

2020-2021

Master AETPF

Agrosciences, Environnement, Territoire, Paysage, Forêt

Parcours

Gestion Conservatoire et Restauration des Ecosystèmes

**Diagnostic des sols de la métropole du Grand Nancy et de leur biodiversité en vue de la création
d'une Trame Brune**

Nicolas MANGIN

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 30/08/2021

Tuteur : Raynald RIGOLOT, Président de la fédération FLORE 54

Enseignant universitaire référent : Sandrine CHAUCHARD, Maître de Conférence

Structure d'accueil : FLORE 54 (Fédération Meurthe-et-Mosellane pour la Promotion de
l'Environnement et du Cadre de Vie) ; 65 rue Léonard Bourcier, 54000 NANCY



Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont rendu possible la rédaction de ce document ainsi que celles et ceux qui m'ont permis de garder la tête hors de l'eau durant ces temps parfois quelque peu troublés.

Tout d'abord un grand merci au président de la fédération FLORE 54, Raynald Rigolot. Merci dans un premier temps de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur un projet aussi intéressant en toute autonomie, bien que ce soit un peu frustrant de devoir partir avant qu'il s'achève. Je suis arrivé à FLORE sans savoir comment le monde associatif fonctionnait concrètement, et je suis heureux de voir qu'il existe des gens aussi investis que toi dans la préservation de l'environnement. Je regrette qu'on ne donne pas plus la parole à des personnes comme toi dans l'espace public : des personnes maîtrisent les sujets qu'elles traitent et qui cherchent à créer des liens entre les différents acteurs de la société, sans pour autant hésiter à se faire entendre. Autant dire que cela changerait grandement des discours qu'on entend partout actuellement. En tout cas, la jeunesse a un travail énorme à faire si elle veut espérer prendre la relève un jour.

Je tiens à remercier Anne Blanchart et Quentin Vincent, respectivement présidente et directeur général de Sol &co. Merci tout d'abord de m'avoir guidé lorsque j'avais des questions concernant le projet, de m'avoir aidé dans la relecture de ce document, ou encore de m'avoir dirigé vers des sources que j'ai pu m'empresser de dévorer pour « creuser » ce sujet passionnant que représentent les sols en milieu urbain (si j'étais moins mesuré je serai presque tenté de dire qu'une vocation est née). Merci à Apolline Auclerc d'avoir été disponible pour répondre à certaines questions que j'ai pu me poser également, et de m'avoir donné des pistes pour ma recherche de thèse.

Merci également aux financeurs du projet, à savoir la région Grand Est, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, la DREAL Grand Est, le Conseil Départemental de Meurthe-et-Moselle, la métropole du Grand Nancy, ainsi que les communes de Vandoeuvre-lès-Nancy, Laxou, Villers-lès-Nancy et Ludres, sans qui ce beau projet n'aurait pas pu voir le jour.

Un grand merci à tous les stagiaires et services civiques que j'ai pu côtoyer au sein de FLORE 54, je pense que je manque de place pour tous vous citer mais sachez que le cœur y est. Je suis heureux d'avoir pu travailler dans une aussi bonne ambiance et c'est à vous que je le dois. Petite dédicace tout de même à Manon BAUDUIN qui a été une secrétaire exemplaire pendant les (très) longues séances d'identification du contenu des pièges Barber.

Je remercie ma famille et mes proches en général, sans qui je n'en serai sûrement pas là où j'en suis aujourd'hui. Je remercie également tous mes amis : ceux de longue date comme ceux rencontrés au cours de ce master. Ce serait beaucoup plus dur de garder le moral au quotidien sans vous; si j'en suis là c'est aussi en partie grâce à vous.

Et pour celles et ceux que je n'aurai plus l'occasion de revoir aussi souvent après le master, Properce disait : « Loin des yeux, loin du cœur ». Mais si vous voulez mon avis, il avait tout faux.

Table des Figures

Figure 1: Tour d'horizon des différents services écosystémiques rendus par les sols	1
Figure 2: Evolution du nombre de publications traitant de sciences participatives dans le monde ..	5
Figure 3: Carte des différents points échantillonnés dans le cadre du projet TrameBioSol	6
Figure 4: Installation d'un piège Barber sur un de nos sites d'étude	10
Figure 5: Abondance totale des invertébrés retrouvés dans les pièges Barber aux différents sites d'étude.	13
Figure 6: Indice de diversité de Shannon calculé pour chaque site d'étude	14
Figure 7: Indice d'équitabilité de Pielou calculé pour chaque site d'étude.....	14
Figure 8: Répartition des organismes récoltés dans l'ensemble des pièges disposés.	15
Figure 9: Part des différents groupes trophiques représentés dans l'ensemble des pièges disposés.....	15
Figure 10: AFC de l'ensemble des sites (n=15) et des groupes d'organismes retrouvés (n=23)	16

Liste des Tableaux

Tableau 1: Présentation générale des différents sites échantillonnés.....	7
Tableau 2: Rôle trophique des différents groupes d'organismes échantillonnés	11

Liste des Abréviations

Afes : Association Française de l'Etude des Sols

càd : c'est à dire

ex : exemple

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

hab : habitant

PLUi : Plan Local d'Urbanisme intercommunal

SRADDET : Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires

SRCE : Schéma Régional de Cohérence Ecologique

TVB : Trame Verte et Bleue

Contexte du service civique

Les actions menées s'inscrivent dans le cadre de deux projets pluridisciplinaires et de participation citoyenne. Leur objectif consiste à la préservation d'une trame Verte et Bleue le long d'un parcours sur 4 communes de la Métropole du Grand Nancy ainsi qu'à la création d'une trame Brune. La création de cette trame Brune devrait permettre la reconnexion écologique de sols dits fonctionnels. Ma mission au cours de ce service civique concerne le dernier point évoqué.

Tout d'abord nous allons présenter le projet sur lequel j'ai pu principalement travailler.

Projet TrameBioSol

Il s'agira de réaliser des diagnostics agro-pédologiques et des inventaires de biodiversité des sols le long du parcours de la Trame Verte et Bleue déjà établie. Ces diagnostics porteront sur l'état et le fonctionnement des sols et la biodiversité qu'ils renferment (macrofaune et flore).

À la suite de ces diagnostics, des recommandations de gestion et d'usages seront préconisées. Leur mise en place permettra, sur le long terme, une reconnexion des milieux et une circulation des espèces, qui devraient pouvoir retrouver des habitats de qualité favorisant leur présence le long de ce qui devrait devenir à terme la future trame Verte, Bleue et Brune.

Des actions de communication seront également menées. En effet, les diagnostics et inventaires réalisés le seront avec l'appui d'une participation citoyenne : entre autres, un protocole de sciences participatives (détaillé dans la partie « Matériels et Méthodes ») sera appliqué pour l'étude de la faune du sol. Cela permettra aux citoyens de reproduire les diagnostics réalisés chez eux en leur donnant les éléments de méthodologie adaptés.

L'autre objectif du projet porte sur la sensibilisation du public à la préservation de la biodiversité et les sujets d'actualité qui y sont liés. Pour y parvenir, seront réalisés des diagnostics et des « balades citoyennes pédagogiques », balades déjà organisées en routine par FLORE 54 le long du parcours. Seront également proposées plusieurs conférences et la réalisation de quinze panneaux pédagogiques afin de présenter/expliciter les résultats des inventaires et des actions de restauration effectuées à différents endroits du parcours. Un lien sur le site Internet de la fédération reprendra l'ensemble du projet et contribuera à sa vulgarisation.

Par la diversité des acteurs impliqués, ce projet devrait permettre de créer une synergie entre ces derniers et les citoyens du territoire local. L'objectif supplémentaire est de mettre en adéquation les diagnostics et les actions menées avec les documents d'urbanisme existants (SRCE, SRADDET) et futurs (ex : PLUi de la Métropole du Grand Nancy). La finalité sera donc d'engager une réflexion pour une prise en considération des sols et de leur biodiversité à l'échelle, à la fois du site, mais aussi de la planification territoriale pour la protection et la restauration des continuités écologiques.

A terme, l'ambition de ce projet sera d'obtenir une démarche répliquable sur d'autres trames vertes et bleues du territoire régional, voire national. Les données de biodiversité obtenues viendront également compléter les Atlas de la Biodiversité Communale de la Métropole du Grand Nancy et de Vandoeuvre-lès-Nancy, la DREAL Grand Est ayant retenu dans ses critères ces différents aspects au même titre que la démarche participative.

Introduction

Les sols urbains

Blanchart et al. (2017) mettaient en évidence dans leur revue que la définition d'un sol urbain variait selon l'acteur considéré. Ainsi, les urbanistes, élus et aménageurs du territoire auront tendance à considérer qu'un sol présent dans une aire urbaine est un sol urbain, là où les spécialistes des sciences du sol vont plutôt utiliser la définition de l'IUSS (2014) qui définit tout sol contenant plus de 20% d'artéfacts (càd de matériaux d'origine anthropique) comme des Technosols. Les auteurs proposent de considérer ces deux définitions de façon distincte, considérant à la fois comme « sol urbain » tout sol situé dans une aire urbaine et comme « sol anthropisé » tout sol contenant une forte proportion de matériaux d'origine anthropique ou scellés, en surface comme en profondeur.



Figure 1: Tour d'horizon des différents services écosystémiques rendus par les sols ; Source : FAO

Les sols sont l'objet de nombreux enjeux. Ce milieu, par ses propriétés physico-chimiques et biologiques, va régir nombre de fonctions dont l'homme va bénéficier, directement ou indirectement. Les bénéfices tirés par l'homme sont appelés « services écosystémiques » et se déclinent en 4 grands groupes : les services d'approvisionnement, de régulation, de support et culturels. Parmi ces bénéfices nous pouvons citer par exemple la production de biomasse agricole ou de bois, la régulation des cycles du carbone, des nutriments et de l'eau, ou le maintien d'un environnement permettant d'accueillir les activités humaines (Figure 1).

Concernant les services écosystémiques rendus par les sols, la synthèse de Adhikari et al. (2015) montre qu'entre 1975 et 2014 les services de régulation étaient les plus étudiés (41% des publications), suivis des services d'approvisionnement (34%), de support (13%) et culturels (8%). Les

auteurs précisent également que les services de support restent peu étudiés. La provision d'habitats pour la faune du sol étant un service de support, cela rejoint ce que nous avons pu voir précédemment. Ils pointent pour finir plusieurs exemples de tentatives de quantification de la contribution des sols aux services écosystémiques et la difficulté d'une telle démarche.

Mais les sols sont avant tout le support d'une biodiversité extrêmement importante, estimée à environ 25% de la biodiversité totale de la planète. Dans 1g de sol, on peut retrouver jusqu'à un million de cellules bactériennes (pour des dizaines de milliers de taxons), 200m d'hyphes et une pléthore de nématodes, vers de terre et arthropodes en tous genres (Roesch et al., 2007 ; Bardgett, 2015 ; cités dans Wagg et al., 2014).

Cette importante diversité est garante de nombreuses fonctions écosystémiques, comme l'acquisition des nutriments par les plantes ou le cycle des ressources entre les différentes communautés d'espèces. Cependant, elle est aujourd'hui menacée par les activités anthropiques, dont certaines (ex : intensification agricole, changements d'occupation des sols) vont réduire l'abondance microbienne et faunistique du sol (Wagg et al., 2014). Or, il est bon de rappeler que le sol est également un élément régulateur critique dans la majorité des processus écologiques, que ce soit dans des écosystèmes naturels ou gérés (Barrios, 2007). C'est dans cette optique que certains auteurs ont pu montrer la forte interdépendance des communautés vivant dans le sol avec celles vivant en surface, notamment les végétaux (Wardle et al., 2004).

Un autre intérêt de la biodiversité des sols réside dans le fait qu'elle favorise leur résilience. En effet, selon l'Atlas européen de la diversité des sols (2010), plus il y aura de groupes d'organismes assurant les mêmes processus, plus grande sera la probabilité que ces derniers ne soient pas ou peu affectés en cas de disparition d'un ou plusieurs de ces groupes d'organismes (dans le cas d'une perturbation par exemple). Ainsi, lorsque la biodiversité d'un sol passe en dessous d'un certain seuil, on peut observer un déclin irréversible, et une compromission de certaines de ses fonctions. Cela s'observe dans des situations où la biodiversité est très faible et où les processus concernés sont assurés par peu d'espèces différentes (on parle de « processus écologiquement étroit »).

Ainsi il est intéressant de regarder la diversité fonctionnelle lorsqu'on caractérise un sol. En effet, les changements structurels et/ou fonctionnels des communautés sont aujourd'hui utilisés comme indicateurs de l'état de santé des sols, notamment dans l'évaluation de l'effet de certains stress (pratiques de gestion, changements d'usage des sols). Cependant, les principaux indicateurs biologiques de l'état des sols aujourd'hui sont la microflore, la microfaune et les micro-arthropodes (Vincent, 2018). Ces groupes d'organismes ont un temps de réponse relativement faible aux changements environnementaux (ex : changement de la teneur en éléments) et les avancées récentes en biochimie (mesures d'activités enzymatiques), biologie moléculaire et génomique (metagénomique) ont pu permettre d'obtenir des indicateurs performants.

Les macro-invertébrés restent encore peu étudiés en tant qu'indicateurs de la qualité du sol, mais on note une hausse de leur prise en compte sur ces dernières années. C'est ainsi que différents indices biologiques ont pu voir le jour : l'Indice Biologique de la Qualité des Sols (IBQS) proposé par Ruiz et al. (2011) et prenant en compte les communautés de macrofaune observée ainsi que les différents usages du sol, ou encore le General Indicator of Soil Quality proposé par Velasquez et al. (2007) qui utilise en plus les paramètres physico-chimiques du sol. Pour finir on peut également citer l'article de Santorufu et al. (2012) qui propose d'utiliser les invertébrés du sol comme bioindicateurs de la qualité du sol en milieu urbain.

Nous allons donc nous intéresser à la diversité fonctionnelle des communautés de macro-invertébrés sur les différents sites étudiés afin d'y estimer la qualité du sol et les potentialités de préservation de la faune y résidant. La qualité d'un sol peut être définie comme étant « la capacité d'un sol à fonctionner au sein des limites d'un écosystème pour supporter la productivité biologique, maintenir la qualité environnementale et promouvoir la santé des plantes et des animaux » (Doran et al., 1996; cité dans HERMON, 2018. Services écosystémiques et protection des sols). Nous pouvons remarquer que cette définition englobe à la fois les aspects liés à la production de l'écosystème et ceux liés à la biodiversité s'y trouvant. D'où l'intérêt de coupler les diagnostics de diversité à des mesures de paramètres abiotiques du milieu.

Habituellement, les travaux sur les sols se concentrent sur les milieux naturels ou agricoles. Environ 1% d'entre eux concernent les sols urbains (Guilland et al., 2018). Différents auteurs pointent ainsi un manque de connaissances sur le patrimoine biologique présent dans ces sols et son rôle dans les processus d'intérêt pour le retour de la nature en ville et l'amélioration de la qualité de vie des citoyens (Guilland et al., 2018). En effet, si les sols sont bien étudiés en termes de propriétés physico-chimiques, les connaissances sur leur biodiversité et les fonctions qu'ils assurent sont loin d'être complètes (Adhikari et al., 2015 ; Barrios, 2007).

Outre cela, des retours d'expérience ont déjà pu être faits concernant la mise en place de politiques Trame Verte et Bleue en milieu urbain. Ainsi, Tiphaine Kervadec pointait en 2012, dans une note Etd intitulée Mettre en œuvre la Trame Verte et Bleue en milieu urbain, plusieurs difficultés pouvant être rencontrées.

Premièrement, une difficulté assez générale lorsqu'on traite de TVB est la forte diversité des acteurs rencontrés : en découlent des problématiques très différentes et donc la nécessité d'avoir une maîtrise de l'ensemble des questions abordées afin d'en cerner tous les enjeux. Cette même diversité d'acteurs va aussi mettre en évidence des limites concernant l'articulation de la mise en œuvre d'actions entre les différents niveaux d'organisation du territoire ; limites qui peuvent concerner aussi bien les compétences et financements d'un territoire que la volonté politique des élus et acteurs locaux.

Cette note pointe également des difficultés plus spécifiques au milieu urbain. Premièrement, la prise en compte des besoins des habitants doit être primordiale dans l'élaboration d'une politique publique locale. Or, il semblerait que la demande en aménagement d'espaces se porte plus sur des aspects récréatifs ou les mobilités douces que sur la biodiversité.

Deuxièmement, l'auteure souligne que la rareté et le morcellement du foncier urbain, en plus de la multiplicité des statuts et de la forte pression attirant les promoteurs et augmentant les prix, vont compliquer les acquisitions pour la mise en place de politiques TVB. Fort heureusement les sites que nous avons échantillonnés appartiennent presque tous soit à la métropole, soit à une des différentes communes partenaires du projet. Le seul site pour lequel nous avons eu besoin de l'accord d'un propriétaire tiers était le vallon froid d'Hardeval (FDH).

Ce morcellement urbain est accompagné par une forte hétérogénéité paysagère. Comme le rappelle l'Atlas européen de la diversité des sols (2010), on y retrouve un bon nombre de couvertures/occupations du sol différentes. Cela peut inclure aussi bien les infrastructures de transport que les petites parcelles résiduelles les bordant, des lotissements, jardins et pelouses, des zones humides ou encore les grands parcs urbains. Tout cela va créer une mosaïque d'habitats très

divers, dont certains peuvent servir de réservoirs de biodiversité. Les auteurs pointent ainsi l'exemple de Londres, dont les jardins urbains ont une densité spécifique d'invertébrés du sol comparable à celle d'écosystèmes naturels. Il semble donc tout à fait intéressant de développer le concept de trames en milieu urbain. Néanmoins, ils rappellent que le milieu urbain peut également être le point de dispersion d'espèces invasives, d'où la nécessité de gérer les espaces verts en ville avec précaution.

Menaces

Actuellement, plus de la moitié (55%) de la population mondiale vit en milieu urbain, et d'ici 2050 cette proportion devrait atteindre 64 à 68%. Une personne sur 8 vit dans une des 33 mégalofoles (aires urbaines >10M hab.) que compte la planète mais presque la moitié de la population urbaine mondiale vit dans des aires urbaines de moins de 500000 habitants (United Nations, « World urbanization prospect : the 2018 revision », 2018). L'expansion des aires urbaines est généralement deux fois plus rapide que la croissance de la population : on s'attend donc à une expansion des aires urbaines pour les 3 premières décennies du XXIe siècle plus grande que l'expansion urbaine cumulée dans toute l'histoire de l'Humanité (Seto et al., 2014). Cette expansion va très probablement s'accompagner de l'artificialisation de très vastes surfaces, conduisant à une réduction de la diversité des arthropodes (Sattler et al., 2010).

Ajoutons à cela le fait que d'après Philippe Billet et Maylis Desrousseaux, dans un texte de septembre 2017 publié dans l'onglet « Sols et législations » du site de l'Afes, le sol souffre d'une définition floue dans le droit français, n'étant globalement pas reconnu comme un milieu physique au même titre que l'air ou l'eau. Le droit du sol serait ainsi plutôt orienté vers la réhabilitation des sols dégradés. Cependant, depuis la loi « biodiversité » de 2016, les services rendus par les sols sont reconnus dans le droit, bien que ces derniers ne soient toujours pas désignés comme faisant partie du patrimoine national.

Etant donné le rythme de l'étalement urbain au niveau mondial, il apparaît urgent d'étendre nos connaissances sur la biodiversité des sols en milieu urbain afin d'éviter qu'elle ne disparaisse avant même que nous ne puissions l'observer. Il serait également intéressant de donner des arguments en faveur d'une meilleure prise en compte des sols dans les politiques d'aménagement du territoire et dans leur protection.

Portée de la démarche

Face au manque de données concernant la diversité des sols urbains mentionné précédemment, il apparaît nécessaire de développer des outils permettant de l'évaluer de façon robuste. Cependant, il serait intéressant que ces outils soient simples et peu coûteux à mettre en place, en vue de leur appropriation par les gestionnaires d'espaces naturels des différentes communes qui souhaiteraient élargir leur connaissance des sols sur leur territoire, mais également des citoyens qui souhaiteraient y contribuer.

C'est ainsi que nous avons décidé de recourir à un protocole de sciences participatives pour l'échantillonnage de la faune du sol sur nos différents sites d'étude. Ce type d'approche a vu le jour au cours du XXe siècle avec le Christmas Bird Count aux Etats Unis, ayant permis depuis la rédaction de 350 publications scientifiques. Depuis, les sciences participatives sont en hausse, touchent à des disciplines variées et mettent en œuvre des approches qui le sont tout autant (Houllier et al., 2016).

Les principales raisons de leur développement citées par les auteurs sont le développement des outils numériques comme le big data ou les smartphones et la sensibilité croissante des citoyens aux questions scientifiques. Ils pointent aussi les coûts d'acquisition des connaissances toujours en baisse et un soutien croissant des politiques publiques. En France, les sciences participatives tournent surtout autour de l'agriculture, la biodiversité et l'environnement (42% des publications françaises étudiées par les auteurs). Si ce type de démarche est aujourd'hui assez prisé, et devrait le devenir de plus en plus, on doit néanmoins garder en tête ses limites : certaines approches et domaines d'étude demandent un matériel lourd et/ou très spécialisé, ou des connaissances/compétences très pointues nécessitant une expertise.

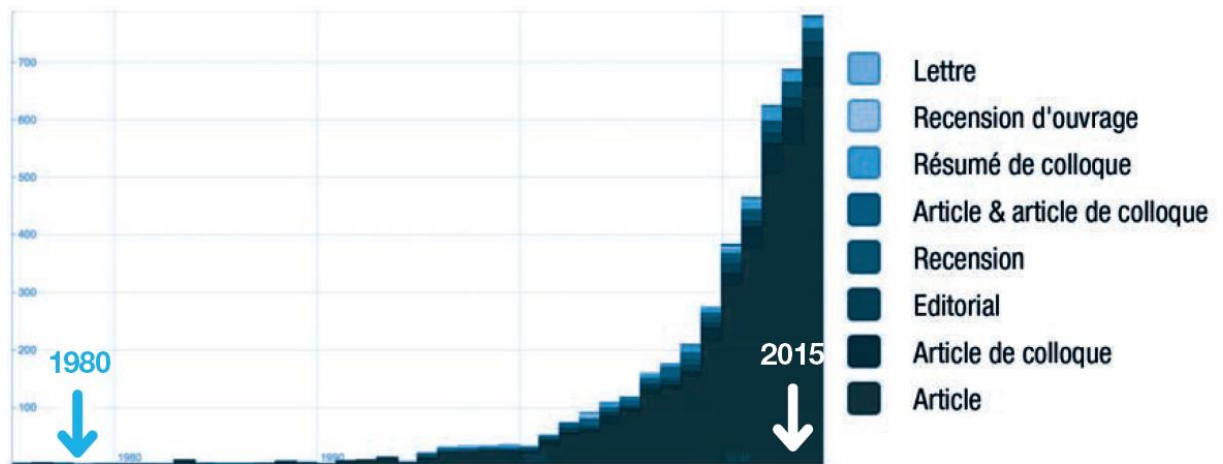


Figure 2: Evolution du nombre de publications traitant de sciences participatives dans le monde; source: Rapport de la mission Sciences Participatives - février 2016

Concernant la notion de « trame brune », nous avons pu observer un manque de consensus sur le vocabulaire employé. On remarque que si ce terme fait timidement son apparition dans les documents de planification territoriale, il reste absent de la littérature scientifique. Par exemple, lorsqu'on recherche les mots-clés « trame brune » sur Google Scholar, les premiers articles sur lesquels nous tombons vont concerner les trames vertes et bleues d'une manière générale ou les services écosystémiques de la vie du sol. Idem lorsqu'on fait une recherche avec les termes « soil connectivity » : nous tombons sur des articles traitant principalement des caractéristiques physico-chimiques du sol (ex : l'humidité du sol) ou des menaces pesant dessus, telle que l'érosion.

Notre projet sera donc l'occasion de faire un tour d'horizon de l'état des connaissances actuelles sur la biodiversité des sols urbains et de proposer une démarche relativement simple à mettre en œuvre à l'échelle intercommunale, voire métropolitaine, qui serait répliquable sur d'autres territoires et qui permettrait une meilleure prise en compte de cette diversité dans les politiques d'aménagement du territoire. Dans un premier temps nous proposons de caractériser les propriétés physiques, chimiques et biologiques des différents sites d'étude. Pour ce faire, nous allons d'abord résumer les caractéristiques abiotiques mesurées sur nos différents sites puis nous tenterons de voir comment ces paramètres peuvent expliquer la biodiversité qui y est relevée. Nous proposons ensuite d'identifier quelles sont les limites du protocole utilisé et comment un projet tel que celui que nous menons est l'occasion faire participer une grande diversité d'acteurs au développement des connaissances sur ces milieux trop peu souvent pris en compte que sont les sols urbains.

Matériel et Méthodes

Les sols urbains – Sélection des sites

Une pré-sélection des sites d'étude a été faite par Sol &co avant le début du stage. Nous avons vu précédemment que le milieu urbain était caractérisé, à l'échelle du paysage, par une forte hétérogénéité : que cela concerne les types de milieux rencontrés, leur historique d'occupation des sols ou encore leur contexte paysager proche. Ainsi, les sites pré-sélectionnés présentent une diversité de situations essayant de rendre compte de ce que l'on peut retrouver en ville. Ils ont été répartis de manière équitable : 4 sites à Laxou (AD, SDB, FDL et ST), 4 autres à Villers-lès-Nancy (PDB, PDV, BDF et FDH), 3 à Vandoeuvre-lès-Nancy (CGF, SAP et CCH) et 4 à Ludres (CMP, CJP, CDC et BDR). Nous présentons très brièvement la situation de ces sites dans le Tableau 1.

Cependant, au vu de la portée de notre projet, le choix final des sites d'étude s'est fait après concertation au cours de réunions avec les élus des communes concernées et prospection avec les agents responsables de la gestion des espaces naturels. Nous avons également dû prendre en compte les contraintes d'accessibilité pour la mini-pelleteuse qui devait réaliser les fosses pédologiques, et la fréquentation, afin que les panneaux pédagogiques qui seront disposés à côté des fosses soient bien mis en évidence pour les éventuels promeneurs.



Figure 3: Carte des différents points échantillonnés dans le cadre du projet TrameBioSol

Tableau 1: Présentation générale des différents sites échantillonnés

Code du site	Date d'échantillonnage	Longitude (Lambert 93 - m)	Latitude (Lambert 93 - m)	Type de milieu	Commune	Type de sondage
AD	02/06/2021	931328.9	6846813.3	Semi-naturel	Laxou	Fosse
BDF	19/07/2021	930782.1	6845365.6	Sol de forêt	Villers-lès-Nancy	Tarière
BDR	24/06/2021	934071.14	6841295.78	Forêt/Zone humide	Ludres	Tarière
CCH	31/05/2021	933627.4	6843841.2	Semi-naturel	Vandoeuvre-lès-Nancy	Fosse
CDC	24/06/2021	932546.77	6841145.56	Semi-naturel	Ludres	Fosse
CGF	31/05/2021	933215.1	6844568.7	Artificialisé	Vandoeuvre-lès-Nancy	Tarière
CJP	24/06/2021	932503.1	6840728.2	Agricole	Ludres	Fosse
CMP	24/06/2021	932390.6	6840550.1	Semi-naturel	Ludres	Fosse
FDH	19/07/2021	930896.9	6845656.2	Semi-naturel	Villers-lès-Nancy	Fosse
FDL	02/06/2021	930703.32	6847620.95	Semi-naturel	Laxou	Fosse
PDB	19/07/2021	931296.96	68448523.18	Agricole	Villers-lès-Nancy	Fosse
PDV	19/07/2021	930911.2	6844675.47	Semi-naturel	Villers-lès-Nancy	Fosse
SAP	31/05/2021	932776.9	6844268.8	Semi-naturel	Vandoeuvre-lès-Nancy	Fosse
SDB	02/06/2021	931774.09	6847259.83	Sol artificialisé	Laxou	Fosse
ST	02/06/2021	930940	6847006.6	Semi-naturel	Laxou	Fosse

Ainsi, le territoire concerné par le projet s'étend sur 12km, le long d'un parcours traversant les communes de Laxou, Villers-les-Nancy, Vandoeuvre-les-Nancy et Ludres. Ce parcours prend appui sur une trame verte déjà constituée ; on y retrouve des sols aux usages et aux contextes divers : pelouses calcaires, coteaux, vergers, friches, parcs et jardins publics, forêts, zones humides (mares principalement) et même un vallon froid (ici vallon froid d'Hardeval). Ce parcours longera sur toute sa longueur le massif forestier de Haye, classé « forêt de protection » depuis 2018 et pour lequel des réflexions sont menées afin de mettre en place une charte forestière de territoire.

Description des sites d'étude

Pendant que la pelleteuse réalisait le creusement des fosses sur chaque site, nous avons procédé en premier lieu à une description de la station en question. Cette description s'est faite à partir de fiches réalisées par Sol &co et dont nous détaillerons les informations spécifiées ci-dessous.

Premièrement, les informations d'ordre général étaient notées telles que la date d'échantillonnage, le nom de l'observateur, la météo des jours précédent, les coordonnées GPS du site (prises avec GARMIN etrex 20x) et le type de milieu concerné (artificialisé, agricole, forêt, semi-naturel, zone humide). Ensuite, des données plus spécifiques au paysage proche de la fosse ont été spécifiées : pente du site (en %), occupation du sol, présence/absence d'affleurements, de points d'eau et leur distance par rapport au site d'étude. Enfin, les observations de la surface du sol ont été rapportées. Ces observations concernent le recouvrement par la végétation, la hauteur de cette même végétation, le recouvrement en turricules de vers de terre (permettant d'estimer la présence plus ou moins importante de vers de terre anéciques), la pierrosité du sol ainsi que la présence éventuelle de signes de battance ou d'érosion (le type d'érosion est précisé également).

Un inventaire de la flore a également été réalisé. Cependant, en raison de contraintes temporelles (dans l'idéal, toutes les fosses pour une commune étaient faites dans la même journée) cet inventaire ne comprend que des données de présence/absence. Les informations concernant la flore pourront néanmoins être complétées à la suite de l'inventaire participatif prévu avec l'association Floraine sur chacun des sites. Ce sera l'occasion d'obtenir des données d'abondance/dominance et de caractériser précisément les associations végétales présentes, soit autant d'informations supplémentaires utiles à la description des sites d'étude.

Méthodes d'échantillonnage des sols

L'objectif va être de faire une description des différents profils de sols retrouvés sur chaque site et de prélever des échantillons des différents horizons afin de pouvoir les envoyer pour des analyses agronomiques (et de pollution dans certains cas) en laboratoire.

Dans un premier temps une fosse pédologique d'environ 1m de largeur a été creusée à la mini-pelleteuse. La profondeur de la fosse va dépendre de celle de la roche-mère sous-jacente ; ainsi certaines pourront faire moins d'1m de profondeur quand d'autres ont dépassé aisément les 2m, au point où la pelleteuse ne pouvait plus creuser plus profond. Pour les sites inaccessibles à la pelleteuse (BDR et CGF) ou présentant des réseaux souterrains trop proches (BDF), 3 sondages à la tarière ont été effectués.

Une fois la fosse creusée ou le sondage à la tarière réalisé, une description des différents horizons a été effectuée. Ainsi nous avons rapporté : la profondeur limite inférieure de l'horizon, sa structure, sa texture, sa compacité, sa couleur (déterminée à l'aide du nuancier de Munsell), sa teneur en éléments grossiers et leur nature, sa teneur en artéfacts et leur nature, le pourcentage de surface présentant des traces d'hydromorphie, l'activité biologique (notée de 1 à 4), la réaction à l'HCl pour estimer le taux de calcaire (notée de 1 à 4) et pour finir la présence d'éventuelles traces de pollution et d'odeurs.

L'analyse des échantillons prélevés sera réalisée au LANO (Laboratoire Agronomique de Normandie). Les paramètres mesurés seront : le pH, la teneur en matière organique et en azote total, le rapport C/N (reflétant la capacité de minéralisation de la matière organique), la Capacité d'Echange Cationique, la teneur en éléments majeurs (K, Ca, Na, P, Mg), le taux de saturation, la teneur en Ca total ainsi que la texture. Ces différents paramètres devraient nous permettre de déterminer la qualité physico-chimique des sols étudiés par comparaison avec des valeurs seuil issues de bases de données internes à Sol &co. Les valeurs obtenues seront alors reportées sur des axes permettant d'évaluer la qualité d'usage des sols étudiés. Des mesures de concentration en éléments traces métalliques ont été réalisées pour certains échantillons suspects.

Méthodes d'échantillonnage de la faune du sol

L'outil Jardibiodiv

Nous avons décidé de recourir à l'outil de sciences participatives Jardibiodiv pour réaliser les inventaires. Cet observatoire de la faune du sol a été mis au point conjointement par l'Université de Lorraine, via le Laboratoire Sols et Environnement, et Sol &co, sous l'impulsion d'Apolline Auclerc (LSE) et Quentin Vincent (Sol &co). Depuis sa création en 2017 plus de 850 formulaires ont été remplis et une synthèse des premiers résultats a même été publiée dans la revue *Etude et Gestion des Sols* ([Auclerc, Blanchart, et Vincent, 2019](#)). Le but de la démarche est de répondre à plusieurs grandes questions concernant la diversité des sols en ville et les mesures pouvant être mises en place par chacun pour la préserver.

Le protocole à appliquer se décline sous deux formes. L'une, « jardinier amateur », a été conçue pour demander peu de temps et d'efforts à l'utilisateur et consiste en une chasse à vue. L'utilisateur va, pendant une dizaine de minutes, se mettre au niveau du sol et attraper tous les invertébrés qu'il verra, en se déplaçant légèrement toutes les 15 secondes environ. Chaque organisme attrapé est alors identifié et inventorié sur une fiche. L'autre, « jardinier scientifique », est faite de sorte à être utilisable en recherche et va s'étaler sur un plus long laps de temps (7 ou 10 jours) via la méthode dite du piège Barber, décrite plus bas. Pour l'instant, il semblerait qu'un certain nombre de personnes se soient prêtées à l'exercice, notamment des professeurs des écoles ayant manifesté un besoin de faire connaître à leurs élèves la biodiversité en ville. Néanmoins le public visé par une telle démarche est assez varié : des familles aux étudiants/stagiaires en Université, en passant par les jardiniers amateurs ou les associations, élus et chambres d'agriculture. De ce fait, les auteurs essaient d'adapter leurs modes de communication au public visé, que ce soit via des stands, des conférences, des projets de recherche ou des formations. Aujourd'hui, une version numérique de l'outil est même présente sur le portail e-phytia de l'Inrae, permettant à tout un chacun de reporter les données qu'il aura obtenu.

Sur ce dernier point on pourra également insister sur le partenariat créé en 2015 avec l'antenne lorraine du laboratoire Tous Chercheurs de l'Inrae. Il est l'occasion pour des particuliers mais aussi des collégiens et lycéens de découvrir les aspects de la démarche scientifique, entourés de chercheurs et en ayant accès à un matériel de qualité. Un peu plus de 200 collégiens et lycéens ont ainsi pu appliquer le protocole Jardibiodiv et participer de fait à la production de données scientifiques. Les professeurs ont également fait part de leur volonté d'intégrer cet outil dans leurs futurs projets de sciences. Les auteurs ont pointé du doigt l'intérêt de partenariats de ce genre, qui pourraient permettre de répéter les expériences dans le temps pour avoir un aperçu de la dynamique de la biodiversité des sols urbains.

Concernant la fiabilité des résultats, les auteurs ont montré le fait que certains groupes d'organismes étaient plus souvent sujets à des erreurs d'identification que d'autres. Cela concerne principalement les Carabes, Fourmis, Collemboles arthropléones et les Araignées.

Manipulations sur site

Sur chaque site, des pièges Barber (3 par site) ont été disposés dans un rayon d'une dizaine de mètres autour de la fosse pédologique ou du lieu de sondage à la tarière. Nous avons essayé de placer nos pièges dans 3 micro-situations différentes à chaque fois (ex : à proximité d'une haie, d'un point d'eau, sous couvert ou sur sol nu...) afin d'avoir un échantillonnage qui soit le plus représentatif possible de chaque site (Figure 4). Les pièges ont été récoltés après une semaine et leur contenu a été stocké en attendant de procéder à l'identification.



Figure 4: Installation d'un piège Barber sur un de nos sites d'étude

En parallèle, une chasse à vue était effectuée avec les citoyens présents sur place. Les organismes capturés ont ainsi été identifiés puis dénombrés. Néanmoins nos analyses ne porteront que sur les invertébrés attrapés dans les pièges Barber. Sol & co travaille actuellement à mettre au point des protocoles non-létaux pour l'échantillonnage des macro-invertébrés du sol.

Pour finir, en parallèle également, l'abondance en vers de terre a été déterminée à l'aide du test bêche. Un bloc de sol (environ 20x20cm) est prélevé à la pelle puis effrité petit à petit pour récupérer les vers de terre qui y seraient présents. Les vers récupérés sont ensuite identifiés en 4 grands groupes : anéciques, endogés, épigés et juvéniles (identification plus complexe).

Identification des individus dans les pièges

Une fois les pièges récoltés, nous avons identifié leur contenu à l'aide d'une loupe binoculaire. Nous avons gardé le même niveau de classification que celui utilisé dans le protocole Jardibiodiv : certains organismes étaient ainsi identifiés jusqu'à la classe (Chilopodes, Diplopodes), l'ordre (Araignées, Orthoptères, Opilions), le sous-ordre (Cloportes) ou la famille (Carabes, Staphylins, Elateridés, Scarabées...).

Concernant les rôles trophiques de chaque groupe d'organismes, nous avons utilisé la même source, à savoir le livre « Découvrir les invertébrés vivant à la surface du sol » d'Apolline Auclerc. Un tableau y résume les rôles trophiques majoritaires et secondaires de chacun.

Analyses statistiques

Les données brutes d'abondance pour chaque site ont été reportées en premier lieu dans un tableau Excel. Nous avons, après le retrait de la mésofaune, calculé le nombre de groupes présents dans chaque piège ainsi que l'abondance totale. Nous avons ainsi pu obtenir la proportion que représente chaque groupe pour chaque piège, ce qui nous a permis de calculer l'indice de diversité de Shannon et l'indice d'équitabilité de Pielou. Sur ces 3 indicateurs, la moyenne des 3 pseudo-réplicats et leur écart-type ont été calculés pour les 15 sites.

Concernant le rôle trophique des différents groupes d'invertébrés, nous nous sommes retrouvés face à un problème : certains groupes ont plusieurs rôles trophiques différents, variant selon les espèces desdits groupes. Ainsi nous avons considéré uniquement leur rôle trophique majoritaire, et lorsque plusieurs rôles étaient indiqués (ex : Phytophage/saprophage), nous avons compté les individus comme remplissant chacun des rôles. Nous nous sommes donc retrouvés avec plus d'organismes que ce qui a été dénombré mais cela devrait nous permettre de mieux déterminer la proportion qu'occupe chaque groupe au sein de sa communauté.

Tableau 2: Rôle trophique des différents groupes d'organismes échantillonnés ; modifié à partir de "Découvrir les invertébrés vivant à la surface du sol" d'Apolline Auclerc

Rôle trophique principal	Groupes concernés
Détritivore	Diptères (larves), Orthoptères (grillons), Cloportes, Diplopodes, Vers de terre
Floricoles	Elatéridés
Granivores	Gendarmes
Omnivores	Scarabées, Fourmis, Perce-oreilles, Orthoptères (Sauterelles, Grillons)
Phytophages	Lépidoptères (larves), Orthoptères (Criquets), Charançons, Punaises, Cicadelles, Escargots, Limaces
Prédateurs	Carabes, Staphylins, Orthoptères (Sauterelles), Coccinelles, Punaises, Araignées, Opilions, Chilopodes,
Rhizophages	Elatéridés (larves), Scarabées (larves)
Saprophages	Punaises

Une fois nos données mises en forme, nous sommes passés sur RStudio afin de réaliser des analyses plus poussées.

Dans un premier temps, nous avons utilisé la fonction « barplot2 » du package « gplots » afin de visualiser les différences d'abondance, d'indice de Shannon et d'indice de Pielou entre nos sites. Nous avons ainsi obtenu les figures 5, 6 et 7.

Pour compléter cet aperçu graphique, nous avons décidé de vérifier si les différences observées entre sites étaient significatives à l'aide d'une ANOVA à un facteur pour chaque indice cité précédemment (abondance, indice de Shannon, indice d'équitabilité de Pielou). Une ANOVA à deux facteurs a été ensuite effectuée afin d'observer si les différences entre types de milieux étaient significatives.

Après cela nous avons décidé de réaliser une analyse multivariée. Etant donné la nature de nos données, à savoir un tableau de contingence comprenant les groupes d'organismes relevés en lignes et les sites échantillonnés en colonne, nous avons effectué une AFC (fonction « CA » du package « FactoMineR »). La seconde condition d'application pour réaliser l'AFC n'étant pas remplie, nous avons décidé d'avoir recours à un test du chi-deux employant la méthode de Monte-Carlo, après avoir retiré de notre tableau les organismes n'étant présents sur aucun site, ce qui empêchait la réalisation du test (présence de « 0 »). Après vérification du nombre de dimensions dont l'inertie est supérieure à l'inertie moyenne, nous avons décidé d'en retenir 4. Nous avons alors obtenu la Figure 10.

Résultats

Propriétés physiques et chimiques

La profondeur de nos sites va de 40cm à plus de 200cm et se situe en moyenne autour de 110cm. Les sites présentant les plus faibles profondeurs sont le Plateau de Villers (PDV) et la Carrière de la Castine (CDC), respectivement à 40cm et 50cm. A l'inverse, les profils de sol les plus profonds sont ceux du Fond d'Hardeval (FDH), du Square des Bosquets (SDB) et de la rue de l'Abbé Didelot (AD). Leurs profondeurs respectives sont de 180cm, 190cm et 200cm.

Concernant le nombre d'horizons, il se situe généralement entre 3 et 4. On notera tout de même que deux sites ne présentent que 2 horizons : la Carrière de la Castine (CDC) et le Plateau de Villers (PDV). Le Square des Bosquets (SDB) présente quant à lui 7 horizons.

La totalité des profils décrits présentent une structure majoritairement grumeleuse. Certains sites vont cependant présenter des structures lamellaires en profondeur, tels que le Bois des Fourasses (BDF), le sentier des Enrichards (CCH) et le Square des Bosquets (SDB). On peut noter que le site rue de l'Abbé Didelot (AD) possède un horizon à structure prismatique entre 120 et 155cm de profondeur.

L'activité biologique est de manière générale plus importante dans les horizons supérieurs et décroît dans les horizons inférieurs. On retrouve les plus fortes activités biologiques pour les sols étudiés dans la ville de Villers-lès-Nancy (BDF, FDH, PDB et PDV) et le site rue de l'Abbé Didelot (AD). A l'inverse, les activités biologiques les plus faibles ont été retrouvées pour les sites du Bois du Railleu

(BDR), des coteaux rue du Général Frère (CGF), du Fond de Lavaux (FDL), de la Sapinière (SAP) et du Square des Bosquets (SDB).

La teneur en éléments grossiers est très variable, suivant les sites et les horizons considérés. Certains profils possèdent des horizons à 80% d'éléments grossiers, allant parfois jusqu'à 90% : la rue de l'Abbé Didelot (AD) à partir de 155cm de profondeur, le Square des Bosquets (SDB) dans son premier horizon et la Sapinière (SAP) dans son dernier horizon. La répartition des teneurs en éléments grossiers entre les horizons ne semble pas suivre de logique particulière. On peut néanmoins noter que la plupart des sites situés sur plateau (PDB, PDV et SAP) ont des teneurs en éléments grossiers décroissantes avec la profondeur.

Des artefacts ont été retrouvés en quantité importante sur plusieurs sites de la ville de Laxou. Ainsi, on pouvait noter la présence de brique et de charbon dans les 5 premiers horizons du Square des Bosquets (SDB) ; idem avec de ferraille également dans le premier horizon du site Secteur de la Tarrère (ST) et on a même retrouvé des tuyaux, du béton et du polystyrène dans le dernier horizon du site rue de l'Abbé Didelot (AD). Nous avons même noté la présence d'un horizon entièrement d'origine anthropique dans le profil du Square des Bosquets (SDB) et celui de la rue de l'Abbé Didelot (AD).

Pour finir, nous avons observé des traces d'hydromorphie dans les horizons inférieurs de certains profils. Ces traces sont parfois présentes en quantité très importante : elles représentent ainsi 80% des derniers horizons du site du sentier des Enrichards (CCH), 80% de l'horizon 3 du profil rue de l'Abbé Didelot et même 90% des horizons 5, 6 et 7 au Square des Bosquets (SDB). Des traces d'hydromorphie ont été observées également sur les sites du Bois des Fourasses (BDF) et du Bois du Railleu (BDR).

Biodiversité des sols étudiés

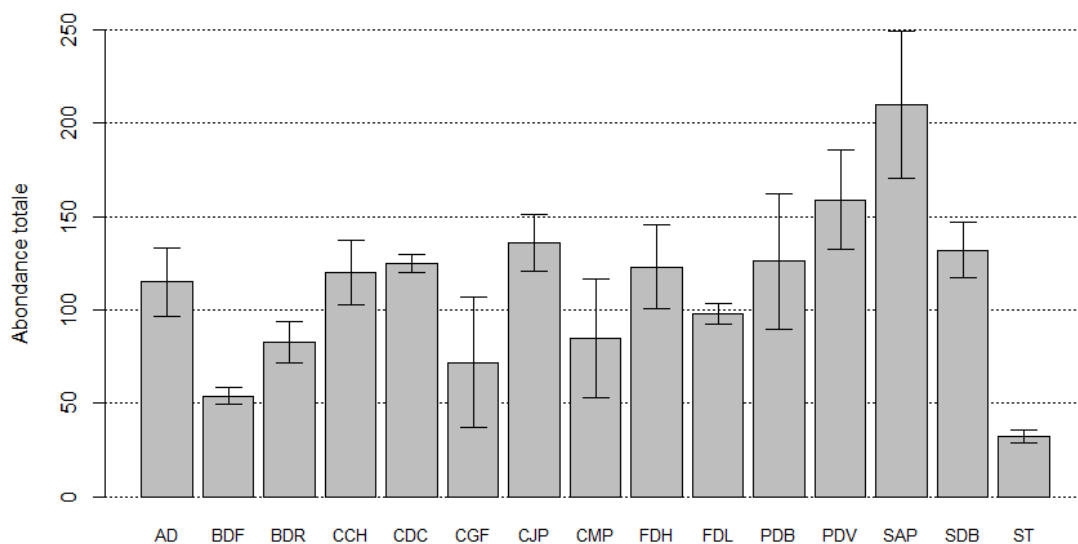


Figure 5: Abondance totale des invertébrés retrouvés dans les pièges Barber aux différents sites d'étude.

Aucune différence significative d'abondance n'a été relevée entre nos sites (ANOVA à un facteur ; p -value=0.125) (Figure 5). Idem lorsqu'on regarde la différence entre différents types de milieu (ANOVA à un facteur ; p -value=0.23). Néanmoins on remarque que l'abondance totale en invertébrés du sol semble être la moins élevée au niveau du site Secteur de la Tarrère (ST) avec 32 individus, contrairement au site de la Sapinière (SAP) qui semble présenter l'abondance la plus élevée avec 210 individus. On note également une forte variabilité intra-site.

Concernant l'indice de diversité de Shannon, aucune différence significative n'a été observée entre nos sites (ANOVA à un facteur ; p -value=0.177). On voit sur la Figure 6 (ci-dessous) que le site des Coteaux rue du Général Frère (CGF) semble être celui présentant la plus faible diversité d'organismes, suivi de près par le site rue de l'Abbé Didelot (AD). Cependant on remarque que ces sites sont ceux qui présentent la plus grande variabilité intra-site, avec le Bois du Railleu (BDR).

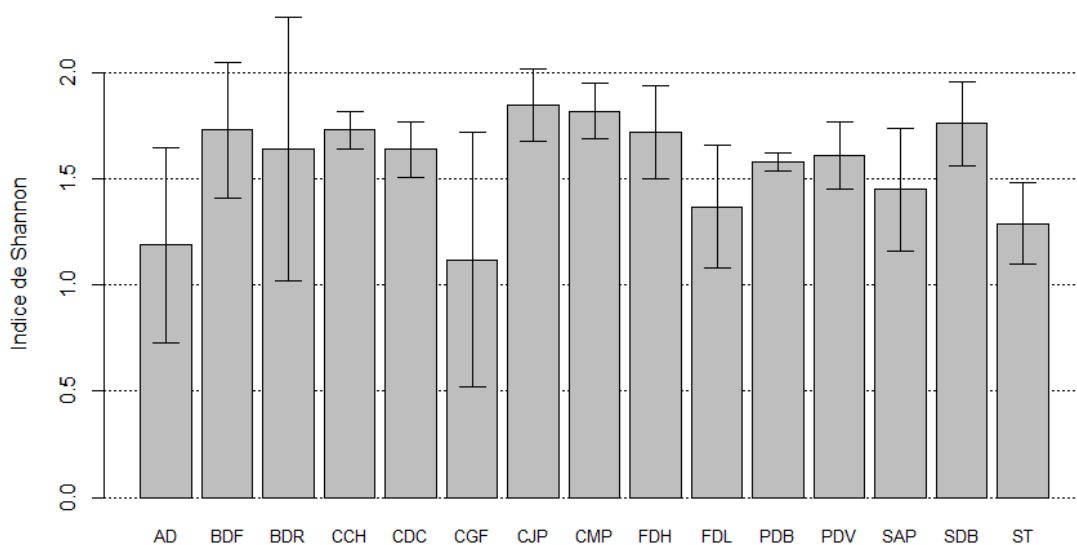


Figure 6: Indice de diversité de Shannon calculé pour chaque site d'étude

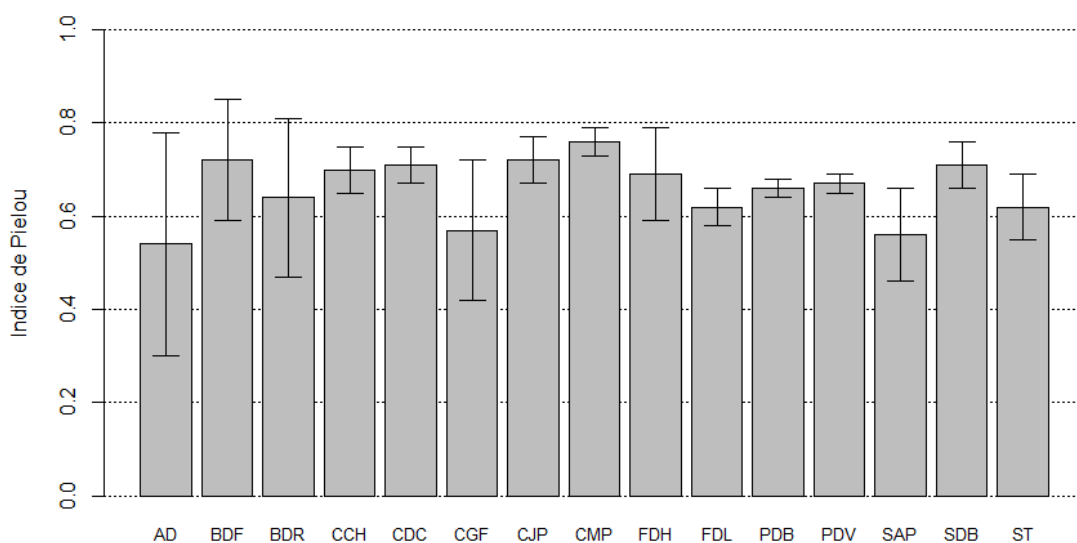


Figure 7: Indice d'équitabilité de Pielou calculé pour chaque site d'étude

Ici encore, aucune différence significative n'a pu être observée entre nos sites (ANOVA à un facteur ; p-value=0.469). Nos différents sites présentent des indices d'équité relativement semblables, compris entre 0.54 et 0.76. Le site rue de l'Abbé Didelot est celui présentant l'indice le plus faible et la variabilité la plus forte. Cette variabilité est importante également pour les sites du Bois du Railleu (BDR) et des coteaux rue du Général Frère (CGF).

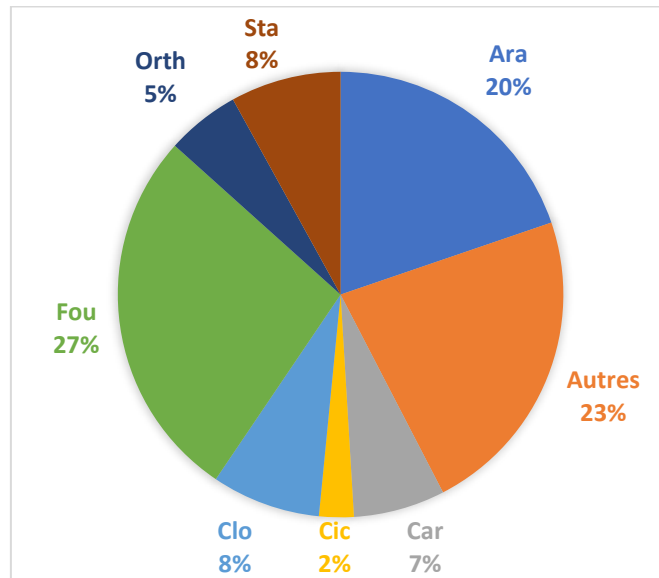


Figure 8 : Répartition des organismes récoltés dans l'ensemble des pièges disposés.

Ara : Araignées ; Car : Carabes ; Cic : Cicadelles ; Clo : Cloportes ; Fou : Fourmis ; Orth : Orthoptères ; Sta : Staphylins ; Autres : groupes d'organismes comptant pour moins de 1.5% du total : Charançons, larves de Diptères, Escargots, Individus Indéterminés, larves de Coléoptères, de Lépidoptères et de Tipule, Limaces, Chilopodes, Diplopodes, Opilions, Perce-oreilles, Punaises, Scarabées, Vers de Terre.

On remarque sur la Figure 8 que les Fourmis et les Araignées représentent quasiment la moitié des individus retrouvés dans les pièges (respectivement 27% et 20%). Le rassemblement des organismes représentant moins de 1,5% du total représente quant à lui 23% de ce même total. On retrouve les Staphylins, Cloportes et Carabes dans des proportions similaires (respectivement 8%, 8% et 7%), suivis par les Orthoptères (5%) et les Cicadelles (2%).

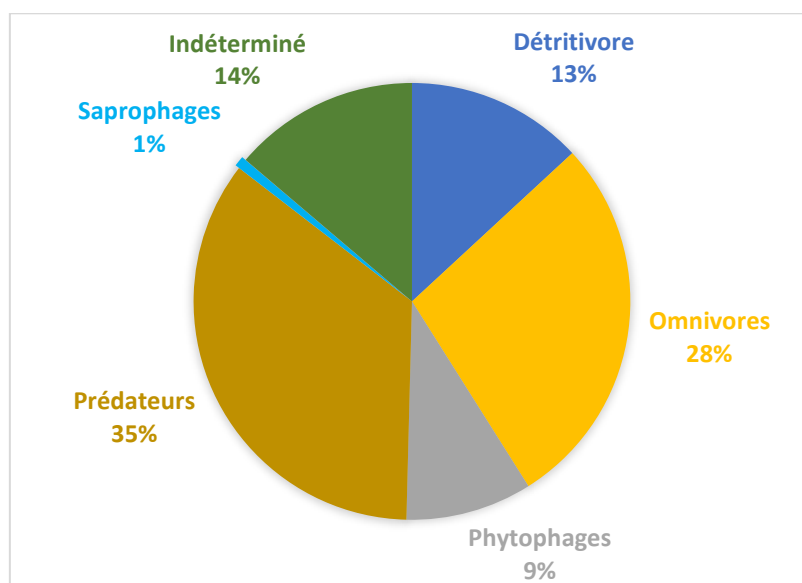


Figure 9: Part des différents groupes trophiques représentés dans l'ensemble des pièges disposés. Les Rhizophages n'apparaissent pas ici car ils représentent moins de 1% des organismes retrouvés.

Sur la figure 9, nous pouvons voir que les prédateurs sont le groupe le plus représentés, soit 35% du total des invertébrés récoltés. Ils sont suivis par les omnivores, comptant pour 28%, puis par les détritivores, les phytophages et les saprophages, représentant respectivement 13%, 9% et 1% des individus piégés. On notera tout de même que l'on n'a pas pu attribuer de rôle trophique à 15% de nos organismes, cette catégorie regroupant les groupes « Individus indéterminés » et « Autres ».

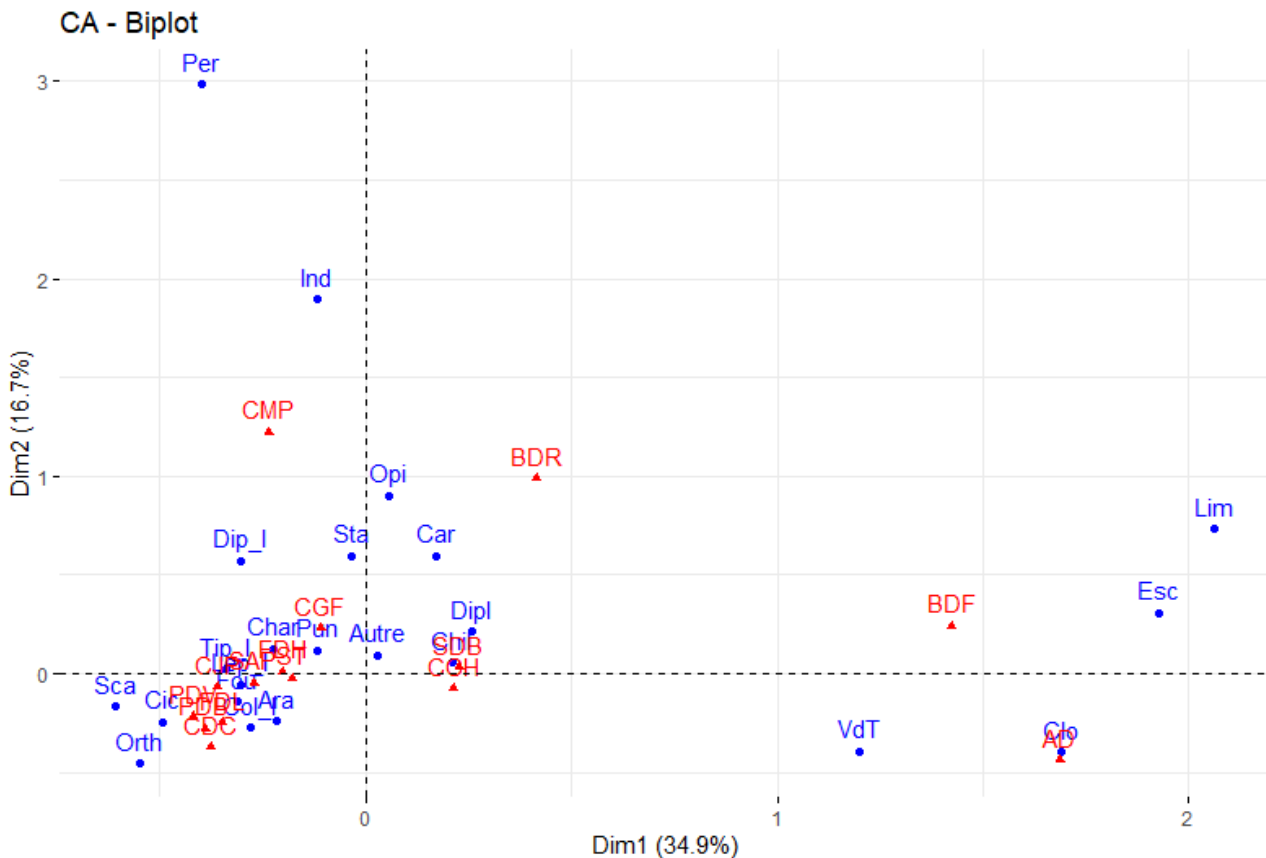


Figure 10: AFC de l'ensemble des sites (n=15) et des groupes d'organismes retrouvés (n=23)

La mésofaune (Acariens et Collemboles) et les groupes absents de tous les sites ont été retirés de l'analyse (cf. Matériel et Méthodes)

Discussion

Explication des résultats

Les résultats que nous avons obtenus viennent confirmer l'importante variabilité des sols échantillonnés. On notera que les sites présentant les sols les plus superficiels ici sont situés sur des plateaux calcaires (CDC et PDV). La structure grumeleuse retrouvée sur la quasi-totalité de nos sites laisse supposer un environnement plutôt favorable à la vie du sol, ce type de structure favorisant la circulation de l'air dans le milieu.

On peut noter sur la Figure 6 que les indices de diversité obtenus sont tout à fait comparables à ce que l'on peut retrouver dans des milieux milieu semi-naturels, voire naturels (Salmon et al., 2020 ; Joimel et al., 2017). Par exemple, les indices d'équitabilité mesurés s'approchent de ceux retrouvés dans la publication de Joimel et al. (2017) pour des milieux forestiers. Selon les auteurs, les sols urbains sont le support d'une diversité faunistique et floristique plus importante que ce que l'on pourrait imaginer de prime abord. Bien que traitant des microarthropodes du sol, il y est expliqué que la qualité biologique des sols urbains et industriels était comparable à celle de sols

forestiers. A l'inverse, les usages agricoles des terres sont ceux ayant l'impact le plus délétère sur la microfaune du sol.

L'équitabilité mesurée sur nos différents sites traduit des communautés assez diversifiées sur l'ensemble de nos sites. Avec une moyenne autour de 0.6, on note qu'aucun groupe d'organismes ne domine les communautés échantillonnées. On peut ainsi écarter une éventuelle présence d'espèces invasives ou opportunistes sur nos sites d'étude. Il serait intéressant de rapporter ces indices à la diversité fonctionnelle et de suivre leur évolution au cours du temps et en y intégrant les informations sur le paysage proche. En effet, selon le rapport TRACES, qu'il s'agisse de milieu ouvert ou fermé, le paysage proche va influencer sur la diversité fonctionnelle de la faune du sol. Plus le contraste paysager sera important, plus la diversité fonctionnelle le sera également.

La non-significativité des différences d'abondance et d'indices de diversité observées entre les sites vient très probablement de la grande variabilité intra-site. Henriot C. et Quentin V. (2021) ont également obtenu des résultats en ce sens : l'abondance et la diversité ne diffèrent pas significativement selon les usages des sols, mais la composition des communautés est différente. De l'autre côté, Auclerc et al. (2009) pointaient déjà l'importance de connaître les préférences d'habitat et les capacités de dispersion des organismes du sol afin d'étudier l'assemblage des communautés.

Concernant la composition des communautés retrouvées, on remarque que le pourcentage de prédateurs (Figure9) correspond à la somme des proportions d'Araignées, Carabes et Staphylins, qui sont des prédateurs. La prédominance de ces organismes peut nous laisser penser qu'une quantité suffisante de proies est disponible pour permettre leur maintien. Les omnivores sont représentés ici presque exclusivement par les fourmis. Ces dernières peuvent avoir plusieurs rôles selon l'espèce et la saison. Elles peuvent être détritivores ou prédatrices (jouant parfois un rôle de régulation) et les galeries creusées par leurs colonies participent à l'aération du sol. D'un point de vue fonctionnel il est donc intéressant d'avoir ces organismes dans un sol. Les détritivores sont assez bien représentés également. Leur abondance va avoir tendance à refléter l'efficacité du retour des nutriments au sol. Les analyses en laboratoire nous donneront une réponse précise mais nous pouvons déjà supposer que les sites riches en décomposeurs (ex : AD) devraient avoir une teneur en matière organique importante.

En regardant la Figure 10, on peut noter que le site rue de l'Abbé Didelot (AD) se détache nettement des autres. En regardant la contribution des différents sites il apparaît que c'est celui qui contribue le plus à l'axe 1. Lorsqu'on regarde la contribution des différents groupes d'organismes, ce sont les Cloportes (Clo) qui vont contribuer le plus fortement à l'axe 1. Dans un premier temps on remarque que le site AD est celui pour lequel on a retrouvé le plus de Cloportes, et de loin. Ce qui peut déjà nous laisser penser que la fonction de décomposition y est assurée de manière efficace. Ensuite, en voyant que les sites pour lesquels on a retrouvé d'importantes traces d'hydromorphie, c'est à dire le Square des Bosquets (SDB) et le sentier des Enrichards (CCH), ne sont pas loin et que les vers de terre (VdT), Limaces (Lim) et Escargots (Esc) sont situés du même côté du plan, nous pouvons supposer que l'axe 1 est lié à un gradient d'humidité. La présence des sites Bois des Fourasses (BDF) et Bois du Railleu (BDR) à cet endroit du plan aurait pu faire penser à un effet du couvert végétal, mais il faut rappeler que nous y avons également retrouvé des traces d'hydromorphie. Il serait néanmoins intéressant de considérer plus précisément le couvert végétal

lors de l'échantillonnage de la flore qui sera réalisé plus tard par Floraine, par exemple en indiquant le recouvrement végétal pour chaque strate.

Propositions d'analyses/expérimentations supplémentaires

En raison de la date à laquelle nos derniers échantillonnages ont été effectués, les résultats des analyses physico-chimiques des horizons de sol prélevés ne nous sont pas encore parvenus. Néanmoins nous pouvons déjà proposer de quelle façon les analyser. Etant donné le type de données considérées, nous pourrions réaliser une AFDM (Analyse Factorielle des Données Mixtes). Cette méthode d'analyse, créée par Hill et Smith en 1972 et reprise depuis par certains auteurs travaillant notamment sur les milieux aquatiques, permet d'identifier des proximités entre les variables ou les individus. On la retrouve principalement dans des publications cherchant à lier les communautés aquatiques aux propriétés physico-chimiques du milieu (Dolédec and Chessel, 1994 ; Braak and Verdonschot, 1995).

De plus, il serait intéressant de savoir si certains groupes d'invertébrés du sol peuvent dépendre d'associations végétales particulières. Cependant, les espèces végétales en milieu urbain ne vont probablement pas respecter précisément les modalités des associations végétales étant donné que, pour le cas des milieux les plus intensément gérés, les espèces présentes sur place sont le plus souvent choisies par les gestionnaires et certaines d'entre elles sont même allochtones. Néanmoins cette limite pourrait être un atout en termes d'expérimentation. A la manière dont certains auteurs ont déjà tenté de reconstruire des profils de sol entiers afin d'observer leur colonisation par la faune du sol (Hedde et al., 2018), il serait intéressant par exemple de « construire » des assemblages d'espèces végétales dont on observerait ensuite l'effet sur la diversité des espèces du sol.

Afin d'aller plus loin dans la compréhension des mécanismes qui régissent les assemblages d'espèces de la macrofaune du sol, il sera nécessaire d'obtenir plus d'information sur leur capacité de dispersion et sur l'arrangement spatial des différentes parcelles étudiées. Bien que traitant d'agrosystèmes, Jérôme Mathieu (2016) déplorait que peu de travaux soient effectués pour étudier la réponse de la macrofaune du sol à des perturbations. Selon lui, les communautés du sol sont majoritairement considérées comme des assemblages fixes, là où une approche par la résilience tiendrait compte des processus dynamiques régissant les assemblages comme la dispersion ou les extinctions. Dans notre cas il serait donc intéressant d'identifier les refuges potentiels pour les différents groupes d'organismes et la façon dont ils sont disposés dans l'espace en vue de leur connexion/reconnexion.

La réalisation de fosses pédologiques et les diagnostics de la qualité des sols réalisés sont également une opportunité pour d'autres champs de recherche qui souhaiteraient étendre leur connaissance du milieu urbain. On peut citer par exemple les microbiologistes du sol qui pourraient voir ici l'occasion d'inventorier les communautés microbiennes présentes sur nos sites d'étude. Ces inventaires pourraient compléter ceux déjà réalisés et permettre d'avoir une meilleure connaissance de l'interaction entre les différents compartiments du sol en ville.

Les fosses pédologiques restées ouvertes sont aussi intéressantes d'un point de vue pédagogique. Elles pourraient permettre aux plus jeunes de découvrir avec leurs enseignants les sols d'une manière générale, et aux élèves et étudiants du monde de l'environnement d'avoir des exemples concrets de sols urbains et de leur diversité. On peut penser ici à des lycées professionnels

comme Pixérécourt ou Roville-aux-Chênes, ou même aux enseignements de l'université de Lorraine, que cela concerne la pédologie ou l'écologie urbaine.

Limites du protocole utilisé

Tout d'abord, si le niveau de classification utilisé est bien abordable, étant donné qu'il utilise des critères morphologiques facilement identifiables, il rend plus compliquée l'analyse de la diversité fonctionnelle. Une des solutions serait de faire une demande d'accès à la base de données BETSI (Biological and Ecological functional Traits of Soil Invertebrates). Issue d'un projet éponyme qui a duré de 2011 à 2014 et a regroupé 15 chercheurs en écologie des sols, cette base de données a pour but de synthétiser et organiser les données sur les traits fonctionnels et les préférences écologiques des invertébrés du sol. Elle continue actuellement à être alimentée par les chercheurs. L'utilisation d'une telle base de données nous permettrait ainsi de déterminer, pour chaque groupe étudié, la proportion d'espèces remplissant tel ou tel rôle trophique, et de pondérer nos résultats d'abondance avec cette information.

Nous avons remarqué une grande variabilité au niveau des abondances et autres indices mesurés sur chaque site. Cela vient probablement du fait que chacun des pièges disposés sur un site avait une micro-situation bien particulière. Faire plus de réplicats lors de la pose des pièges (ex : 3 pièges par micro-situation au lieu de 3 par site) nous permettrait d'affiner nos résultats en prenant en compte la variabilité des habitats à l'échelle du site. Cependant, placer autant de pièges risque d'être destructeur pour l'écosystème et contradictoire à l'approche éthique de Jardibiodiv en cours de développement.

Il pourrait être utile d'inclure la description du type d'humus à notre protocole. Si dans le cadre de notre projet des analyses physico-chimiques pourront nous l'indiquer avec précision, il serait intéressant que les citoyens puissent eux même avoir une idée du type d'humus sur leur terrain, ce qui reste un bon indicateur de l'activité de décomposition de la faune du sol. Avec une clé prenant en compte des critères faciles à observer (ex : état de fragmentation de la litière, présence ou non de la litière de l'année précédente, épaisseur des différentes couches) ce type d'information devrait pouvoir être obtenu par tout un chacun.

Proposition de gestion des espaces

Dans un premier temps il est bon de rappeler que restreindre l'artificialisation des sols est une des mesures principales pour leur préservation. L'annexe 5 relative à la biodiversité du SRADDET Grand Est précise qu'entre 2006 et 2019 l'augmentation des surfaces artificialisées a été de 19%, alors qu'en même temps la population n'a progressé que de 1,1%. Nous sommes ainsi la 2^e région française ayant vu l'artificialisation progresser le plus fortement pendant cette période (ORSAS Lorraine & ORS Alsace, 2017). Cet étalement urbain se fait principalement en périphérie des villes, au niveau des franges agricoles, qui servent pourtant de zones tampon faisant le lien entre le milieu urbain et la nature aux alentours. La réduction de la consommation d'espace est donc un enjeu majeur pour la préservation de la biodiversité du sol et en général. En plus de cette réduction de la consommation d'espace, il est nécessaire d'avoir une réflexion sur la restauration de sols de pleine terre là où il n'y a plus lieu de garder de surface artificialisée.

L'enjeu d'une politique TVB est de passer d'une stratégie de protection de sites à une protection d'un réseau de sites connectés entre eux. Dans notre cas, il faut noter la nécessité de déjà bien connaître les sites d'étude pour pouvoir agir, à minima, à l'échelle locale. Dans cette optique, Sol &co développe en interne des outils d'aide à la décision inspirés du principe de la

méthodologie Destisol (Blanchart et al., 2019) : les différents indicateurs mesurés (pédologiques, agronomiques, biologiques) devraient permettre de définir la compatibilité entre l'état des sols échantillonnés et différents types de couverture de sol.

Conclusion

Depuis quelques années, l'approche par les services écosystémiques s'est nettement développée. En revanche, le milieu urbain reste très peu traité, et les sols urbains le sont de manière encore plus marginale (Blanchart et al., 2017). Le même constat peut être fait concernant la biodiversité des sols en milieu urbain, dont l'étude ne concerne la plupart du temps qu'un seul type d'organisme (Guilland et al., 2018). Sur ce dernier point on notera néanmoins que certains auteurs ont tenté de définir des indicateurs de qualité du sol à partir d'espèces y résidant. Cependant, à notre connaissance, les communautés d'organismes des sols en milieu urbain restent très peu étudiées dans leur ensemble, et encore moins en considérant l'ensemble des paramètres du milieu.

Nous avons pu, à travers ce rapport, proposer une approche prenant en compte les paramètres physiques, agronomiques et biologiques des sols en ville, en vue de leur intégration dans un outil d'aide à la décision à destination des acteurs de l'aménagement du territoire. Cette approche vise aussi, via des protocoles de sciences participatives, à valoriser les résultats obtenus auprès des citoyens dont l'intérêt pour les questions d'ordre écologique croît au fil du temps, et à en faire des acteurs de la recherche scientifique. La formation continue des agents des collectivités et d'autres acteurs au sujet des sols et de leur biodiversité fait également partie des points retenus lors de la réunion du Comité de Pilotage.

Si les résultats des analyses agronomiques ne nous sont pas encore parvenus, nous avons pu néanmoins obtenir un bon aperçu des communautés retrouvées sur les différents sites d'étude. L'outil Jardibiodiv semble ainsi être un moyen efficace d'obtenir rapidement, et à bas coût, des informations sur la faune présente dans un sol et sur les différentes fonctions que cette dernière va assurer. Une expertise en entomologie et des connaissances en traitement statistique restent nécessaires à qui veut rentrer dans le détail, mais en l'état il nous semble être un bon levier pour faire connaître la vie des sols au plus grand nombre et obtenir des données sur celle-ci.

Schindelbeck et al. (2008) pointaient la nécessité de développer des approches prenant en compte les 3 aspects du sol (physique, biologique et chimique) pour une meilleure gestion de la qualité des sols, et qui permettraient d'identifier les contraintes d'un sol et de cibler les pratiques de gestion ou les stratégies de remédiation à mettre en place. Ainsi, le couplage des diagnostic de la macrofaune du sol avec les différents paramètres physiques et agronomiques du sol devrait nous donner un aperçu complet de l'état de chaque site. Les connaissances ainsi obtenues guideront les mesures à proposer pour une meilleure prise en compte de la faune du sol dans leur gestion.

L'annexe 5 – Biodiversité du SRADDET Grand Est nous indique que des études cartographiques sont réalisées dans très peu de SCOT pour détailler les continuités écologiques et pointe la nécessité d'affiner localement cette cartographie (actuellement au 1 : 100000^e). Nous pensons qu'il serait utile de considérer cet aspect dans la suite du projet, une fois les diagnostics et leur interprétation terminés.

Bibliographie

- ADHIKARI, Kabindra et HARTEMINK, Alfred E., 2016. Linking soils to ecosystem services — A global review. In : *Geoderma*. janvier 2016. Vol. 262, pp. 101-111..
- AUCLERC, A, BLANCHART, Anne et VINCENT, Quentin, 2019. Jardibiodiv, un outil de sciences participatives sur la biodiversité des sols urbains. In : *Etude et Gestion des Sols*. 2019. pp. 17.
- AUCLERC, A., PONGE, J.F., BAROT, S. et DUBS, F., 2009. Experimental assessment of habitat preference and dispersal ability of soil springtails. In : *Soil Biology and Biochemistry*. août 2009. Vol. 41, n° 8, pp. 1596-1604.
- BARRIOS, Edmundo, 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. In : *Ecological Economics*. décembre 2007. Vol. 64, n° 2, pp. 269-285.
- BILLET, Philippe, DESROUSSEAU, Maylis, « Sols et législations », Afes.fr, 2017. Disponible à l'adresse : <https://www.afes.fr/les-sols/sols-et-legislations/>
- BLANCHART, Anne, SERE, Geoffroy, CHEREL, Johan, WAROT, Gilles, STAS, Marie, CONSALES, Jean Noël et SCHWARTZ, Christophe, 2017. Contribution des sols à la production de services écosystémiques en milieu urbain – une revue. In : *Environnement Urbain*. 2017. Vol. 11, pp. 1050486ar.
- BLANCHART, Anne, SERE, Geoffroy, CHEREL, Johan, WAROT, Gilles, STAS, Marie, CONSALES, Jean Noël et SCHWARTZ, Christophe, 2018. Towards an operational methodology to optimize ecosystem services provided by urban soils. In : *Landscape and Urban Planning*. août 2018. Vol. 176, pp. 1-9.
- DOLEDEC, Sylvain, CHESSEL, Damien, 1994. Co-inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. In: *Freshwater Biology*. Vol 31, pp. 277-294
- EUROPEAN COMMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE. INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY., 2013. *Atlas européen de la biodiversité des sols*. Publications Office. Disponible à l'adresse : <https://data.europa.eu/doi/10.2788/89331>.
- FLORENCE, DUBS, 2014. Les TRAits de la faune du sol pour relier les Changements Environnementaux aux fonctions du Sol (TRACES) The soil fauna TRAits to link the Changes of Environment to Soil functions. In : . pp. 104.
- GUILLAND, C, 2018. La biodiversité des sols urbains au service des villes durables. In : *Etude et Gestion des Sols*. 2018. pp. 20.
- HEDDE, Mickaël, NAHMANI, Johanne, SÉRÉ, Geoffroy, AUCLERC, Apolline et CORTET, Jerome, 2019. Early colonization of constructed Technosols by macro-invertebrates. In : *Journal of Soils and Sediments*. août 2019. Vol. 19, n° 8, pp. 3193-3203.
- HENRIOT, C, VINCENT, Q. 2021 - *La macrofaune comme bioindicateur de la qualité des sols urbains : Développement d'un protocole d'échantillonnage* - Rapport de stage SOL & CO
- HERMON, Carole, 2018. *Services écosystémiques et protection des sols* [en ligne]. S.l. : éditions Quae. ISBN 978-2-7592-2791-4. Disponible à l'adresse : <https://www.quae-open.com/produit/93/9782759227914/services-ecosystemiques-et-protection-des-sols>.
- HOULLIER, Francois et MERILHOU-GOUDARD, Jean-Baptiste, 2016. Les sciences participatives en France. In : . pp. 64.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014. *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of*

the Intergovernmental Panel on Climate Change [en ligne]. Cambridge : Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-41541-6. Disponible à l'adresse : <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415416>.

JOIMEL, Sophie, SCHWARTZ, Christophe, HEDDE, Mickaël, KIYOTA, Sayuri, KROGH, Paul Henning, NAHMANI, Johanne, PÉRÈS, Guénola, VERGNES, Alan et CORTET, Jérôme, 2017. Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality. In : *Science of The Total Environment*. avril 2017. Vol. 584-585, pp. 614-621.

KERVADEC, Tiphaine, 2012. Mettre en œuvre la Trame verte et bleue en milieu urbain. In : . pp. 20.

MATHIEU, Jérôme, 2016. Biodiversité et syndrome de dispersion dans les communautés de macrofaune du sol. In : . pp. 171.

NURIA, Ruiz, JÉRÔME, Mathieu, LÉONIDE, Céline, CHRISTINE, Rollard, GÉRARD, Hommay, ETIENNE, Iorio et PATRICK, Lavelle, 2011. IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. In : *Soil Biology and Biochemistry*. juin 2011. pp. S0038071711002252.

ORSAS Lorraine & ORS Alsace, 2017. 3ème Plan régional Santé-Environnement. 162 p

SALMON, Sandrine, ARTUSO, Nadia, FRIZZERA, Lorenzo et ZAMPEDRI, Roberto, 2008. Relationships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation. In : *Soil Biology and Biochemistry*. juillet 2008. Vol. 40, n° 7, pp. 1707-1715.

SANTORUFO, Lucia, VAN GESTEL, Cornelis A.M., ROCCO, Annamaria et MAISTO, Giulia, 2012. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. In : *Environmental Pollution*. février 2012. Vol. 161, pp. 57-63.

SATTLER, T., DUELLI, P., OBRIST, M. K., ARLETTAZ, R. et MORETTI, M., 2010. Response of arthropod species richness and functional groups to urban habitat structure and management. In : *Landscape Ecology*. juillet 2010. Vol. 25, n° 6, pp. 941-954.

TER BRAAK, Cajo J. F. et VERDONSCHOT, Piet F. M., 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. In : *Aquatic Sciences*. septembre 1995. Vol. 57, n° 3, pp. 255-289.

UNITED NATIONS, 2016. *The World's Cities in 2016* [en ligne]. S.l. : UN. Statistical Papers - United Nations (Ser. A), Population and Vital Statistics Report. ISBN 978-92-1-362000-7. Disponible à l'adresse : <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210582766>.

VELASQUEZ, Elena, LAVELLE, Patrick et ANDRADE, Mercedes, 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. In : *Soil Biology*. 2007. pp. 16.

VINCENT, Quentin, 2018. Étude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés. In : . pp. 331.

WAGG, C., BENDER, S. F., WIDMER, F. et VAN DER HEIJDEN, M. G. A., 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 8 avril 2014. Vol. 111, n° 14, pp. 5266-5270.

WARDLE, D. A., 2004. Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota. In : *Science*. 11 juin 2004. Vol. 304, n° 5677, pp. 1629-16

Résumé

La biodiversité joue un rôle majeur dans les services fournis par les sols, mais reste très peu étudiée en milieu urbain. Nous proposons ici une méthodologie intégrant les différents aspects du sol afin de développer des outils d'aide à la décision à destination des acteurs de l'aménagement du territoire permettant une meilleure prise en compte des sols dans la planification territoriale. Nous discutons également de l'intérêt d'un protocole de sciences participatives pour l'obtention de données sur la faune du sol. Une fosse pédologique a été creusée sur 12 de nos 15 sites d'étude et des sondages à la tarière ont été réalisés pour les autres. Une description de chaque site était réalisée avant de passer à celle des profils de sol. L'inventaire de la faune du sol a été fait en utilisant la méthode du piège Barber. Nous avons ensuite calculé différents indices (indice de Shannon, équitabilité de Pielou) avant de nous intéresser à la structure fonctionnelle des communautés retrouvées et aux limites du protocole utilisé. Nous avons retrouvé des indices de diversité comparables à des milieux naturels, avec des communautés plutôt équilibrées d'un point de vue fonctionnel. Les sols échantillonnés présentent une certaine diversité de profils : les résultats des analyses agronomiques ne nous sont pas parvenus mais leur interprétation future, en lien avec les données de la faune du sol, devraient faire l'objet d'une publication à venir.

Mots-clés : Faune du sol, sol urbain, services écosystémiques, sciences participatives, aménagement du territoire

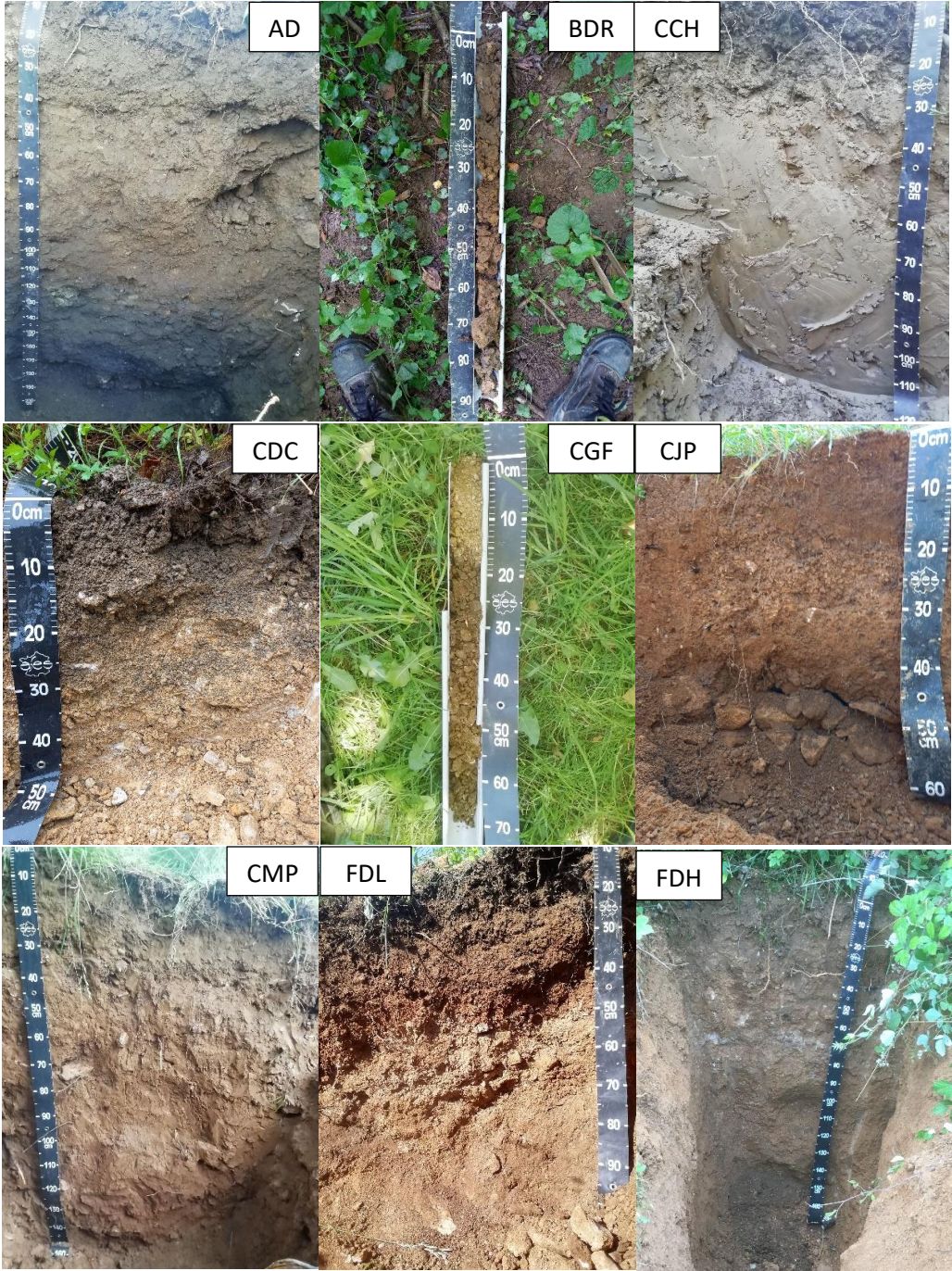
Abstract

Soil biodiversity is poorly studied in urban areas, despite its major role in soils' services supply. We propose a methodology integrating different soil characteristics, which objective will be the development of decision support tools for territory managers, permitting a better awareness on soils in territorial planning. We also discuss the interest of a citizen science tool for data collection on soil invertebrates. A soil pit was dug on 12 sites out of 15, and a hand auger was used for the others. A quick description of the site was made before the description of soil profile. We used Barber pitfall trap to sample the soil fauna. Then, we measured some diversity indices (diversity, Pielou evenness) before we put our interest in the functional structure of our communities and in our protocol's limits. The diversity indexes measured were comparable to some natural environments, and communities were functionally well-balanced. Sampled soils had a certain diversity of profiles. Agronomic analyses were not received yet, but their future interpretation, linked to the fauna data we obtained, should be the object of a future publication.

Keywords: Soil fauna, urban soil, ecosystem services, citizen science tool, territorial planning

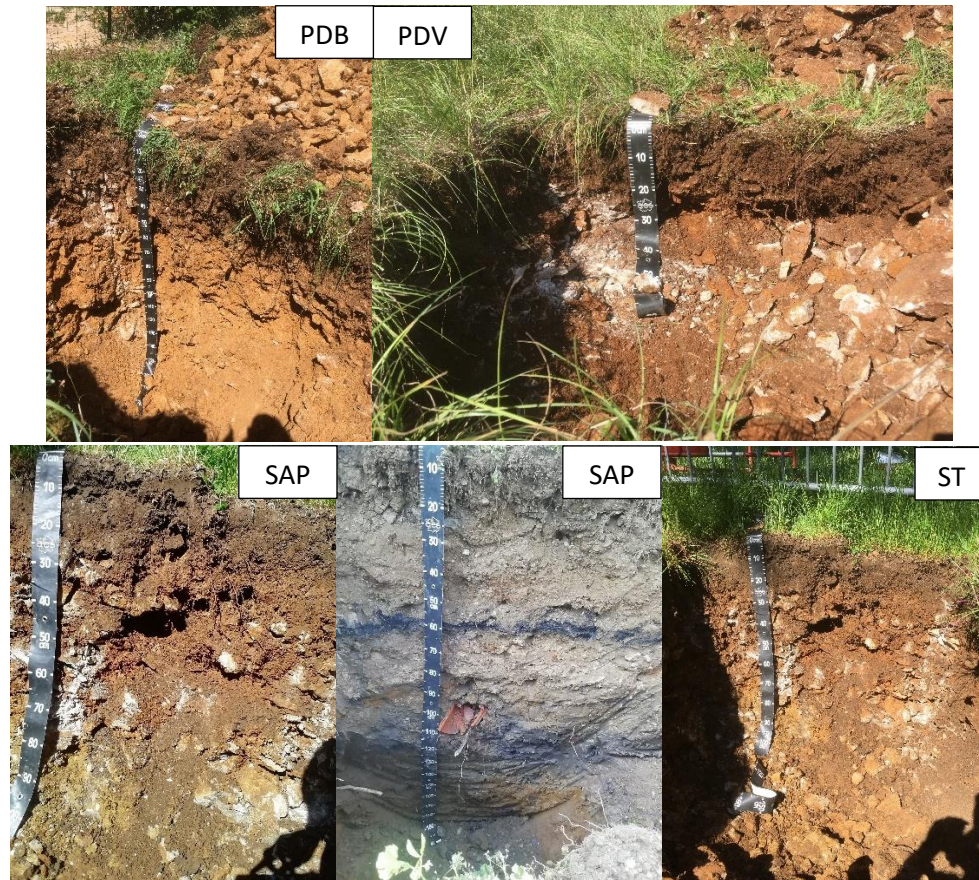
Annexe 1 – Photos des profils de sol échantillonnés (1)

Crédits photos : Raynald RIGOLOT, Quentin VINCENT



Annexe 1 – Photos des profils de sol échantillonnés (2)

Crédits photos : Raynald RIGOLOTT, Quentin VINCENT



Notons ici que le prélèvement à la tarière effectué au Bois des Fourasses (BDF) est absent, la photo dont nous disposons n'étant pas d'assez bonne qualité.

Annexe 2 – Affiche de communication sur TrameBioSol (1)

Auteur : Ryan PARISOT



TrameBioSol

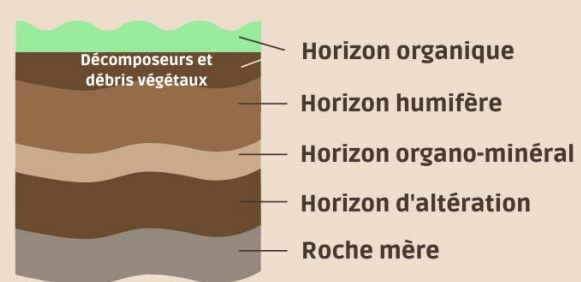


Photo d'étude d'une fosse ©Raynald Rigolot

Vers la création d'une trame brune des sols de la Métropole du Grand Nancy

Afin de favoriser la libre circulation des organismes des sols, amender la connaissance du fonctionnement des sols urbains et compléter la Trame Verte et Bleue

Réalisation de 12 fosses pédologiques et de 3 sondages à la tarière afin de décrire 15 profils de sols, échantillonner et caractériser les différents horizons les constituant et inventorier leur biodiversité



Les différentes couches du sol

Lieux d'intervention :

Métropole du Grand Nancy sur les communes de:
Vandœuvre-lès-Nancy, Laxou, Ludres, Villers-lès-Nancy

Le public a été invité à prendre part à la réalisation de ces fosses et à échanger sur ce projet afin de sensibiliser le plus grand nombre à l'intérêt de connaître le fonctionnement des sols et à leur présenter des protocoles scientifiques participatifs

Projet soutenu financièrement par :



Annexe 2 – Affiche de communication sur TrameBioSol (2)

Auteur : Ryan PARISOT



Carte des sites étudiés ©Ryan Parisot



Les différentes étapes du projet

Etape 1 De février à juillet 2021	Réalisation de fosses pédologiques et échantillonnage participatif des sols
Etape 2 Printemps automne 2021	Réalisation d'inventaires participatifs de la macrofaune du sol
Etape 3 2021-2022	Réalisation d'inventaires participatifs de la flore
Etape 4 2 ^e semestre 2021	Analyses physico-chimiques des horizons de sol
Etape 5 2 ^e semestre 2021	Mise en place de préconisations d'usages et de modes de gestion en faveur de la protection de la qualité des sols et de leur biodiversité
Etape 6 fin 2021	Réalisation de panneaux pédagogiques en co-construction avec les citoyens
Etape 7 2 ^e semestre 2022	Organisation de conférences pédagogiques
Etape 8 2 ^e semestre 2022	Réalisation d'un document d'aide à la décision permettant de prendre en compte le sol et sa biodiversité dans les aménagements des futures Trames vertes, bleues et brunes

Fosse de Vandoeuvre	Fosse de Laxou	Piège Barber à Villers-lès-Nancy	Fosse de Ludres
			
Photo prise pendant la réalisation des fosses © Raynald Rigolot	Photo prise pendant la réalisation des fosses © Raynald Rigolot	Photo d'un piège Barber © Callista Payet	Photo prise pendant la réalisation des fosses © Raynald Rigolot