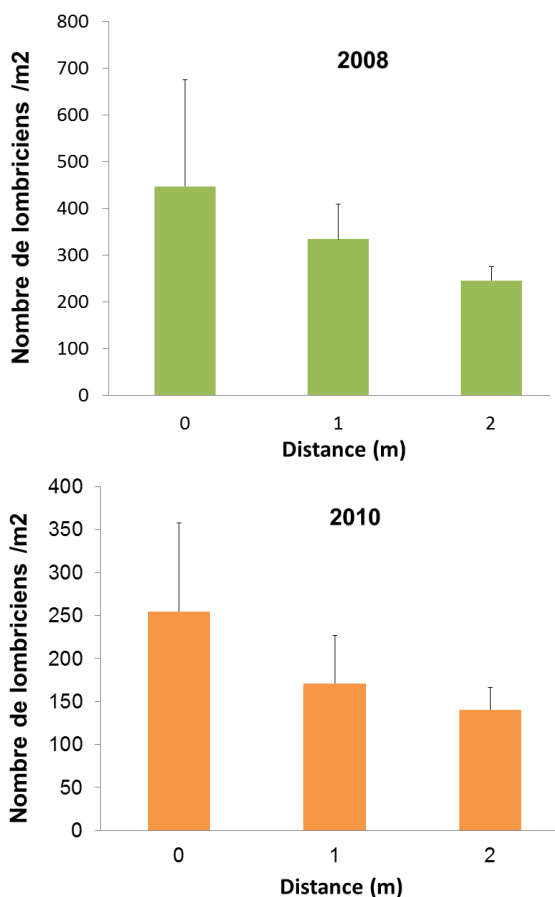


Figure 23: Abondance des lombriciens au mètre carré en fonction de la distance au ci (point 0 m), en 2008 et 2010.

Suivi 3 : abondance et biomasse des lombriciens selon les traitements V1, V2 et T : Sur l'ensemble des 18 prélèvements effectués en 2008 et 2010, et répartis sur l'ensemble de la parcelle (V1, V2 et T), l'abondance moyenne de lombriciens est de respectivement 249 et 87 individus/m². En omettant la proportion des vers de terre épi-gés en 2008, catégorie écologique ayant pratiquement disparu en 2010, l'abondance moyenne sur la parcelle affiche 75 individus/m² (tab. 5).

Tableau 5: Abondance moyenne de vers de terre par traitement en 2008 et 2010. Les valeurs en italique ne tiennent pas compte des vers de terre épi-gés.

Traitement	V1	V2	T
Année	Abondance des individus/m ²		
2008	221/66	242/73	283/85
2010	37	110	113

Les valeurs obtenues ne sont pas très différentes au regard de l'inoculation et laissent

à penser que l'introduction de lombriciens s'est accompagnée d'une colonisation naturelle de la parcelle expérimentale depuis les parcelles avoisinantes. En effet, aucune des sous-parcelles étudiées n'était clôturée en surface ou en profondeur dans le sol. Par conséquent, il est impossible d'évaluer l'importance relative des deux phénomènes, à savoir l'inoculation et/ou la migration de lombriciens.

Suivi 3 : mise en place d'un horizon A : les observations de terrain et les analyses de sol ont permis de mettre en évidence la formation d'un horizon A (fig. 24) d'une épaisseur moyenne de 6,8 cm. Ainsi, sur une période de cinq ans, un horizon A s'est formé grâce à l'action conjointe des racines des plantes et des lombriciens, véritables ingénieurs du sol.



Figure 24: Un des neuf profils de sol creusés en avril 2010. La limite inférieure de l'horizon A est mise en évidence sur la photo.

Conclusions et perspectives

L'expérience de biostimulation menée dans une ancienne gravière comblée par du matériel issu d'un horizon B, mais dépourvue d'horizon A, a permis de mettre en évidence plusieurs phénomènes. Les lombriciens introduits ont survécu et ont colonisé les surfaces adjacentes des points d'inoculation. En parallèle, des lombriciens provenant des parcelles voisines ont migré vers la parcelle expérimentale. La distinction entre l'impact de la biostimulation et la migration n'a pas pu être effectuée. À l'issue de l'expérience,

une abondance moyenne de 87 individus/m² a été constatée sur l'ensemble de la parcelle. Nous sommes d'avis que la migration est l'élément prépondérant qui est intervenu lors de la recolonisation de la surface étudiée. Par contre, le dispositif de l'essai expérimental ne permet pas de chiffrer précisément l'impact de la biostimulation ni celui de la migration.

En outre, et il s'agit d'un résultat probant pour cette première approche en Suisse, la formation d'un horizon A de 6,8 cm d'épaisseur a été observé, sur une période de cinq ans. Ce résultat encourageant doit toutefois être modéré et replacé dans le contexte particulier de la parcelle étudiée. Il reste à être confirmé dans d'autres situations afin de valider cet outil dans la reconstitution d'horizons organo-minéraux A.

De plus, certaines questions restent encore sans réponse :

- Quelle est l'importance relative de la migration de lombriciens ?
- Quelles sont les propriétés essentielles d'un horizon B permettant l'installation et le développement des lombriciens ?
- De quelle nature doit être la couverture végétale (recouvrement, ratio C/N), et comment doit-elle être gérée pour favoriser la mise en place des communautés lombriciennes et leur activité ?

Enfin, s'agissant de la productivité agricole, la parcelle a été rendue à l'agriculteur propriétaire en 2011. En octobre de la même année, elle a été ensemencée avec du blé d'automne, avec une récolte en juillet 2012. Le rendement en grains a représenté 80 % de la norme et le rendement en paille 75 % de la norme (communication personnelle de J. Weidmann). Ces résultats sont également très encourageants et confirment la relative « bonne santé » du sol.

Références

- Baker GH, Barrett VJ, Carter PJ, Williams PML, Buck-erfield JC – 1993. Seasonal changes in the abundance of earthworms (Annelida, Lumbricidae and Acanthodrilidae) in soils used for cereal and lucerne production in South Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 44, 6: 1291-1301.
- Baker GH, Brown G, Butt K, Curry JP, Scullion J – 2006. Introduced earthworms in agricultural and reclaimed land: their ecology and influences on soil properties, plant production and other soil biota. *Biological Invasions* 8, 6: 1301-1316.
- Blanchart E, Albrecht A, Chevalier T, Hartmann C – 2004. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). *Agriculture ecosystems & environment* 103, 2:343-355.
- Bouché MB – 1972. Lombriciens de France, écologie et systématique. Institut national de la recherche agronomique. *Annales de Zoologie-Écologie animale / numéro hors-série*, Paris. 671 pp
- Boyer S, Wratten SD – 2010. The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining – A review. *Basic and Applied Ecology* 11, 3: 196-203.
- Brevault T, Bikay S, Maldas JM, Naudin K – 2007. Impact of a no-till with mulch soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil Tillage Research* 97, 140-149.
- Buck C, Langmaack M, Schrader S – 2000. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Applied Soil Ecology* 14, 3:223-229.
- Butt KR, Frederickson J, Morris RM – 1997. The earthworm inoculation unit technique: An integrated system for cultivation and soil-inoculation of earthworms. *Soil Biology & Biochemistry* 29, 3-4: 251-257.
- Butt KR, Frederickson J, Lowe CN – 1999. Colonisation, survival and spread of earthworms on a partially restored landfill site. *Pedobiologia* 43, 6: 684-690.
- Capowiez Y, Cadoux S, Bouchand P, Roger-Estrade J, Richard G, Boizard H – 2009. Experimental evidence for the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 4: 711-717.
- Cuendet G, Suter E, Stähli R – 1997. Peuplements lombriciens des prairies permanentes du Plateau suisse. OFEFP, Cahier de l'environnement n°291.
- Davis CA, Austin JE, Buhl DA – 2006. Factors influencing soil invertebrate communities in riparian grasslands of the central Plate River floodplain. *Wetlands* 26, 2: 438-454.
- Derouard L, Tondoh J, Vilcosqui L, Lavelle P – 1997. Effects of earthworm introduction on soil processes and plant growth. *Soil Biology & Biochemistry* 29, 3-4: 541-545.
- Duval J – 1992. L'introduction de vers de terre dans une prairie. *Agrobio* 310 - 06.
- Edwards CA, Bohlen PJ – 1996. Biology and ecology of earthworms. Chapman & Hall, London, UK. pp.426.

- Eijsackers H – 2010. Earthworms as colonisers: Primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits. *Science of the Total Environment* 408, 8: 1759-1769.
- Gobat JM, Aragno M, Matthey W – 2010. *Le Sol vivant*. 3^e édition revue et augmentée. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse. pp 817.
- Hasinger G, Keller L, Marendaz E, Neyroud JA, Vökt U, Weisskopf P – 1993. *Le sol cet inconnu !* (2^e édition 2001). Éditions Agridea, Lausanne, Suisse. pp.16.
- Lawrence AP, Bowers MA – 2002. A test of the "hot" mustard extraction method of sampling earthworms. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 4: 549-552.
- Le Bayon RC, Milleret R – 2009. Effects of earthworms on phosphorus dynamics. *Dynamic soil, dynamic plant*, Global Science Books.
- Lee KE – 1985. *Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press: Sydney, Australia. pp. 411.
- Lowe CN, Butt KR – 2002. Influence of organic matter on earthworm production and behaviour: a laboratory-based approach with applications for soil restoration. *European Journal of Soil Biology* 38, 2:173-176.
- Matthey W, Zettel J, Bieri M - 1990. Invertébrés bioindicateurs de la qualité des sols agricoles / Wirbellose Bodentiere als Bioindikatoren für die Qualität von Landwirtschaftsböden. Programme national de recherche « sol », Rapport 56, 1-141.
- Milleret R, Le Bayon RC, Lamy F, Gobat JM, Boivin P – 2009. Impact of roots, mycorrhizas and earthworms on soil physical properties as assessed by shrinkage analysis. *Journal of Hydrology* 373, 3-4: 499-507.
- Muys B, Beckers G, Nachtergale L, Lust N, Merckx R, Granval P – 2003. Medium-term evaluation of a forest soil restoration trial combining tree species change, fertilisation and earthworm introduction. *Pedobiologia* 47, 5-6:772-783.
- Parmelee RW, Crossley DAJ – 1988. Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a non-tillage agroecosystem on the Georgia Piedmont. *Pedobiologia* 32, 5-6:355-361.
- Pelosi C – 2008. Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *Lumbricus terrestris* au champ. AgroParisTech.
- Pfiffner L – 2011. Magazine spécial Pronatura 2011. Les vers de terre.
- Shipitalo MJ, Dick WA, Edwards WM – 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil & Tillage Research* 53, 3-4:167-183.
- Sparovek G, Lambais MR, da Silva AP, Tormena CA - 1999. Earthworm (*Pontoscolex corethrurus*) and organic matter effects on the reclamation of an eroded oxisol. *Pedobiologia* 43, 6: 698-704.
- Urbanek J, Dolezal F – 1992. Review of some case-studies on the abundance and the hydraulic efficiency of earthworm channels in Czechoslovak soils, with reference to the subsurface pipe drainage. *Soil Biology & Biochemistry* 24, 12:1563-1571.