

## La fertilité du sol : une qualité plus prisee que jamais



### Sommaire

Rapport de la présidente	3
Discussion de thèmes de projets	5
La page Internet du Bulletin BSA fait peau neuve	7
Cercle Sol	8
Mesure de la densité apparente et d'autres mesures physiques connexes des sols agricoles du réseau FRIBO par la méthode de la poche plastique	9
Indicateurs biologiques et services écosystémiques des sols urbains : propositions de gestion	13
Le mieux est l'ennemi du bien : limiter le travail de la terre stimule la vie du sol	22
BetterGardens: qualité du sol, biodiversité et valeur sociale des jardins de la ville	25

## Impressum Bulletin BSA n° 17/2017

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  
Section Sol  
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

Foto couverture : © Thomas Alföldi, FiBL

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

## **Rapport de la présidente**

**Elena Havlicek**

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

[elena.havlicek@bafu.admin.ch](mailto:elena.havlicek@bafu.admin.ch)

La restructuration du groupe de travail Biologie du Sol – Application BSA menée en 2015, vingt ans après sa fondation, a été concrétisée en 2016. En effet, le groupe BSA avait pris la décision de mettre l'accent sur des projets concrets, limités dans le

temps. Cette réorientation a été en œuvre durant les sessions de BSA en avril et en novembre 2016 : les membres de BSA ont évalué les propositions de thèmes de projets et ont fait le choix d'un projet prioritaire (voir 2. Discussion de thèmes de projets).



**Figure 1: Les membres du BSA et les invités lors de la réunion de novembre 2016 à Olten**

La teneur en carbone organique est une caractéristique capitale et centrale des sols qui influence ses propriétés déterminantes. De plus, le taux de matière organique est directement lié à la diversité biologique : le maintien d'un taux de carbone adéquat dans les sols, ou le cas échéant sa hausse, est donc une mesure multi-bénéfique (rendements, biologie, régime hydrique, stockage de carbone). Le niveau optimal de matière organique est spécifique aux différents types de sol et doit tenir compte des conditions pédo-climatiques et de l'usage des

sols : actuellement, il n'existe pas de valeurs de référence pour le taux de matière organique. Seules des classes de teneur de matière organique ont déjà été publiées dans le bulletin spécial de 2009 « Aide à la mise en œuvre Paramètres biologiques », basées sur la cartographie FAL. Le BSA a donc opté en priorité pour un projet permettant de faire un premier pas dans la direction d'une définition possible de valeurs de référence de matière organique (voir 2. Discussion de thèmes de projets). Par ailleurs,

durant les sessions de 2016, plusieurs invités et membres du BSA ont présenté différents aspects relatifs à cette problématique (voir par exemple § 3.1. Hategekimana et Rossier) et le représentant de Boden-Humus (Benjamin Seitz), un groupe de travail de la Société Suisse de Pédologie, nouvellement constitué, en a présenté les objectifs et les orientations. Une coopération entre ce groupe de travail et le BSA est souhaitable.

L'année 2016 a été marquée par le départ à la retraite de deux membres du BSA : Hansruedi Oberholzer (Agroscope) et Nicolas Rossier (représentant du canton de Fribourg), qui ont été des membres particulièrement actifs et qui ont largement contribué au développement du BSA. Nous leur adressons nos remerciements les plus chaleureux !

## 2. Projets choisis du BSA

### **Discussion de thèmes de projets**

**Elena Havlicek**

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

[elena.havlicek@bafu.admin.ch](mailto:elena.havlicek@bafu.admin.ch)

**Andreas Fliessbach**

Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Ackerstrasse 113, 5070 Frick

Lors de sa réunion de printemps 2015, le BSA avait établi une liste de thèmes jugés prioritaires pour la mise en œuvre de la protection des sols. Quelques-uns de ces thèmes ont été approfondis par des membres du BSA puis présentés et discutés durant la réunion de printemps 2016. Dans la figure 2, les thèmes sont classés en fonction des différents niveaux de mise en œuvre.

Le projet « **Soil Food Web** » qui est proposé consiste à recenser un grand nombre d'organismes servant d'indicateurs de la qualité du sol et à effectuer des analyses de la biomasse microbienne et de l'activité et la diversité dans le sol. Il inclut l'établissement, selon les méthodes de la génétique moléculaire, de codes-barres pour les espèces répertoriées. Il est prévu d'enregistrer ces codes-barres dans une base de données, ce qui permettra de déterminer de façon rapide et précise les espèces d'organismes lors des prochains relevés. Cette proposition vise à créer les bases pour le développement d'une technique novatrice visant à faciliter la détermination des espèces (voir Figure 2). Mais il faudra encore beaucoup de travail d'affinement et de standardisation méthodologiques pour que cette technique puisse être utilisée dans le cadre de l'exécution. Bien que des recherches fondamentales soient encore nécessaires pour pouvoir appliquer cette méthode dans un cadre élargi, quelques membres du BSA se sont regroupés en vue d'effectuer un relevé des vers de terre, des micro-arthropodes voire des nématodes dans le site du Kocherpark

qui avait été échantillonné il y a deux ans (Maurer et al., Bulletin BSA-VBB 16), et de leur attribuer des codes-barres.

Contrairement aux sols d'herbages, il n'existe pas encore de **valeurs de comparaison** pour les **vers de terre** dans les terres assolées. Les données disponibles sur la biomasse et le nombre d'individus sont très limitées et il serait donc souhaitable de pouvoir évaluer si un site est relativement riche ou pauvre en vers de terre. Pour y parvenir, il faut disposer de nombreuses données, ce qui suppose un projet largement étayé bénéficiant de fonds importants. Compte tenu de l'utilité de ce projet pour l'évaluation des sites de grandes cultures, les chances de trouver les ressources nécessaires paraissent cependant bonnes. Le projet « **Ökotox** » qui est proposé vise à développer et à évaluer des indicateurs pour les atteintes biologiques au sol en cas de dépassement des valeurs indicatives et des valeurs d'assainissement de substances potentiellement toxiques. L'objectif est de vérifier dans quelle mesure des systèmes de test reconnus ou nouvellement développés et des indicateurs biologiques peuvent servir à mettre en évidence les effets de polluants dans le sol. De nombreux indicateurs, mais aussi toute la palette des polluants possibles, seront pris en considération. Le projet, qui porte sur les restrictions d'utilisation de sols pour certains usages, vise à améliorer la mise en œuvre. Une autre proposition vise à définir une **valeur de référence pour la matière organique** dans les sols cultivés. L'OFEV, qui

considère lui aussi qu'il s'agit là d'un thème important, soutient la rédaction d'un document visant à établir les possibilités et les limites de valeurs de références pour la matière organique et à mettre en évidence sa portée politique. Les variations des teneurs en matière organique typiques du sol résultant de l'exploitation doivent pouvoir être attestées méthodologiquement. Les directives suisses pour la fumure mentionnent les teneurs en matière organique, des recommandations spécifiques étant formulées pour les sols riches ou au contraire pauvres en humus. Les effets de l'exploitation sur la teneur en matière organique sont certes connus, mais ils ne peuvent pas être évalués de manière univoque. Après un changement du mode d'exploitation, la teneur en

matière organique évolue très lentement et il est pratiquement impossible d'attester cette dynamique sur une période de quelques années. Mais ce genre de valeurs n'a pas encore été introduit au niveau de l'exécution. Les valeurs existantes seront présentées et discutées par rapport à leur finalité, en vue d'évaluer les avantages et les risques de l'introduction d'une valeur de référence dans le domaine de l'exécution. Le projet mené par le BSA et le FiBL, qui présente l'état actuel des connaissances et de l'expérience acquise et comprend l'organisation d'un atelier pour discuter des résultats, doit fournir les éléments de base justifiant la modification éventuelle des ordonnances et des lois en vigueur.

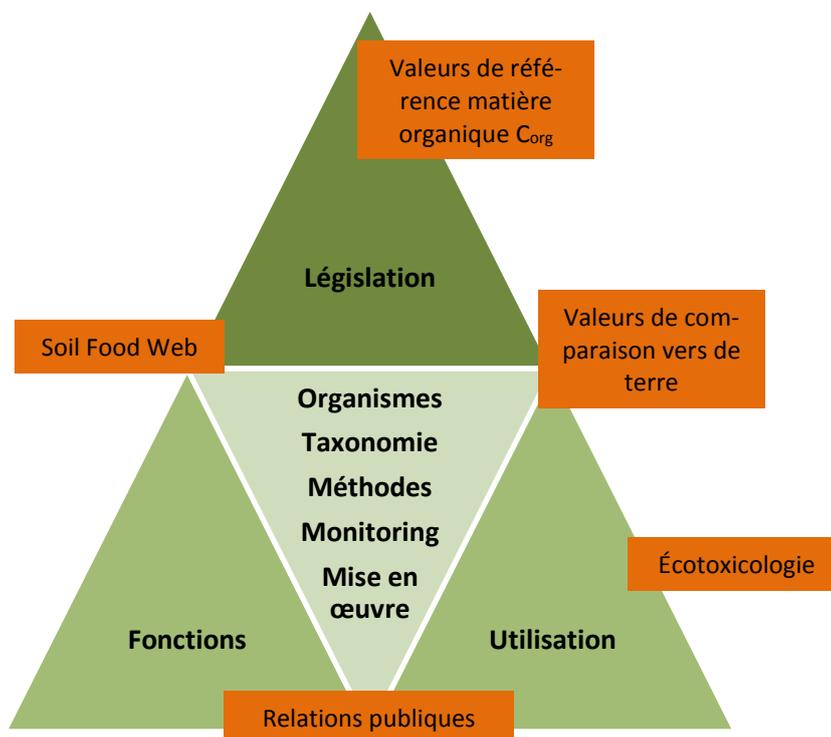


Figure 2 : Classement des propositions de projets selon les différents niveaux de la mise en œuvre de la protection des sols

## La page Internet du Bulletin BSA fait peau neuve

Elena Havlicek

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

[elena.havlicek@bafu.admin.ch](mailto:elena.havlicek@bafu.admin.ch)

Le premier bulletin du groupe de travail BSA est paru en 1997 déjà, il y a vingt ans ! Son objectif premier a été de présenter les activités du groupe de travail nouvellement constitué à un plus large public. Depuis là, les bulletins se sont succédé à un rythme pratiquement annuel et ont gardé une structure similaire. La première partie présente les activités ou les développements du groupe BSA, alors que la deuxième partie met en évidence des projets de recherche (Projets choisis du BSA) et donne des informations sur le domaine de la biologie du sol en Suisse (Forum). Une étape importante a été franchie en 2006, lorsque les bulletins parus jusqu'alors ont été digitalisés et mis à disposition en format pdf sur le site Internet

de l'Office fédéral de l'Environnement ([www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch): Thèmes > Thème sol > Informations pour spécialistes > Mesures de protection des sols > Biologie du sol). Toutefois, les bulletins n'étaient présentés que par ordre chronologique et il était impossible d'avoir des indications facilement accessibles sur le contenu spécifique de chaque bulletin : il était nécessaire d'ouvrir individuellement les dossiers et de parcourir la table des matières. En 2016, une nouvelle étape a été franchie et l'on trouve aujourd'hui pour chaque bulletin un extrait de la table des matières, indiquant les titres et les auteurs des articles concernant les projets (voir figure 3).

 [Bulletin BSA n° 11 / 2008 \(PDF, 332 kB, 05.06.2008\)](#)

### **NABO-Bio**

*Hans-Rudolf Oberholzer, Susanne Scheid, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstrasse 191, CH - 8046 Zürich*

### **Un nouvel essai de longue durée sur le travail du sol, la fumure et les préparations biodynamiques**

*Paul Mäder, Alfred Berner, FiBL, Fachgruppe Bodenwissenschaften, Ackerstrasse, CH - 5070 Frick*

### **Le projet « De paysan - à paysan » dans une optique transdisciplinaire**

*Flurina Schneider, Silvano Allenbach, Stephan Rist, Centre for Development and Environment (cde), Geographisches Institut, Universität Bern, Steigerhubelstrasse 3, CH-3008 Berne*  
*Patricia Fry, Knowledge Management Environment, Idaplatz 3, 8003 Zürich*

### **Vigne: une monoculture extraordinaire et réussie grâce à des bactéries spécifiques colonisatrices des racines**

*Miroslav Svercel, Geneviève Défago, Pflanzenpathologie, Institut für Integrierte Biologie\*, IBZ, ETH Zürich, CH-8092 Zürich*

### **Evolution des mesures biologiques du FRIBO ces 20 dernières années**

*Nicolas Rossier, Institut agricole de Grangeneuve, CH - 1725 Posieux*

Figure 3 : Présentation des articles du Bulletin BSA sur le site Internet de l'OFEV

## Cercle Sol

### Gaby von Rohr

Amt für Umwelt, Abteilung Boden, Werkhofstrasse 5, 4509 Soleure  
gaby.vonrohr@bd.so.ch

Le groupement des spécialistes de la protection des sols des cantons, de la Confédération et de la Principauté du Liechtenstein existe depuis 1998 et a été réorganisé en 2015 sous le nom de Cercle Sol en tant que groupe de travail de la Conférence des chefs des services de la protection de l'environnement (CCE).

Le Cercle Sol est la plate-forme chargée de la coordination de toutes les questions relatives à la mise en œuvre de la protection des sols. Il communique à la CCE et aux services fédéraux les attentes et les besoins des cantons en matière d'exécution. Il soutient par ailleurs l'OFEV et d'autres offices fédéraux lors de l'élaboration des aides à l'exécution, et participe aux consultations afin de défendre les intérêts de la protection des sols.

Le Cercle Sol entend renforcer la collaboration dans le domaine de la protection des

sols grâce à une organisation professionnelle et à un meilleur positionnement et donc une meilleure visibilité de la protection des sols. La collaboration accrue doit contribuer, d'une part, à améliorer l'efficacité des services de la protection des sols et, d'autre part, à éliminer des pratiques contradictoires en matière d'exécution.

Dans ses quatre groupes régionaux et lors de ses réunions plénières, le Cercle Sol cultive l'échange d'expériences et d'informations pratiques et coordonne des thèmes liés à l'exécution. Cinq groupes spécialisés, dont le groupe BSA-VBB, Biologie du sol – application, se consacrent à l'élaboration de bases d'exécution et d'outils de travail. Le comité nouvellement créé assure les contacts et la coordination et est responsable des prises de position. La Figure 4 présente l'organisation du Cercle Sol.

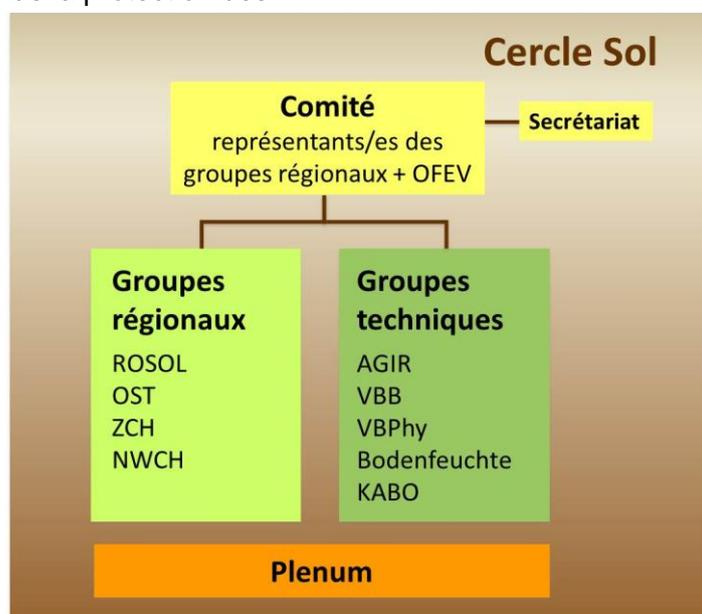


Figure 4 : organigramme du Cercle Sol. Groupes régionaux : ROSOL (BE, FR, GE, JU, NE, VD, VS, TI), Est (AR, AI, GL, GR, SG, SH, TG, ZH, Principauté du Lichtenstein), ZCH (LU, NW, OW, SZ, UR, ZG), NWCH (AG, BE, BL, BS, LU, SO) ; groupes spécialisés : AGIR (protection du sol contre les atteintes chimiques), BSA-VBB (Biologie du sol – application), VBphy (protection du sol contre les atteintes physiques), Humidité du sol (réseaux de mesure cantonaux), KABO (observatoire des sols).

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

#### **Mesure de la densité apparente et d'autres mesures physiques connexes des sols agricoles du réseau FRIBO par la méthode de la poche plastique**

**Anastase Hategekimana, Nicolas Rossier**

*Institut agricole de l'État de Fribourg, 1725 Posieux*

#### **But de l'expérience**

Cette expérience a pour but de déterminer la densité apparente sèche et humide, la porosité totale, la teneur en eau pondérale et en air ainsi que la capacité de gonflement des sols du réseau FRIBO par la méthode de la poche plastique. Le but final étant d'évaluer l'efficacité de ces mesures physiques dans le suivi, à long terme, de l'évolution de la fertilité physique des sols en particulier la stabilité face à la compaction, la perméabilité, la disponibilité en air et en eau pour les plantes. Une attention particulière est portée sur les corrélations significatives entre ces paramètres physiques et les paramètres biologiques afin de voir dans quelle mesure ces corrélations peuvent être utilisées dans la prédiction de ces paramètres physiques par les paramètres biologiques.

#### **Matériel et méthodes**

Ces mesures physiques ont été déterminées sur des échantillons de sol non remaniés prélevés dans l'horizon superficiel (0-5cm) du sol des terres assolées (huit sites : 20, 83, 95, 97, 185, 187, 194, 198) et des prairies permanentes (trois sites : 90, 92, 168). Le volume apparent de ces échantillons a été mesuré à l'état humide et sec par la méthode de la poche plastique (Boivin et al., 1990) dont le principe est basé sur la

mesure de la poussée d'Archimède exercée sur un échantillon de sol placé dans un sac plastique dont on a vidé l'air à l'aide d'une trompe à eau (figure 5c). Avant les mesures, les échantillons de sol ont été rééquilibrés (standardisés) à un potentiel matriciel de -10hPa pendant un minimum de cinq jours (figure 5b). Après, ils ont été séchés à l'étuve à 105°C jusqu'au poids constant pour déterminer la densité apparente sèche. La standardisation des échantillons de sol à un même potentiel matriciel permet d'obtenir un état de gonflement maximum en équilibre avec le maximum d'eau que le sol peut retenir. Cela permet d'atténuer les effets de variations de volume dus aux phénomènes de gonflement-retrait qui dépendent de l'humidité du sol et de ses constituants, et de rendre ainsi, les résultats comparables entre eux (Heuscher et al. 2005, Goutal et al. 2013). L'humectation des échantillons a lieu dans deux bassines superposées, le premier contenant de l'eau et la seconde du sable (figure 5a). Un tissu synthétique (« gaze »), perméable à l'eau et imperméable au sable isole celui-ci dans la deuxième bassine. L'analyse statistique des résultats a été faite avec le logiciel STATISTICA.



Figure 5: Dispositif d'humectation des échantillons de sol non remaniés : (a) bassines d'humidification des échantillons, (b) échantillons en phase d'humidification, (c) trompe à eau pour créer le vide dans la poche plastique.

## Résultats

### Densité apparente sèche comme indicateur de la compaction du sol ?

La densité apparente du sol traduit, de manière globale, l'état de compaction du sol et indirectement la porosité totale (Saffih-Hdadi et al. 2009). La densité apparente sèche des sols des 11 sites FRIBO varie entre  $1.06 \text{ g cm}^{-3}$  et  $1.57 \text{ g cm}^{-3}$  (figure 6a). La densité apparente sèche pondérée en fonction du taux d'argile, appelée aussi densité apparente effective (Daeff.), permet d'évaluer le degré de compaction du sol selon la formule suivante :  $D_{aeff.} = \text{densité apparente sèche} + 0.009 \times \% \text{ argile}$  (Diserens et Spiess, 2004). Le groupe de travail « Protection physique du sol » de la Société Suisse de Pédologie (SSP) a fixé à  $1.7 \text{ g cm}^{-3}$  la valeur indicative de la densité apparente effective. Des mesures de correction sont même nécessaires en cas de dépassement de la valeur de  $1.85 \text{ g cm}^{-3}$  (Maître, 2014). Sur les 11 sites FRIBO étudiés, un seul site (187) dépasse légèrement la valeur indicative de  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$  (figure 6b). Il s'agit d'un sol lourd avec une teneur en argile de 58.10 %. L'utilisation de ce critère de pondération de la densité apparente sèche pour évaluer la compaction des sols n'est pas fiable si on ne tient pas compte de la teneur optimale en carbone organique du sol.

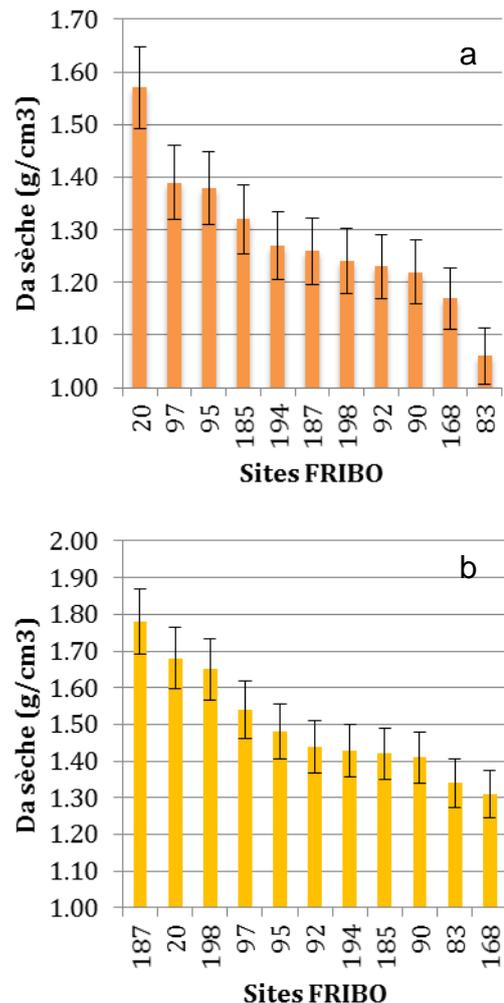


Figure 6: Densité apparente sèche (a) et densité apparente pondérée en fonction du taux d'argile (b) des sols des 11 sites FRIBO échantillonnés en 2015

### Teneur optimale en carbone organique en lien avec la résistance du sol à la compaction

D'après certaines études (Dexter et al. 2008, Boivin 2014), il existe un rapport optimal de complexation entre le carbone organique et l'argile qui permet, pour un sol donné, d'atteindre un potentiel de production, c'est-à-dire la qualité physique optimale qu'il est susceptible d'atteindre. Selon

ce rapport et de manière générale, l'optimum de matière organique souhaité correspond à 18 % de la teneur en argile. En deçà de cet optimum, la matière organique exerce une influence linéaire et positive sur presque l'ensemble des propriétés physiques du sol, mais au-delà, elle n'est plus protégée par l'argile. Sous climats tempérés, cet optimum s'observe seulement sous prairies permanentes (PP) et sur certains semis direct de longue durée ; les terres assolées (TA) en grandes cultures n'étant, en général, qu'à 50 % de leur potentiel (Boivin, 2014). En appliquant cette formule sur les échantillons des 11 sites FRIBO étudiés, mais en utilisant les données du réseau FRIBO obtenues jusqu'en 2003 (Rossier et al., 2003), nous avons constaté que seulement quatre sites (trois TA : sites 20, 97, 187 et une PP fortement acide : site 90) sont en deçà de cet optimum souhaité. Dans de tels sols déficitaires en matière organique, il est difficile de diagnostiquer la compaction en raison de la difficulté de distinguer la compaction mécanique de la dégradation structurale (Boivin, 2014). Ce constat s'observe sur le site 187 dont le sol apparaît légèrement compacté d'après le système de pondération de la densité apparente sèche en fonction du taux d'argile tout en ayant une macroporosité plus élevée que les autres sites 11 (26 %) !

### Relation entre carbone organique et les autres paramètres physiques

Un accroissement linéaire des propriétés physiques et bénéfiques pour le sol a été démontré par plusieurs études (Boivin 2014). L'augmentation de la teneur en matière organique se traduit par une diminution de la densité apparente sèche (figure 7a) et une augmentation de la porosité structurale (figure 7b), ce qui montre un effet important de la matière organique sur la portance du sol, son aération et son drainage. La porosité du sol est une caractéristique majeure contrôlant les propriétés hydrodynamiques du sol et le développement des racines des

plantes, mais aussi un indicateur de la qualité physique des sols influencé par les modes de travail.

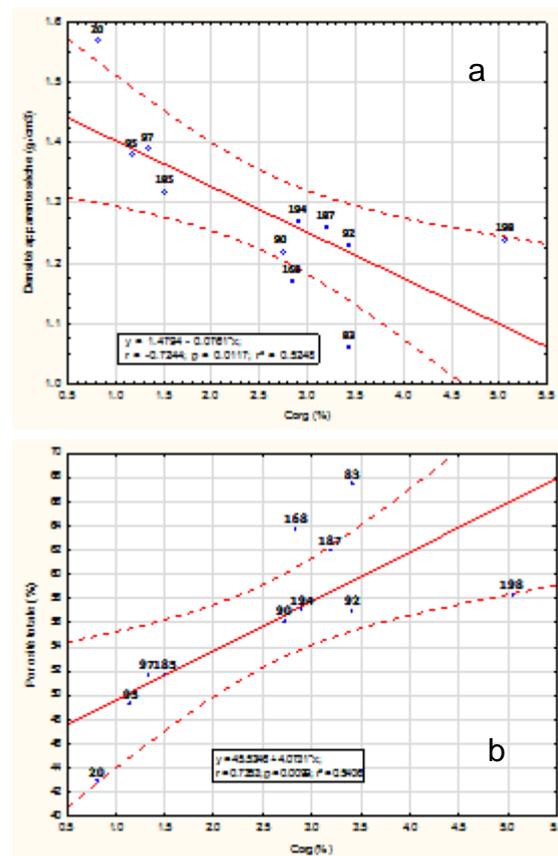


Figure 7 : Corrélation positive entre le carbone organique et la densité apparente sèche (a) et la porosité totale (b) des sols des 11 sites FRIBO échantillonnés en 2015 (intervalle de confiance de 95%).

La porosité totale du sol comprend la porosité structurale et le plasma ou porosité texturale et elle dépend de la teneur du sol en carbone organique (Boivin, 2014). Les deux systèmes poraux fonctionnent de manière différente, de même qu'ils sont différemment influencés par la compaction : le travail du sol affecte la porosité structurale et non la porosité texturale (Guérif et al. 2001, Boivin 2014).

### Corrélation entre paramètres biologiques et paramètres physiques

La minéralisation du carbone organique ( $\text{Min } C_{\text{org}}$ ) est significativement corrélée avec la densité apparente sèche (figure 8a), la porosité totale (figure 8b) et la teneur en eau pondérale. La  $\text{Min } C_{\text{org}}$  correspond à la

quantité de matière organique minéralisée par les microorganismes du sol durant 15 jours d'incubation. Les valeurs élevées de Min C<sub>org</sub> traduisent un sol actif, capable d'assumer efficacement différentes fonctions (Rossier, 2013). Une corrélation positive entre ATP (adénosine triphosphate) et matière organique a été aussi observée.

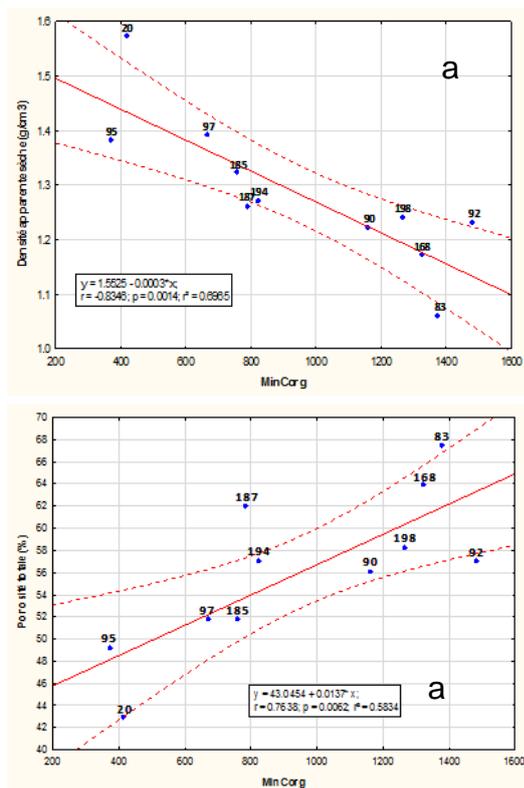


Figure 8 : Corrélations positives entre Min Corg et la densité apparente sèche (a) et la porosité totale (b) des sols des 11 sites FRIBO échantillonnés en 2015 (intervalle de confiance de 95 %)

### Analyse en composantes principales des paramètres physiques, chimiques et biologiques

Le cercle des corrélations (figure 9) montre que les variables sont discriminées selon deux axes : l'axe des abscisses qui explique 44.70% de la variation totale et l'axe des ordonnées qui explique 25.96% de la variation totale. L'axe des abscisses est principalement défini par la matière organique (MO), l'ATP, le CO<sub>2</sub> 9j, la CEC, la porosité totale, l'argile, la minéralisation du carbone organique (Min C<sub>org</sub>), le N<sub>min</sub>, la densité apparente sèche et le calcium AA-EDTA. Il illustre le lien étroit entre le complexe argilo-

humique et la biologie du sol, situation déjà constatée par d'autres études (Rossier et Dessureault, 2004). L'axe des ordonnées est, quant à lui, principalement déterminé par les paramètres facilement influencés par les activités humaines, à savoir le pH, le site, le CO<sub>2</sub> 4j, le calcium et le type de culture.

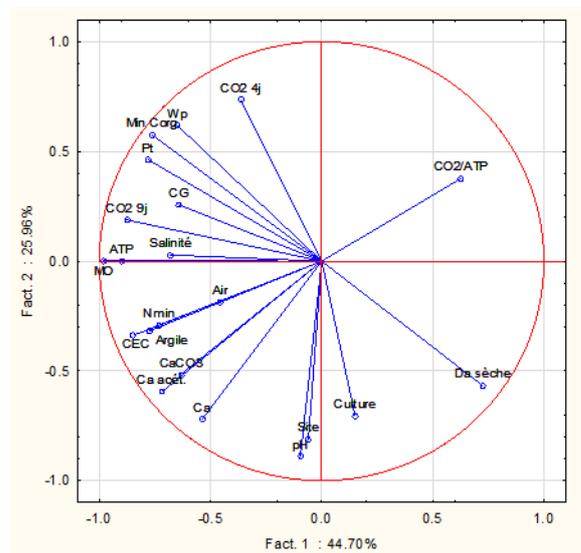


Figure 9 : Cercle des corrélations de différentes variables physiques, biologiques et chimiques des sols des 11 sites FRIBO obtenu par analyse factorielle.

### Conclusions

La méthode de la poche plastique permet de mesurer efficacement la densité apparente sèche et humide ainsi que d'autres mesures physiques connexes des sols du réseau FRIBO.

L'évaluation de la compaction du sol par la densité apparente sèche pondérée en fonction du taux d'argile (densité apparente effective) est difficile à interpréter tant que l'équilibre optimal entre la matière organique et l'argile n'est pas atteint.

La matière organique est significativement corrélée avec plusieurs paramètres physiques, particulièrement la densité apparente sèche, la porosité totale, l'argile, la teneur en eau pondérale et le volume spécifique. Ces paramètres physiques sont significativement corrélés avec les paramètres biologiques, spécialement la minéralisation du carbone organique qui est significativement corrélée avec la densité apparente

sèche ( $r=0.83$ ), la porosité totale ( $r=0.76$ ) et la teneur en eau pondérale ( $r=0.80$ ).

Malgré ces bonnes corrélations, des essais similaires sur un grand nombre d'échantillons de sols sont nécessaires avant de se prononcer sur l'éventuelle possibilité d'estimer certains de ces paramètres physiques par des paramètres biologiques.

Enfin, la période de prélèvement des échantillons de sol est à revoir afin de minimiser l'influence du travail du sol sur la densité apparente, la porosité totale et la teneur en eau pondérale.

### **Bibliographie**

Boivin, P., 2014. Physique des sols: matières organiques et compaction des sols, quels liens faut-il faire? *Agronomie, écologie et Innovations* n°79, septembre/octobre : 9-12.

Boivin, P., Brunet, D. & Gascuel-Oudou C., 1990. Densité apparente d'échantillon de sol : méthode de la poche plastique. Milieux poreux et transferts hydriques, juillet 1991, *Bulletin du GFHN* N°28 : 59-71.

Dexter, A.R., Richard, G., Arrouays, D., Czyz, E.A., Jolivet, C. & Duval, O., 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma* 144 (3-4): 620-627.

Diserens, E. & Spiess, E., 2004. Interactions entre train de roulement et sol en grandes cultures. TASC : une application informatisée pour juger et optimiser les charges infligées au sol. Rapport FAT N°613, 16p.

Goutal, N., Bottinelli, N., Gelhaye, D., Bonnaud, P., Nourrisson, G., Demaison, J., Brêthes, A., Capowicz, Y., Lamy, L., Johannes, A., Boivin, P., Ranger, J., 2013. Le suivi du fonctionnement de la restauration de deux sols forestiers après tassement dans le Nord-Est de la France. *Étude et gestion des sols*, volume 20 (2) : 163-177.

Guérif, J., Richard, R., Dürr, C. Machet, J.M., Recous, S. & Roger-Estrade, J., 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. *Soil Tillage Research* 61: 13-32.

Heuscher, S.A., Brandt, C.C., Jardine, P.M., 2005. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. *Soil Science Society of America Journal* 69:51-56.

Maître, V., 2014. Indicateurs de développement durable : matière organique et activité biologique dans les sols agricoles du canton de Vaud. Bureau pEaudSol, Bex, 84p.

Rossier, N., 2013. Analyse de l'activité biologique des sols, Grangeneuve, 4p.

Rossier, N. & Dessureault, J., 2004. Évolution des paramètres biologiques des sols agricoles fribourgeois. *Revue suisse Agric.* 36(2) : 77-82.

## ***Indicateurs biologiques et services écosystémiques des sols urbains : propositions de gestion***

**Joël Amossé**

*Laboratoires d'Écologie fonctionnelle et de Biodiversité du Sol, Université de Neuchâtel*

**Elena Havlicek**

*Section Sols, Office Fédéral de l'Environnement*

**Jean-Michel Gobat**

*Laboratoire d'Écologie fonctionnelle, Université de Neuchâtel*

**Edward Mitchell**

*Laboratoire de Biodiversité du Sol, Université de Neuchâtel et Jardin Botanique de Neuchâtel*

**Claire Le Bayon**

*Laboratoire d'Écologie fonctionnelle, Université de Neuchâtel*

### **Une étude des sols urbains de la ville de Neuchâtel (Suisse)**

Comme pour les autres milieux, les sols sont l'une des composantes essentielles de l'écosystème urbain. Ils y jouent un rôle dans la régulation du climat, le support de la végétation et, dans une moindre mesure, l'approvisionnement en produits alimentaires et en matières premières. En ville, les

sols évoluent rarement dans des conditions naturelles, ils sont souvent partiellement ou complètement influencés par l'homme. Les conditions urbaines peuvent modifier les facteurs pédogénétiques naturels, avec un contexte microclimatique différent (plus sec et/ou plus chaud, dû à l'effet d'îlot thermique urbain). Elles peuvent aussi induire des

changements des propriétés physiques, chimiques ou biologiques des sols par leur usage intensif (compaction) ou par accumulation de contaminants (produits phytosanitaires, salage des routes, pollution atmosphérique, etc.). Suivant le contexte historique des villes, une diversité de types de sols (naturels, quasi-naturels et construits) existe assurant différents services écosystémiques au sein du milieu urbain (MEA, 2005; OFEV, 2011; Morel *et al.*, 2014). En ville, quatre fonctions écologiques principales peuvent être retenues :

- **la production végétale** pour l'embellissement et l'ombrage des parcs et jardins ou encore la production de denrées alimentaires ;
- **la régulation du climat** à travers l'évaporation (microclimat) et le stockage du carbone (macroclimat) ;
- **le contrôle de la pollution** par la rétention des contaminants par les particules du sol et la dégradation partielle des polluants par les microorganismes ;
- **la préservation de la biodiversité végétale et animale** valorisant aussi les aspects culturels du patrimoine urbain et offrant des opportunités pour une sensibilisation et une éducation à l'environnement.

Toutes ces fonctions sont, à divers degrés, dépendantes de l'activité des organismes vivants dans le sol. De par leur abondance et leur diversité (espèces, taxons, taille, etc.), les organismes du sol sont reconnus comme de précieux révélateurs des activités humaines sur les changements d'état ou de fonctionnement des sols et donnent ainsi une indication sur le degré des perturbations anthropiques - d'origine chimique (p.ex. forte teneur en azote, contaminants), physique (p.ex. tassement, apport de matériaux) ou encore biologique (p.ex. espèces invasives) - exercées sur les sols (remaniement, apports de matériaux exogènes, etc.). Dans le contexte urbain, le développement d'indicateurs biologiques (unités mesurables comme l'abondance ou la diversité

de la faune) est en mesure de répondre aux enjeux concernant la gestion durable des sols urbains et des services qui lui sont associés. À partir de l'étude de sols urbains et de sa faune dans la ville de Neuchâtel, réalisée dans le cadre d'un doctorat soutenu financièrement par l'OFEV (Amossé 2014), notre objectif a donc été de contribuer au développement d'outils de bioindication de l'état de fertilité des sols (au sens de l'OSol, art. 1 et 2), par la mise en évidence d'indicateurs faunistiques utilisables dans le contexte des ANTHROPOSOLS. Ces travaux ont permis de dégager de potentiels groupes indicateurs de faune du sol et de proposer des pistes de modes de gestion et de préservation des sols en ville.

### **Les sols urbains et ses services écosystémiques**

Trois grands types de sols urbains ont été identifiés, présentant des niveaux graduels d'intervention humaine. Le premier type de sol urbain correspond à des sols **naturels**, le deuxième à des sols **semi-naturels**. Ces sols sont principalement localisés dans les forêts ou dans les anciennes zones agricoles (vignes, cultures, jardins). Une épaisseur du sol et une teneur en argile élevées caractérisent généralement les sols naturels, une plus faible épaisseur et une texture limoneuse ont été associées aux sols semi-naturels. Les principales fonctions assurées par ces sols sont la production végétale, la régulation du climat et la préservation de la diversité biologique.

Les **sols construits** constituent le troisième type de sols urbains et correspondent à des sols en partie (Référentiel Pédologique : Anthroposols transformés ; Anthroposols artificiels ; WRB : Technosols) ou entièrement (Référentiel Pédologique : Anthroposols construits ; WRB : Technosols) formés par l'homme. Ces sols ont été pour la plupart mis en place en vue d'y implanter une végétation rapidement (parcs et jardins). Cependant, l'ajout régulier de matière (p.ex. compost, engrais chimiques) peut modifier et

simplifier les réseaux trophiques, ce qui entraîne parfois l'altération des fonctions du sol: perte de biodiversité, lessivage des éléments nutritifs, diminution du pouvoir tampon. Une faible épaisseur du sol, une teneur élevée en sable et en artefacts de différentes natures (p.ex. mortier, ferraille, plastique, verre, goudron) témoignent de la récente mise en place de ces sols (Amossé *et al.*, 2014).

Chaque type de sol urbain a une aptitude différente à remplir les services écosystémiques (selon la classification du Millenium Ecosystem Assesment, MEA 2005) recherchés dans l'écosystème urbain (figure 10) :

1. Les services d'**approvisionnement** assurent par exemple la fourniture d'alimentation, de matières premières, d'énergie : végétaux dans le cas des jardins familiaux, bois de chauffage, production de biogaz, etc. Les sols les plus évolués (naturels et semi-naturels) sont généralement les sols plus productifs et restent les plus aptes à la fourniture des matières premières.
2. Les services de **support** assurent un habitat physique et fonctionnel à la végétation, à la faune et à la flore du sol. Ces services incluent aussi l'action du vivant sur le fonctionnement des grands cycles biogéochimiques (carbone, azote, phosphore) à travers la fragmentation, la transformation, la minéralisation et le stockage de la matière organique dans le sol et la biomasse. L'hétérogénéité spatio-temporelle des sols urbains, qu'ils soient évolués ou non, permet la création d'une diversité d'habitats pour l'établissement et le développement de nombreuses espèces.
3. Les services de **régulation** permettent notamment de moduler l'infiltration et le stockage de l'eau, le contrôle de la température grâce au phénomène d'évapotranspiration, la limitation de l'érosion et des crues, l'augmentation de la filtration de l'air et de l'eau. Les sols permettent aussi le traitement des poussières et des

polluants métalliques et organiques (transfert, stockage et décontamination) en jouant leur rôle de filtre et de réacteur biologique. Les sols évolués sont souvent plus aptes à la régulation climatique et à la purification de l'air. Cependant, les services de drainage, d'infiltration des eaux d'écoulement de surface peuvent être similaires quel que soit le type de sol.

4. Les services **culturels** représentent une valeur spirituelle, récréative et esthétique. Ces services sont aussi bien assurés dans les sols anciens que les sols récemment mis en place. Le rôle d'archivage historique et archéologique des sols urbains peut être inclus dans cette catégorie.

### Les indicateurs faunistiques des sols urbains

Dans le contexte urbain, les groupes de faune ont été choisis suivant les connaissances existantes (taxonomie, écologie), la facilité de leur détermination, leur coût d'identification ainsi que leur potentiel indicateur déjà établi pour d'autres types de sols. Les annélides (vers de terre et enchytréides) et les nématodes sont reconnus comme des bioindicateurs pertinents dans les sols agricoles et naturels. Leur applicabilité a donc été testée dans les sols urbains.

### Les vers de terre

Les vers de terre (macrofaune), ingénieurs des sols (Jones *et al.*, 1994), sont de loin les organismes du sol les plus étudiés. Leur large distribution et leur répartition en catégories écologiques (épigés, endogés et anéciques) (Bouché, 1977) fournissent une information précise sur l'état de fonctionnement global des sols. Dans les sols urbains, les communautés de vers de terre sont de précieux indicateurs de conditions de mise en place des sols, en étant étroitement liées à leur épaisseur (p.ex. anéciques) (Amossé *et al.*, 2016).

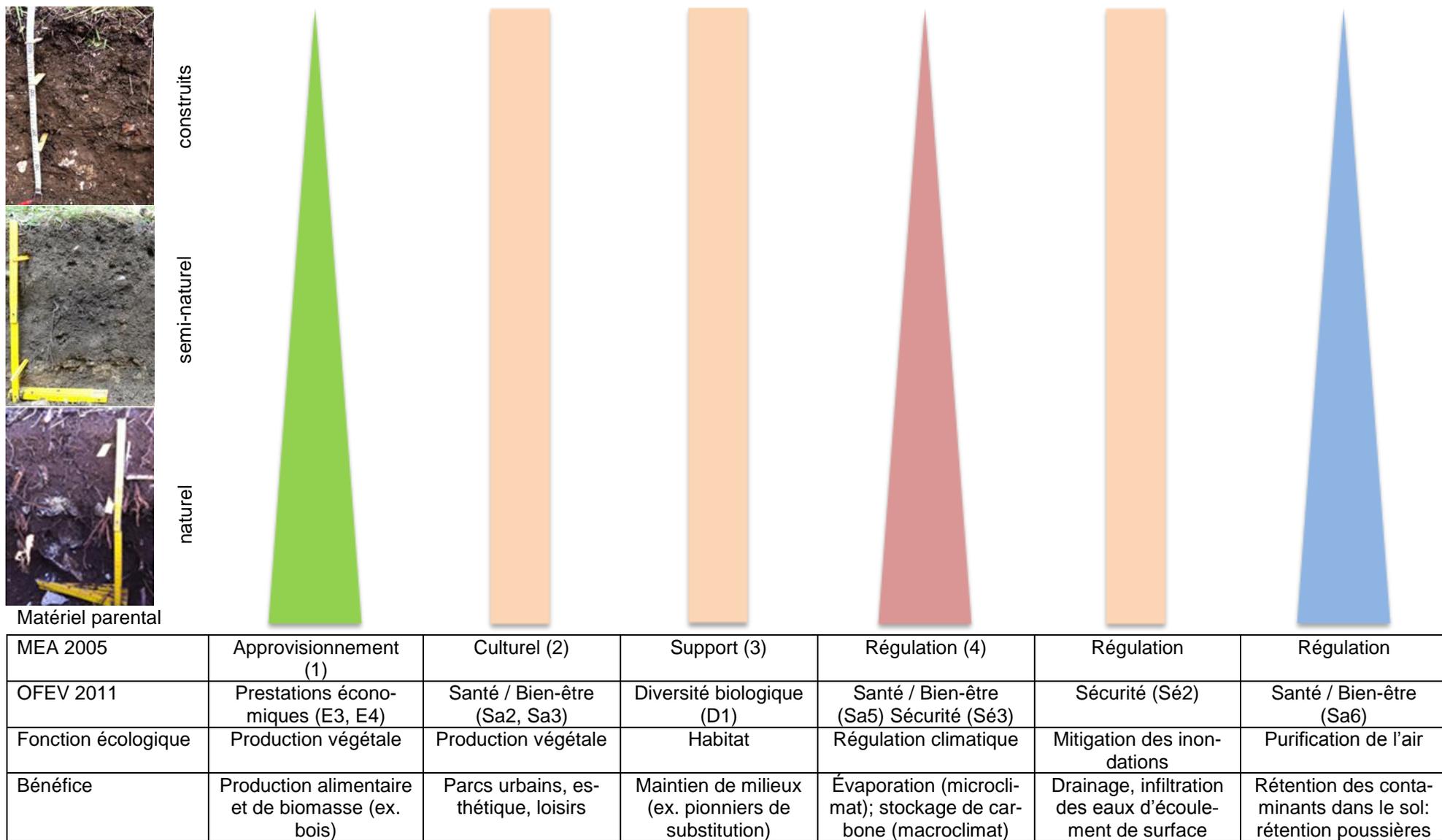


Figure 10 : Schéma général des services écosystémiques, fonctions écologiques et bénéfiques pouvant être apportés suivant le type de sols urbains.

Les vers de terre épigés vivant essentiellement dans les horizons très organiques du sol sont souvent rares dans les sols urbains, à l'exception de certaines espèces résistantes telles que *Lumbricus rubellus*. Les vers de terre endogés (p.ex. *Allolobophora chlorotica*) sont particulièrement attractifs en tant que bioindicateurs de structuration du sol dans les sols urbains en assurant en permanence la formation de nouvelles galeries (jusqu'à une moyenne de 2 km de galeries par mètre carré après trois mois d'incubation en microcosmes, obs. pers. basée sur les travaux d'Amossé *et al.*, 2015). Cette forte activité de bioturbation favorise de nombreuses fonctions écologiques du sol comme la régulation hydrique (p.ex. infiltration et stockage de l'eau), l'intégration de la matière organique au sol (p.ex. stockage de carbone) ou encore le cycle des éléments nutritifs grâce à la stimulation de l'activité des bactéries, améliorant la croissance et la production végétales (Lavelle *et al.*, 2006). L'aptitude des vers de terre endogés à vivre dans des sols peu épais, faiblement dotés en éléments nutritifs, leur faible sensibilité aux conditions de transport et de stockage des sols et leur vitesse de reproduction (p.ex. production de cocons élevée), souvent mieux adaptées que celles des anéciques, comme par exemple *Lumbricus terrestris*, les placent parmi les premiers acteurs de la structuration des sols nouvellement mis en place.

### Les enchytréides

Les enchytréides (mésafaune) ont fait l'objet de quelques études en milieux naturels et agricoles, mais restent encore bien moins étudiés que les vers de terre. En tant que décomposeurs, ils occupent une position clé dans le processus de fragmentation et de décomposition de la matière organique (Didden *et al.*, 1997). Dans le contexte urbain, les communautés d'enchytréides sont étroitement corrélées à la teneur en carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ) des sols (Amossé *et al.*, 2016), reflétant ainsi les pratiques courantes de mélange ou d'apport de matériaux

carbonatés dans les sols urbains. La richesse spécifique, la composition des communautés ainsi que les différentes stratégies de vie (*r vs K*) (Graefe et Schmelz, 1999) des enchytréides renseignent sur le niveau de perturbation du sol en surface. Dans certains sols semi-naturels, la richesse spécifique est plus élevée que dans les sols construits. Notre étude a aussi montré une part plus élevée d'espèces à stratégie *r* (majoritairement *Buchholzia sp.* et *Enchytraeus sp.*) dans des sols urbains construits (Amossé *et al.*, 2016). Pour une majeure partie, les espèces identifiées sur les sites étudiées sont similaires à celles d'autres villes européennes (Schulte *et al.*, 1989; Pižl and Schlaghamersky, 2007) ce qui permet d'envisager une généralisation des résultats et la définition d'indicateurs globaux à l'échelle européenne. Des recherches complémentaires restent néanmoins nécessaires afin de définir la chorologie des espèces et leurs rôles fonctionnels (épigés, épi-endogés, épi-anéciques et endogés) dans les sols.

### Les nématodes

Les nématodes (microfaune) donnent une information précieuse sur l'état des réseaux trophiques dans le sol en répondant rapidement aux perturbations (Ritz *et al.* 2009 ; Yeates 2003 ; Yeates *et al.* 1995). Par le biais de différents indices fondés sur les classes fonctionnelles (herbivores, bactérivores, fongivores, carnivores et omnivores) et leurs stratégies de vie, ils sont reconnus comme des bioindicateurs pertinents de la qualité des sols agricoles et des sols contaminés (Bongers, 1990; Yeates *et al.*, 1993; Bongers & Bongers, 1998; Yeates, 2003). Dans le contexte urbain, l'indice de structure (IS, fondé sur la complexité des réseaux trophiques) et la diversité des genres renseignent sur la stabilité du sol avec des valeurs souvent plus élevées observées dans les sols semi-naturels que dans les sols construits. Par exemple, des genres indicateurs de structures trophiques complexes comme *Aporcelaimellus* (carnivore à

long cycle de vie, à faible taux de reproduction et intolérant aux stress, Bongers & Ferris, 1999) ont essentiellement été retrouvés dans les sols urbains quasi naturels, confirmant que la complexité des réseaux trophiques va de pair avec la stabilité et la maturation des systèmes écologiques. À l'inverse, un genre indicateur d'enrichissement tel que *Rhabditis* (bactérovore à cycle de vie

court, au taux de reproduction élevé et peu sensible aux perturbations, Bongers & Ferris, 1999) a été retrouvé en abondance dans les sols récemment mis en place et amendés avec du compost, montrant en partie l'effet de l'apport d'éléments nutritifs en abondance sur la composition des communautés de nématodes.

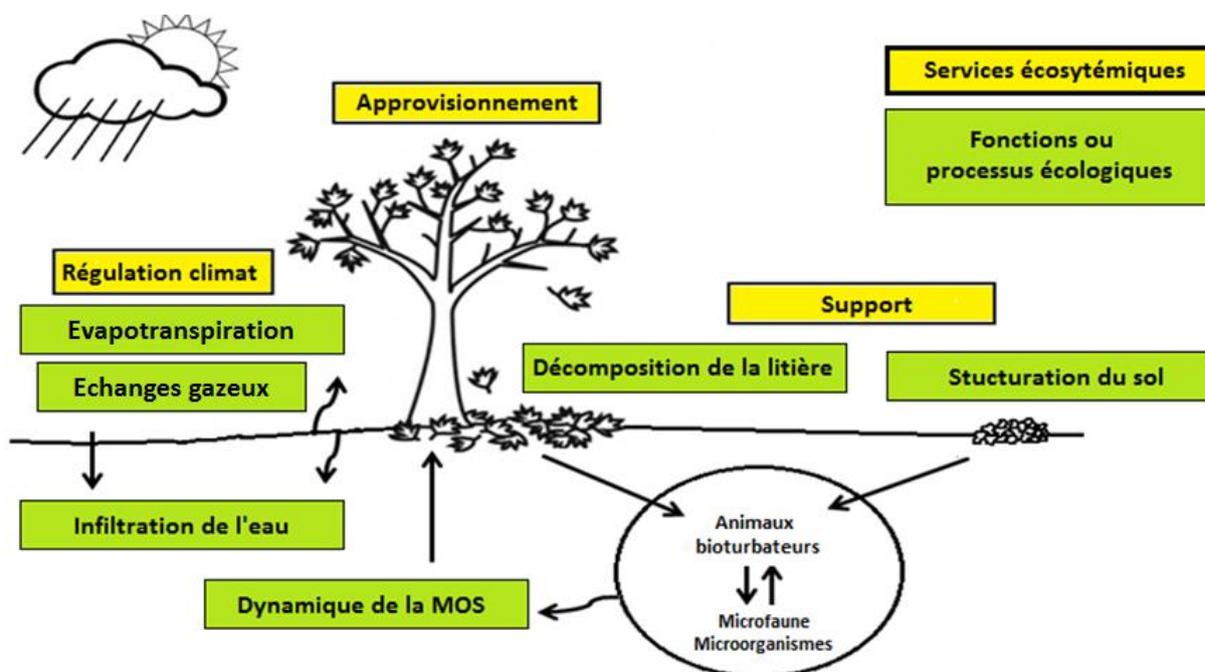


Figure 11 : Fonctions ou processus écologiques et services écosystémiques pouvant être assurés par la faune du sol en milieu urbain (MOS : matière organique du sol).

### Indicateurs faunistiques des sols urbains : fonctions, processus écologiques et services écosystémiques

Les services écosystémiques dépendent des fonctions ou des processus écologiques qui sont assurés par les organismes ingénieurs telles les plantes, mais aussi la pédofaune (figure 11). La taille des indicateurs faunistiques permet de cibler son rôle fonctionnel spécifique (figure 12):

- la formation et le maintien de la structure physique des sols par les vers de terre (endogés et anéciques), favorisent l'infiltration et le stockage de l'eau, l'intégration de la matière organique au sol (stockage de carbone) ou encore la création d'habitats pour d'autres organismes du sol;

- la décomposition et la fragmentation physique de la matière organique par les enchytréides (associés aux arthropodes du sol) jouent un rôle clé dans le processus de transformation des matières organiques en ville;
- la dynamique de la matière organique du sol et le cycle des éléments nutritifs contrôlés par les microorganismes et les nématodes permettent à la végétation de croître et de réguler la température en ville (évapotranspiration).

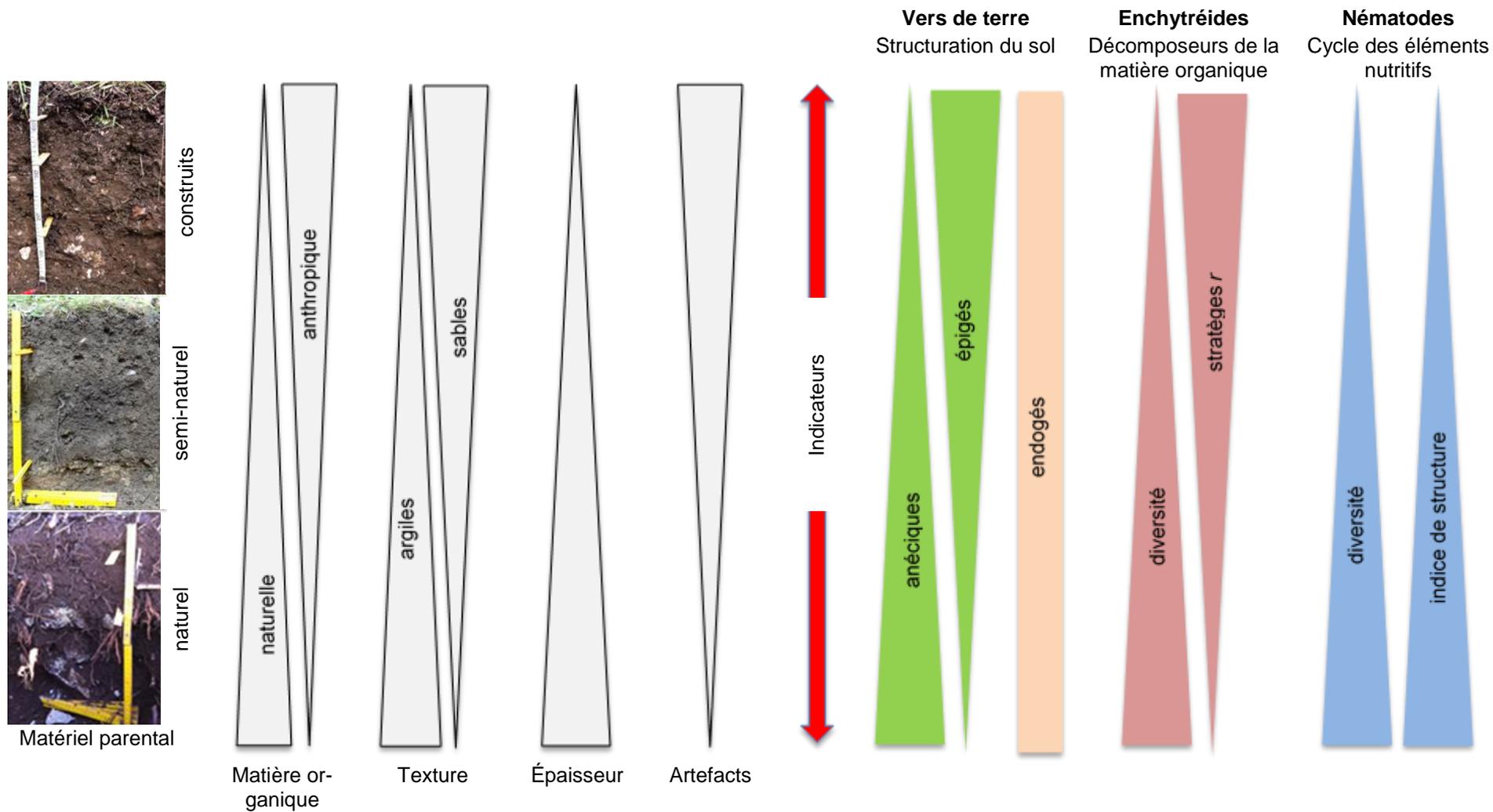


Figure 12: Schéma général des propriétés physico-chimiques et biologiques des différents types de sols urbains.

## Propositions de gestion des sols urbains

Si le végétal a une place prépondérante dans la gestion des villes en raison de sa fonction paysagère (ex. : parcs végétalisés, jardins, arbres d'alignement), le sol urbain, qui lui sert de support fonctionnel, reste encore peu considéré. Selon la nature du matériau parental et selon leur degré d'évolution, les sols urbains ont des caractéristiques physico-chimiques (épaisseur, teneur en argile, pH) et biologiques différentes des sols naturels. Les vers de terre, les enchytréides et les nématodes sont des indicateurs biologiques appropriés, reflétant les particularités fonctionnelles des sols urbains d'un point de vue physique (structuration du sol par les vers de terre et la décomposition de la matière organique par les enchytréides) et chimique (cycle des éléments nutritifs assurés par les nématodes), favorisant la production végétale, la régulation du climat et d'autres services associés. Grâce à leur répartition ubiquiste, leur abondance, leur facilité d'extraction et d'identification au niveau de l'espèce/genre/groupe fonctionnel, ces organismes permettent de contribuer au développement de méthodes fiables d'évaluation de la qualité des sols urbains en Suisse.

À partir de ces résultats, des propositions de gestion des sols urbains peuvent être formulées :

- mettre en place les sols urbains en s'inspirant des conditions naturelles des sols d'origine, notamment de leur stratification en horizons (génie pédologique);
- augmenter l'épaisseur des sols avec des matériaux pédologiques<sup>1</sup> (matériel organo-minéral) et technologiques (matière organique de type compost) afin de réduire le stress hydrique et favoriser la colonisation de la faune du sol (ex.: vers de terre endogés et anéciques);

<sup>1</sup> Il est possible, dans le contexte urbain, de valoriser les matériaux terreux issus du décapage de la couche supérieure et de la couche sous-jacente des sols de chantiers, dans la mesure où ces derniers ne peuvent être réutilisés à l'endroit de leur décapage, et si leur qualité (physique, chimique et biologique) est appropriée à l'usage souhaité (voir

- à long terme, modérer l'apport de compost afin de permettre le développement des communautés faunistiques du sol en équilibre avec le mode d'entretien du sol;
- laisser la litière en place ou, partiellement, les résidus de tonte afin de stimuler l'activité biologique des sols;
- limiter les perturbations dans la première couche du sol (p.ex. compaction, labour) en évitant les passages répétés des engins d'entretien. Cette couche de sol regroupe la majeure partie de la vie du sol et joue un rôle essentiel d'interface entre la partie aérienne et l'ensemble du sol (zone de transit pour la faune, échanges hydriques et gazeux);
- favoriser la connectivité entre les sols des espaces urbains (par exemple chemins non goudronnés, pavés ajourés, passages herbeux) afin d'augmenter la fonctionnalité des sols par le transfert des espèces ;
- renoncer à l'usage de pesticides<sup>2</sup> dont une partie, souvent importante, n'atteint pas le ravageur visé, mais directement le sol, et dont les effets négatifs sur les organismes du sol sont connus (Bünemann et al. 2006) ;
- mettre en place un monitoring biologique des indicateurs faunistiques pertinents pour évaluer ou mesurer l'efficacité des mesures mises en œuvre.

En raison de la variabilité des sols, qui s'exprime aussi dans le contexte urbain, les propositions de gestion doivent être évaluées en fonction des situations locales, en tenant compte des aspects environnementaux, mais également financiers et sociaux. L'information de la population joue un rôle important dans l'acceptation d'un entretien différencié, qui s'accompagne souvent d'une modification paysagère (par exemple passage d'un gazon à un milieu diversifié). Les

Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets : OLED articles 17 et 18).

<sup>2</sup> La réduction ou l'abandon de l'usage des phytosanitaires est déjà mis en œuvre dans certaines villes de Suisse.

services des parcs et promenades municipaux qui ne disposent pas d'une expertise en science du sol peuvent consulter les spécialistes de la protection des sols<sup>3</sup> pour la reconstitution des sols urbains à partir de matériaux terreux issus du décapage et pour définir la mise en œuvre des mesures appropriées. Finalement, des possibilités de monitoring biologique peuvent être réalisées en collaboration avec des instituts de recherche, sous forme de travaux de mémoire.

### Références bibliographiques

Amossé, J., 2014. *La faune du sol comme indicateur de la qualité des sols urbains*. Université de Neuchâtel, Faculté des sciences.

Amossé, J., Dózsa-Farkas, K., Boros, G., Rochat, G., Sandoz, G., Fournier, B., Mitchell, E.A.D., Le Bayon, R.-C., 2016. Patterns of earthworm, enchytraeid, and nematode diversity and community structure in urban soils of different ages. *European Journal of Soil Biology*, 73:46-58.

Amossé, J., Jelmini, J.-P., Havlicek, E., Mitchell, E.A.D., Le Bayon, R.-C., Gobat, J.-M., 2014. Mille ans d'extension urbaine à Neuchâtel: évolution des paysages et des sols. *Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles*, 133: 05-26.

Amossé, J., Turberg, P., Milleret-Kohler, R., Gobat, J.-M., Le Bayon, R.-C., 2015. Effects of endogeic earthworms on the soil organic matter dynamics and the soil structure in urban and alluvial soil materials. *Geoderma*, 243-244: 50-57.

Bünemann, E. K., Schwenke, G. D., Van Zwieten, L., 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Soil Research*, 44(4): 379-406.

Bongers, T., & Ferris, H., 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *TREE*, 14(6): 224-228.

Bongers, T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83 : 14-19.

Bongers, T., Bongers, M., 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10 : 239-251.

Bouché, M.B., 1977. Stratégies lombriciennes. *Ecological Bulletins* (25), 122-132.

Conseil fédéral de Suisse, 2008. Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (814.12) (OSol) du 1er juillet 1998 (État le 1er juillet 2008), 12 p.

Diden, W.A.M., Fründ, H.C., Graefe, U., 1997. *Fauna in Soil Ecosystems*. Chapter 5: Enchytraeids.

Edited by Gero Benckiser. Marcel Dekker, Inc. New York. ISBN-10: 0824797868. 400 pp.

Graefe, U., & Schmelz, R., 1999. Indicator values, strategy types and life forms of terrestrial Enchytraeidae and other microannelids. *News Enchytraeidae*, 6: 59–68.

Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers, *Oikos*, 69: 373–386.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services.

ICSZ - Soil Animals and Ecosystems Services, Proceedings of the XIV<sup>th</sup> International Colloquium on Soil Biology. *European Journal of Soil Biology*, 42:3-15.

Millenium Ecosystem Assessment (MA), 2005. *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC, 86 pp.

Morel, J.L., Chenu, C., Lorenz, K., 2014. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs), *Journal of Soils and Sediments*, special issue : SUITMA 7, DOI 10.1007/s11368-014-0926-0.

Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), 2011. Indicateurs pour les biens et services écosystémiques. *Systématique, méthodologie et recommandations relatives aux informations sur l'environnement liées au bien-être*, 14 pp.

Pižl, V., & Schlaghamersky, J., 2007. The impact of pedestrian activity on soil annelids in urban greens. *European Journal of Soil Biology*, 43(1): S68-S71.

Ritz, K., Black, H.I.J., Campbell, C.D., Harris, J.A., Wood, C., 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators* 9 : 1212-1221.

Schulte, W., Fründ, H.-Ch., Söntgen, M., Graefe, U., Ruzskowski, B., Voggenreiter, V., Weritz, N., 1989. *Zur Biologie städtischer Böden, Beispielraum: Bonn-Bad Godesberg*. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. – Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, KILDA-Verlag F. Peking, Greven, ISBN: 3-88949-168-5. 192 pp

Yeates, G.W., 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils* 37 : 199-210.

Yeates, G.W., Bongers, T., De Goede, R.G.M., Freckman, D.W., Georgieva, S.S., 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25 : 315-331.

Yeates, G.W., Orchard, V.A., Speir, T.W., 1995. Reduction in faunal populations and decomposition following pasture contamination by a Cu-Cr-As based timber preservative. *Acta Zoologica Fennica* 196 : 297-300.

<sup>3</sup> La Société Suisse de Pédologie a mis en place une procédure de reconnaissance pour les pédologues candidats au titre de «spécialistes de la protection des sols sur les chan-

tiers». Cette reconnaissance est soumise à un règlement défini en étroite collaboration entre la SSP, les responsables cantonaux de la protection des sols, les milieux de la construction et l'OFEV.

## Glossaire

*Ingénieurs du sol* : a pour spécificité de moduler directement ou indirectement la disponibilité des ressources pour les autres espèces suite à des modifications physiques des sols et, par conséquent, de modifier, maintenir ou créer des habitats (Jones, 1994).

*Vers de terre épigés* : espèces pionnières de petite taille (1 à 5 cm) souvent de couleur rouge à la surface du sol (fractionnement des matières mortes)

*Vers de terre endogés* : espèces de taille variable (1 à 20 cm) peu pigmentées (rose, gris voire vert) dans les 30 premiers centimètres du sol (création d'une structure grumeleuse du sol facilitant la circulation de l'eau)

*Vers de terre anéciques* : espèces de milieu peu perturbé, de grande taille (10 à 30 cm) avec une couleur foncée (rouge ou brune) au niveau de la tête puis gradient de couleur vers la queue. Ils creusent des galeries verticales en profondeur permettant l'enfouissement et le brassage de la matière organique avec le sol.

*Stratégies r* : stratégie d'adaptation aux milieux instables basée sur la production d'un grand nombre de jeunes en peu de temps et une mortalité très élevée.

*Indice de Structure (IS)* : reflète la stabilité du milieu en fonction de l'abondance des groupes fonctionnels (bactériovores, fongivores et prédateurs). Plus il est élevé, moins le milieu est perturbé.

## **Le mieux est l'ennemi du bien : limiter le travail de la terre stimule la vie du sol**

**Claudia Maurer, Wolfgang Sturny**

Service de la protection des sols du canton de Berne, Rütli, 3052 Zollikofen  
claudia.maurer@vol.be.ch

**Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Hansueli Dierauer**

Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Ackerstrasse 113, 5070 Frick

*Stimuler la vie du sol* : Une agriculture qui ménage les ressources place le sol et ses multiples fonctions au centre de ses activités. Les bactéries, les champignons et autres organismes du sol travaillent plus efficacement si le brassage mécanique reste limité à 5 - 8 cm de profondeur. Un travail réduit stabilise le sol et stimule sa vitalité, le protégeant ainsi de l'érosion.

### Introduction

La vie au sein du sol revêt une importance décisive pour que celui-ci puisse remplir ses fonctions. Les plantes produisent de la biomasse, dont les résidus nourrissent la pédofaune. Les microorganismes (bactéries, champignons, algues, unicellulaires) se chargent quant à eux de la décomposition en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et en sels minéraux, bouclant ainsi le cycle des nutriments et rendant les minéraux à nouveau disponibles pour la croissance des plantes. Les microorganismes utilisent une partie du

carbone pour produire leur substance corporelle. Une autre partie reste dans le sol, est transformée en humus (matière organique) et contribue ainsi à la formation d'une structure grumeleuse en agglomérant les particules minérales du sol. Un sol grumeleux, riche en humus, présente une structure stable – condition première pour une bonne absorption de l'eau et la protection contre l'érosion et le tassement.

### Évaluation de la qualité du sol

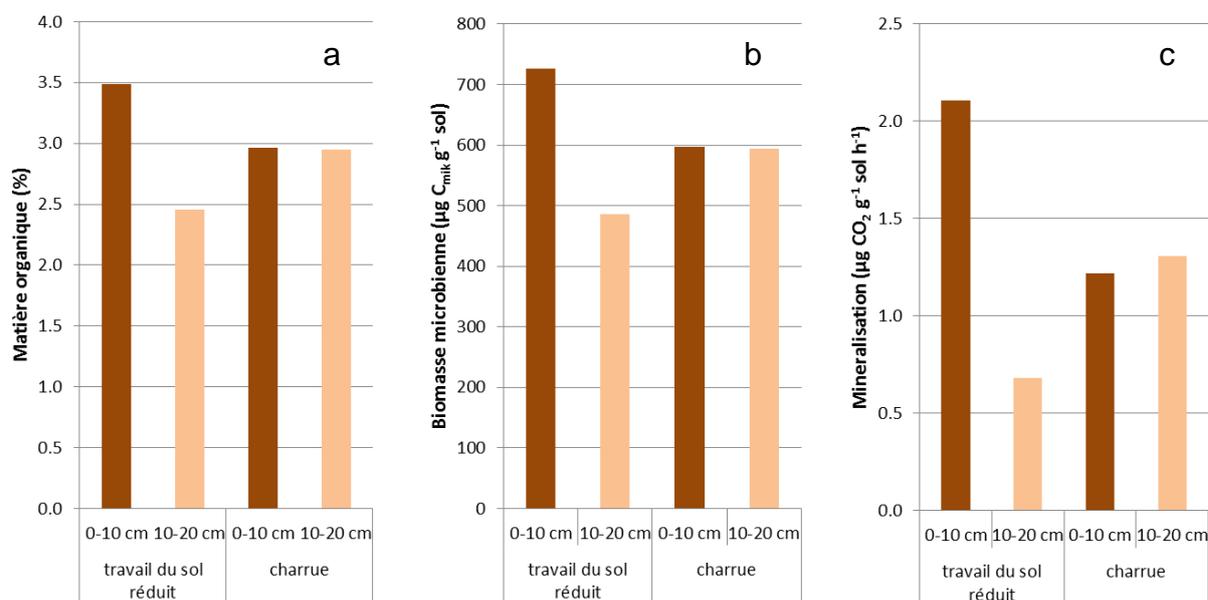
Les puissantes machines utilisées de nos jours, combinées à la forte intensité des interventions portent souvent atteinte à la structure du sol. Le tassement, l'érosion et le ruissellement sont néfastes non seulement pour la fertilité des sols, mais aussi pour notre eau potable. L'amélioration et la stabilisation de la structure des sols sont donc d'une importance primordiale. Les systèmes culturaux travaillant le sol moins en profondeur et sans le retourner sont censés

augmenter sa teneur en humus, et en particulier la quantité et l'activité des microorganismes. L'efficacité de ces systèmes fait l'objet de tests. Les changements de la teneur du sol en humus sont lents et souvent à peine mesurables, ou alors seulement après des années de culture différenciée. Les bactéries et les champignons, derniers décomposeurs et fournisseurs de nutriments, réagissent plus rapidement lorsqu'il reste davantage de résidus organiques en surface grâce à une réduction du travail du sol.

En 2011 et en 2015, la quantité d'humus ( $C_{org}$ ), celle des microorganismes (carbone microbien  $C_{mic}$ ) et l'activité de ceux-ci (respiration du sol) ont été mesurées et comparées sur deux domaines agricoles du canton de Berne où des sous-parcelles sont exploitées depuis 2008 avec un travail réduit du sol. Sur les deux domaines, une sous-parcelle a été labourée à la charrue à une profondeur de 15 cm hors sillon, et l'autre à

seulement 5 à 8 cm de profondeur, sans recours à des dispositifs visant à retourner la terre. Pour le travail réduit du sol, on a utilisé sur un des sites la charrue déchaumeuse, la herse rotative et la herse étrille, sur l'autre le cultivateur à ailettes et la herse rotative (rompue des prairies artificielles), de même que la herse à disques et le vibroculteur. Tous les échantillons ont été prélevés séparément à une profondeur de 0 à 10 cm et de 10 à 20 cm.

Les deux sites ont été exploités selon les directives de Bio Suisse. Les rotations sont typiques pour les exploitations bio de la région avec culture de prairies artificielles, de maïs, de céréales et de légumineuses à grains. Sur les deux sites, le sol est de type limono-sableux, avec des teneurs légèrement différentes en argile et en silt. Un site était neutre (pH 6,8), l'autre légèrement acide (pH 6,2).



**Figure 13 : Matière organique ( $1,72 \times C_{org}$ ), biomasse microbienne ( $C_{mic}$ ) et minéralisation (respiration du sol) sept ans après le début de l'essai dans les couches situées à 0 – 10 cm de profondeur et à 10 – 20 cm de profondeur avec travail réduit du sol et utilisation de la charrue (moyenne des deux sites).**

### Enrichissement en humus

Après seulement quatre à six ans de travail réduit du sol, la répartition de l'humus dans les 20 premiers cm s'était modifiée par rapport aux sols cultivés avec les méthodes

conventionnelles. Sur les deux degrés de profondeur réunis (0 – 10 cm et 10 – 20 cm), il n'y avait aucune différence entre les deux méthodes. En revanche, dans les parcelles moins travaillées, la teneur en humus

avait augmenté de 10 à 19 % dans la première couche de 10 cm, alors qu'elle avait diminué de 6 à 21 % dans la couche de 10 à 20 cm (figure 1a). Plus on avait renoncé longtemps à la charrue, plus l'accumulation d'humus dans la couche superficielle du sol était prononcée. La charrue permet au contraire d'homogénéiser les résidus végétaux, les engrais de ferme et le sol, et de les répartir régulièrement sur toute la profondeur de labour.

### **Davantage de bactéries, de champignons et d'autres organismes dans la couche de 0 à 10 cm**

La biomasse microbienne est la partie biologiquement active de la matière organique. Elle comprend l'ensemble des bactéries, des algues et des unicellulaires colonisant le sol. La biomasse microbienne est sensible à la disponibilité de nourriture (résidus de récolte, fumure organique), aux changements chimiques (pH, polluants) et physiques (tassement). Les résultats des mesures de la biomasse microbienne (carbone  $C_{mic}$ ) montrent une stratification encore plus nette que la matière organique : dans les 10 cm supérieurs des parcelles moins travaillées, la quantité de microorganismes était de 39 à 59 % plus élevée que dans la couche de 10 à 20 cm ; dans la méthode avec labour, les deux degrés de profondeur affichaient des valeurs presque identiques. Par rapport aux sols labourés, la biomasse microbienne des sols moins travaillés avait augmenté de 21 à 26 % dans la couche supérieure, mais diminué de 13 à 17 % dans la couche plus profonde (Figure 13b).

### **Microorganismes : non seulement plus nombreux, mais aussi plus actifs**

Tout comme leur quantité, l'activité des microorganismes joue un rôle primordial dans la nutrition des plantes. La respiration du sol permet de mesurer la dégradation des composés carbonés et la production de  $CO_2$  qui en résulte en tant qu'indicateur de l'activité de minéralisation. Pour ce paramètre aussi, les effets susmentionnés se répètent, mais sous une forme encore plus manifeste :

alors que dans la couche supérieure des sols travaillés selon la méthode avec labour, l'activité respiratoire était supérieure de 15 % à celle qui prévalait dans la couche inférieure, cet écart était de 187 % avec le travail réduit du sol. Ce phénomène s'explique par la biomasse microbienne plus importante et la plus grande quantité de matière organique résiduelle. Par rapport aux sols labourés, les valeurs de respiration des sols peu travaillés étaient plus élevées de 47 à 71 % dans la couche de 0 à 10 cm, mais inférieures de 33 à 41 % dans la couche de 10 à 20 cm (Figure 13c).



**Figure 14 : Le test à la bêche permet d'évaluer visuellement la fertilité d'un sol. L'abandon d'un travail du sol en profondeur donne un sol grumeleux, riche en humus et biologiquement actif, en particulier dans la couche supérieure.**

### **Conclusions**

Les trois mesures décrites révèlent toutes la même tendance, mais les chiffres absolus et, par conséquent, la sensibilité des indicateurs sont différents : la teneur en humus exprime la quantité totale de matière organique dans le sol, laquelle contribue à stabiliser la structure et constitue donc une importante protection contre l'érosion et le tassement. La biomasse microbienne et la respiration du sol reflètent la partie vivante

du sol, qui influence la disponibilité des nutriments. Avec l'abandon croissant du travail du sol en profondeur, la matière organique s'accumule dans la couche supérieure du sol sous forme d'humus, ce qui est aussi une caractéristique des prairies naturelles (figure 14). Les microorganismes trouvent dans la couche supérieure des sols peu travaillés un milieu où ils peuvent bien se nourrir et ils adaptent leur nombre et leur activité à ces nouvelles conditions. La couverture superficielle du sol avec des déchets de récolte ou du paillis (mulch), l'amélioration de la stabilité structurale par une augmentation de la texture grumeleuse, la disparition de la semelle de labour ainsi qu'une augmentation de l'activité des microorganismes édaphiques dans la zone proche des racines ont des effets favorables multiples : protection du sol contre l'érosion et le tassement, augmentation de l'infiltration et de la capa-

cité de stockage de l'eau, meilleur approvisionnement en substances nutritives des plantes. Comme inconvénients possibles, on peut citer des pertes de rendement de 8 % en moyenne ou l'augmentation de la pression des adventices. Dans de nombreux essais au champ, toutefois, les adventices n'étaient pas la cause principale de la diminution du rendement. Celle-ci semble due plutôt au fait que le sol se réchauffe plus lentement au printemps en raison du travail réduit, ce qui peut limiter la minéralisation et donc le renouvellement des apports azotés. D'autres études sont nécessaires pour déterminer dans quelle mesure les effets positifs d'un travail réduit du sol – amélioration de la structure du sol, augmentation de la vitalité du sol – pourraient à long terme se traduire par un rendement égal, voire supérieur.

## ***BetterGardens: qualité du sol, biodiversité et valeur sociale des jardins de la ville***

**Robert Home, Matthias Stolze, Simon Tresch, Andreas Fliessbach, Olivia Lewis**  
Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Ackerstrasse 113, 5070 Frick  
robert.home@fibl.org

**Nicole Bauer, Marco Moretti, Christopher Young, Andrea Zanetti, David Frey**  
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL),  
Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

### **Introduction**

Les espaces verts dans la ville sont des îlots de vie pour les êtres humains et pour la nature. Ils influencent la qualité de vie et la cohésion dans les quartiers urbains, et offrent des habitats aux animaux et aux plantes. Ils jouent un rôle d'autant plus important que l'urbanisation s'étend. Les jardins, qui constituent une part importante de ces surfaces, subissent une pression croissante liée à la densification du milieu bâti. Bien que la fonction sociale et écologique des espaces verts urbains soit reconnue, les connaissances à leur sujet sont encore lacunaires. Le projet *BetterGardens* vise

précisément à déterminer les influences de facteurs écologiques et sociaux sur la biodiversité et la qualité du sol et à étudier l'importance que revêtent les jardins pour la nature et les citoyens.

Ces connaissances sont importantes pour pouvoir établir les effets positifs des espaces verts urbains et étayer les arguments en faveur de leur protection, car la densification figure au programme de nombreuses villes.

De 2015 à 2017, *BetterGardens* consacre une étude à diverses formes de jardinage dans des jardins privés, communautaires et familiaux à Zurich, Berne et Lausanne. Les

recherches sur le sol et la biodiversité étant très coûteuses, cette partie de l'étude n'est menée que dans la ville de Zurich. Le projet est réalisé par l'Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL sous la direction de Matthias Stolze et Robert Home et en collaboration avec l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL. Il est financé par le Fonds national suisse dans le cadre du projet Sinergia. Une vue d'ensemble du projet est présentée à la Figure 15. L'objectif principal du travail est d'obtenir une biostimulation par des apports combinés de vers de terre et de matière organique afin de favoriser la reconstitution d'un horizon A. L'essai est parti de l'hypothèse que les vers de terre, en tant qu'« ingénieurs de l'écosystème », peuvent accélérer par la bioturbation la formation d'un horizon A, car ils incorporent la matière organique, forment des agrégats et creusent des galeries.

Le projet est constitué de quatre sous-projets (SP). Le SP « Facteurs de décision pour les jardiniers » étudie les facteurs qui influencent les motivations et les attitudes des jardiniers (participants : Ingrid Jahrl (doctorante), Robert Home, Heidrun Moschitz et Olivia Lewis). Le deuxième SP, « Implications pour les jardiniers », évalue l'influence des jardins sur la qualité de vie des jardiniers et des citoyens (participants : Chris Young, Nicole Bauer). Le troisième SP « Implications pour la biodiversité » étudie certains aspects de la biodiversité et leur influence sur les services écosystémiques, comme la pollinisation et la lutte naturelle contre les ravageurs (participants : David Frey, Marco Moretti, Andrea Zanetta, Matthias Albrecht et Jaboury Ghazoul). Le quatrième SP, « Implications pour la qualité du sol » se consacre à l'étude de la qualité du sol et de l'interaction entre les orga-

nismes du sol et les services écosystémiques (participants : Simon Tresch, Paul Mäder, Marco Moretti, Andreas Fliessbach et Claire Le Bayon). La synthèse des résultats des quatre sous-projets doit permettre d'élaborer des stratégies de « bonnes pratiques » pour les surfaces jardinées. Il s'agit en outre de créer une base de discussion pour la conservation de jardins urbains.

### **Parties sociologiques du projet**

Dans le premier SP « Facteurs de décision pour les jardiniers », 18 interviews qualitatives ont été menées avec des utilisateurs de jardins. Elles ont permis de définir cinq catégories de jardiniers. Le plus grand groupe est constitué des « producteurs écologiques », dont la motivation principale est la culture d'aliments sains et qui estiment que les jardiniers ont une responsabilité écologique. Une première comparaison fait apparaître des différences marquées tant dans l'attitude des jardiniers que dans la qualité des sols et la diversité végétale.

Ainsi, le nombre d'espèces végétales s'est révélé significativement plus élevé dans les jardins des « producteurs écologiques » que dans les autres jardins (Figure 16).

Sur la base de 19 autres interviews qualitatives réalisées à Zurich et à Lausanne dans le cadre du SP « Implications pour les jardiniers », on peut déduire que les jardins représentent une importante ressource pour de nombreux utilisateurs en tant que lieu favorable aux contacts sociaux et à la détente. Le jardin permet d'entretenir les relations familiales, c'est souvent aussi un espace où sont vécues les représentations et les pratiques d'une famille idéalisée. Dans les petits jardins, les contacts sociaux plutôt superficiels sont aussi perçus de façon positive et souvent mieux évalués que dans le lieu d'habitation.

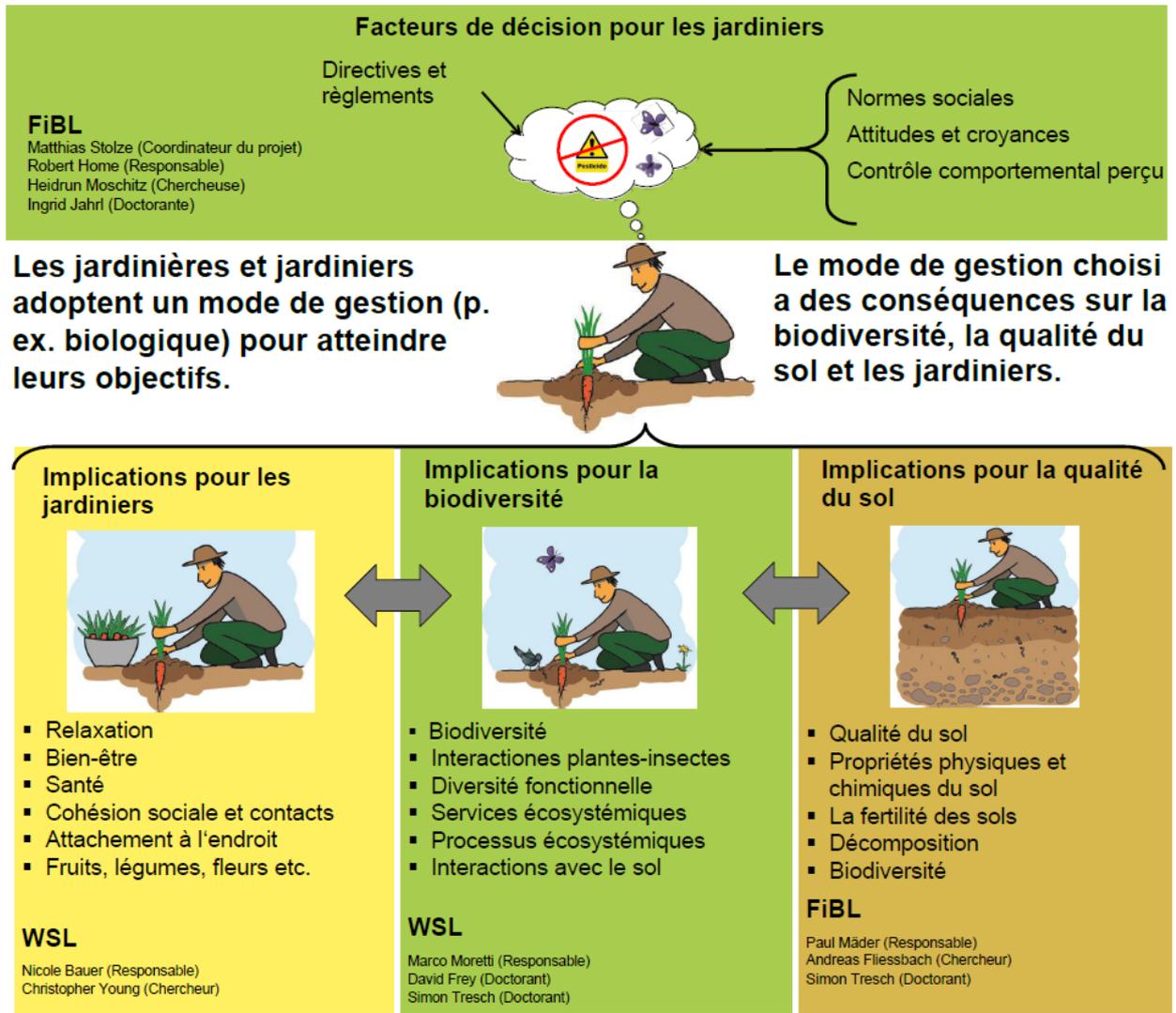


Figure 15 : Aperçu du projet

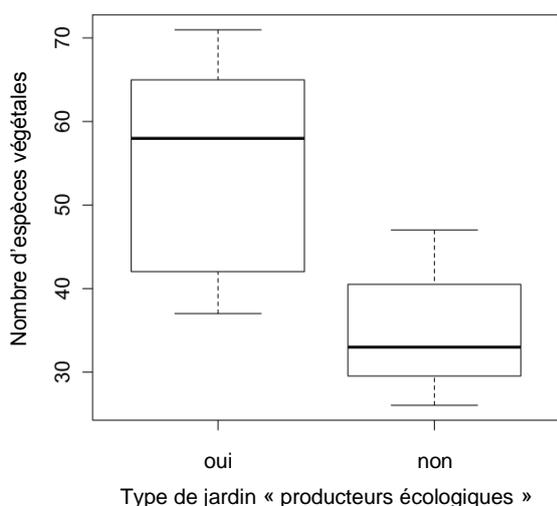


Figure 16 : Nombre d'espèces végétales dans les jardins des producteurs écologiques et dans les autres types de jardins.

### Parties scientifiques du projet

#### Diversité des espèces

Un essai de lutte naturelle contre des chenilles de papillons à l'aide d'oiseaux a été réalisé dans 24 jardins. Il a permis de constater que les pièges à chenilles installés dans des jardins très boisés des zones denses du centre-ville présentaient des traces de coups de bec significativement plus nombreuses que ceux de jardins comparables situés dans des quartiers verts et dans des jardins peu boisés. Il semble donc qu'un contraste marqué entre les jardins et le paysage urbain au niveau des ressources disponibles pour les oiseaux favorise le contrôle naturel des ravageurs.

Dans le cadre des relevés de la biodiversité, déjà six espèces d'insectes ont été identifiées pour la première fois en Suisse (REFS). Parmi celles-ci figurent les cicadelles *Edwardsiana sociabilis* et *Laburrus pellax*. Chez la seconde, on a observé des signes indiquant un changement d'une plante hôte rare à une plante de jardin plus fréquente du même genre botanique. Les autres nouvelles espèces comprennent le charançon *Euophryum confine*, une espèce originaire de Nouvelle-Zélande, mais non envahissante, la punaise américaine *Tupiocoris rhododendri*, prédateur spécialisé des ravageurs des rhododendrons, et la punaise européenne *Chlamydatus saltitans*, capable de faire des sauts particulièrement longs. Enfin, on a trouvé pour la première fois une guêpe fouisseuse très rare, *Psenu-lus fulvicornis*, classée sur la liste rouge en Allemagne.

#### **Qualité du sol**

Les sols des 84 jardins étudiés ont fait l'objet d'analyses des propriétés chimiques, biologiques et physiques. Des éléments nutritifs comme le P, le K et le Mg, mais aussi des propriétés physiques comme la densité apparente, la teneur en argile et la stabilité des agrégats ont été déterminés, ce qui contribue à donner une image de la qualité du sol des jardins.

Par ailleurs, la capacité de décomposition des microorganismes du sol a été étudiée à l'aide d'une nouvelle méthode scientifique dans le cadre d'une expérience élargie. Les premiers résultats montrent que les différences dans la capacité de décomposition sont aussi liées au mode d'exploitation des jardins. La méthode utilisée se base sur

deux types de sachets de thé : le thé vert, un matériel organique rapidement décomposable par les microorganismes du sol, et le thé rooibos, plutôt difficilement dégradable. Chez le thé vert facilement dégradable, nous avons pu constater des différences significatives entre les secteurs exploités de façon intensive et ceux travaillés de façon moins intensive dans un jardin. Ces différences se retrouvaient non seulement dans les taux de décomposition, mais aussi dans la composition de la communauté microbienne des sols de jardins, qui joue un rôle essentiel pour la qualité du sol. Ces résultats indiquent que la façon dont un jardin est entretenu et cultivé peut aussi avoir une grande influence sur la qualité du sol et sa diversité. En ce moment, les recherches portent sur les mesures ayant une influence sur la qualité du sol, comme les apports de compost.

#### **Perspectives**

Le projet se poursuit jusqu'à fin 2017. L'important volume de données est en cours d'analyse et débouchera sur d'autres résultats très intéressants dans le cadre du projet de recherche interdisciplinaire. Quelques publications ont déjà paru dans des revues spécialisées, comme le Bulletin de la Société Entomologique Suisse (2015 et 2016). D'autres publications et conférences sont prévues. Des informations complémentaires et une liste des publications peuvent déjà être consultées sur le site du projet [www.bettergardens.ch](http://www.bettergardens.ch) ou sur Facebook, <https://www.facebook.com/bettergardens>.