



Connaitre et évaluer la biodiversité des sols

Guide opérationnel pour les milieux urbains

Rédaction

Camila Andrade, Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO) ; Apolline Auclerc, Laboratoire Sols et Environnement (LSE) ; Sandra Barantal, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE) ; Florence Cadeaux, Plante & Cité ; Jérôme Cortet, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE) ; Camille Chauvin, ELISOL Environnement ; Robin Dagois, Plante & Cité ; Loïc Delagneau, Ville de Nancy ; Anne Dozières, Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO) ; Alexandre Guerre, Université de Sorbonne (Paris) ; Jean-Christophe Lata, Institut d'Ecologie et des Sciences de Paris (IEES) ; Agathe Leleux, Plante & Cité ; Pierre-Alain Maron, UMR Agroécologie ; Lionel Ranjard, UMR Agroécologie ; Mathilde Renard, Nantes Métropole ; Aurélien Riou, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE) ; Christophe Schwartz, Centre INRAE Grand Est / Laboratoire Sols et Environnement (LSE) ; Laure Turcati, OSU ECCE TERRA, Sorbonne Université ; Alan Vergnes, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE) ; Laure Vidal-Beaudet, Institut Agro Rennes Angers.

Coordination éditoriale

Aurore Micand et Gaëlle Rigollet, Plante & Cité.

Contribution

Plante & Cité remercie l'ensemble des personnes ayant apporté leur contribution (documents, avis, relectures) à l'élaboration de cet ouvrage.

Philippe Baron, Lyon Métropole ; Marie Gantois, Ville de Paris ; Maxime Guérin, Plante & Cité ; Mélissa Haouzi, Plante & Cité ; Stéphane Harter, Ville de Nancy ; Nicolas Hénon, CHELICERA ; Florian Lavenaire, Angers Loire Métropole ; Jasmine Naudet-Diridollou, bénévole pour Plante & Cité ; Jérémie Noble, Ville de Nancy ; William Perrin, Université de Montpellier ; Léo Tessier, muséum d'Angers.

Financement

Ce guide est issu d'un travail collaboratif mené dans le cadre du programme BISES qui a bénéficié du soutien financier de l'Agence nationale de la recherche (Projet-ANR-19-CE32-0012).



Partenaires du programme BISES

Pour mener à bien ses travaux, le programme BISES a mobilisé une dizaine de partenaires membres du consortium, ainsi que 4 territoires de France métropolitaine.



Graphisme et illustration

Maquette et mise en page : Céline Lambert

Sauf mention contraire, la source des schémas et graphiques est à créditer au programme BISES.

Photo de couverture : *Messor sp.* (fourmis). / Hénon N., CHELICERA

Quatrième de couverture : Lombric. / Auclerc A., LSE

Mentions légales

N° ISBN : 978-2-38339-043-5

Éditeur : Plante & Cité, 26 rue Jean Dixméras, 49100 Angers, France.

Date de parution : Octobre 2025

Pour citer cette publication : Leleux A., Dagois R. (coord.), 2025. **Connaitre et évaluer la biodiversité des sols. Guide opérationnel pour les milieux urbains.** Plante & Cité, Angers. 54 p.

4	Liste des sigles
5	PRÉAMBULE
5	Les sols de la ville, fondations invisibles de la durabilité urbaine
6	Le programme BISES : une réponse scientifique et opérationnelle
10	Un guide à destination des opérateurs des espaces végétalisés urbains
11	COMPRENDRE LES BASES DE L'ÉCOLOGIE DES SOLS URBAINS
12	Le rôle et la composition de la biodiversité des sols
12	• Biodiversité des sols : quels organismes y résident ?
13	• Biodiversité des sols : qui fait quoi ?
16	La macrofaune des sols urbains
18	La mésofaune dans les sols urbains
20	La vie microscopique des sols urbains
20	• La microfaune des sols urbains
20	• Les micro-organismes des sols urbains
24	Les sols urbains : spécificités et enjeux pour la faune des sols
24	• Un sujet d'étude très récent
24	• Des caractéristiques spécifiques liées aux usages
25	• Renaturer les sols pour les préserver
26	Bibliographie
27	OBSERVER ET MESURER LA BIODIVERSITÉ DES SOLS URBAINS
28	Étudier la biodiversité des sols avec les bioindicateurs
28	• De la notion de biodiversité des sols à celle de bioindicateurs
28	• Les bioindicateurs utilisés dans le cadre de BISES
30	• Des indicateurs de patrimoine et de structure des communautés
30	• Des indicateurs de fonctionnement biologique du sol
30	• Intérêts et limites des bioindicateurs du sol
33	Développer la participation citoyenne pour mieux connaître la biodiversité des sols
33	• Intérêt des sciences participatives
33	• Intérêts et enjeux des actions participatives autour des sols
33	• Vers un observatoire de sciences participatives autour de la biodiversité des sols
33	• Méthode de création de QUBS
34	• Les protocoles de QUBS
35	• Bilan (premiers résultats) et perspectives
37	Révéler les organismes rampants au sol par piège photographique
37	• L'innovation pour (re)découvrir les invertébrés rampants
37	• Développement d'un capteur photo pour l'étude des invertébrés du sol
38	Bibliographie
39	AGIR POUR PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ DES SOLS URBAINS
40	Agréger les (bio)indicateurs pour orienter les choix
40	• Des indicateurs unitaires aux indicateurs agrégés
40	• Les indicateurs agrégés pour rendre compréhensibles des indicateurs complexes
41	• Simplification d'indicateurs complexes
41	• Définition des seuils
42	Améliorer la gestion des sols pour soutenir la biodiversité
42	• Maintien de conditions favorables au sol
43	• Choix des plantations et des palettes végétales
43	• Fertilisation et amendements
46	Faire de la biodiversité un enjeu de conception
46	• Disposition pour l'accueil d'une diversité fonctionnelle
46	• Conditions favorables pour abriter une biodiversité fonctionnelle
46	• Le soutien par un cadre réglementaire
48	Mettre les projecteurs sur les sols urbains vivants
49	Bibliographie
50	POUR ALLER PLUS LOIN
51	Sélection de ressources
53	Ils ont contribué

LISTE DES SIGLES

ABCI	Atlas de la biodiversité intercommunal
ANR	Agence nationale de la recherche
BISES	Biodiversité des sols urbains et villes durables : état des lieux, interactions entre les systèmes productifs et non productifs et importance pour la fourniture de services écosystémiques
CBS	Coefficient de biotope par surface
CEC	Capacité d'échange cationique
CEFE	Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive
Cerema	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CESCO	Centre d'écologie et des sciences de la conservation
DESSERT	Désimperméabilisation des sols, services écosystémiques et résilience des territoires
IEES Paris	Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
LSE	Laboratoire sols et environnement
MNHN	Muséum national d'histoire naturelle
Mosaïc	Méthodes et outils pour les sciences participatives
OFB	Office français de la biodiversité
OSU	Observatoire des sciences de l'univers
PartiCitaE	Participation citoyenne à l'observation de l'environnement
pH	Potentiel hydrogène
PLU (m)	Plan local d'urbanisme (métropolitain)
QUBS	Qualité biologique des sols (observatoire)
SCoT	Schéma de cohérence territoriale
SUMMIT	Sorbonne Université maison des modélisations ingénieries et technologies
UMR	Unité mixte de recherche
ZAN	Zéro artificialisation nette



Les sols urbains sont un lieu de vie pour de nombreux organismes.
/ Agathe Leleux, Plante & Cité

PRÉAMBULE

Les sols de la ville, fondations invisibles de la durabilité urbaine



L'urbanisation et la densification des villes transforment profondément notre rapport aux sols. Ces derniers sont faits d'une association d'éléments organiques et minéraux à laquelle les organismes vivants du sol et les végétaux contribuent en grande partie. Les sols constituent une composante essentielle de notre planète. Longtemps perçus comme de simples supports pour les infrastructures dites « grises » (bâtiments, voiries), les sols urbains commencent à être reconnus comme des leviers essentiels pour concevoir des villes moins vulnérables, plus durables et capables de supporter des productions alimentaires.

On considère comme urbains tous les sols situés dans les espaces urbains, plus ou moins modifiés par les activités humaines. Ils sont très hétérogènes et peuvent être classés en catégories très diverses : des sols scellés, imperméabilisés, des sols construits ou reconstitués qui sont très présents dans les espaces végétalisés, mais aussi des sols agricoles et forestiers. Ces sols peuvent fournir de nombreux services : stockage du carbone, régulation du cycle de l'eau, support de production de biomasse, production alimentaire et filtration des polluants. Ils hébergent aussi une importante biodiversité, bien que ce rôle soit encore largement méconnu.

Les sols offrent des habitats très diversifiés aux organismes. Cette « fine » couche à la surface de notre planète (de quelques dizaines ou centaines de centimètres à plusieurs mètres) contient plus de la moitié des espèces décrites par les scientifiques. La méconnaissance de ces organismes est principalement liée à leur taille et au fait qu'ils évoluent dans un milieu opaque au regard humain.

Par conséquent, ils sont trop peu intégrés aux politiques de protection de l'environnement. En 2025, aucune espèce de fourmis ni de vers de terre n'est protégée par des textes juridiques à l'échelle française ou européenne. Pourtant, la dégradation et l'artificialisation croissantes des sols – qui concernent près de 40 % des terres émergées mondiales – menacent cette biodiversité essentielle au bon fonctionnement des sols.

Cette pénurie de connaissances est d'autant plus prégnante en ville puisque moins de 5 % des travaux en écologie des sols les étudient. D'ailleurs, la plupart ne s'intéressent qu'à un seul groupe d'organismes, laissant dans l'ombre la complexité et la richesse des communautés vivantes du sol.

Mais pourquoi ce déficit de connaissances ? Tout d'abord, l'extrême hétérogénéité des sols urbains, résultant d'usages variés (parcs, jardins, fermes urbaines, friches, etc.), fait qu'il est difficile de comprendre leur influence sur la répartition et le développement des espèces. Ensuite, les dynamiques écologiques des organismes du sol en ville, influencées par les flux entre espaces végétalisés (productifs ou non productifs), sont des freins à la compréhension de leur dispersion et à leur adaptation à la mosaïque urbaine. Enfin, les méthodes d'étude et de suivi existantes ne sont pas toujours adaptées à la diversité et à la complexité des milieux urbains.

Les zones urbaines représentent déjà 25 % du territoire national. Face à cette urbanisation croissante, de nouvelles orientations politiques ont émergé, comme la future directive européenne sur la surveillance des sols et à l'échelle française le plan nature en ville (2024-2030), porté par le ministère de la Transition écologique ou la loi ZAN (Zéro artificialisation nette, 20 juillet 2023). Elles soulignent l'importance de mieux connaître la biodiversité des sols urbains pour guider les politiques publiques.

Une meilleure connaissance de l'écologie des sols urbains devient également indispensable pour identifier les pratiques de gestion et d'aménagement qui favorisent la vie du sol et ses fonctions ; évaluer la capacité des sols à fournir les services attendus (production, régulation, bien-être) ; anticiper les risques et les contraintes (pollution, perte de fertilité, vulnérabilité climatique) ; soutenir la transition vers des villes plus durables, productives et agréables à vivre.

Le programme Biodiversité des sols urbains et villes durables : état des lieux, interactions entre les systèmes productifs et non productifs et importance pour la fourniture de services écosystémiques (BISES) y contribue.



Le programme BISES : une réponse scientifique et opérationnelle

Le programme **BISES**, financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) 2020-2025, est né de la nécessité de franchir un cap dans la connaissance et la gestion de la biodiversité des sols urbains. Il cherche à mieux comprendre la biodiversité des sols en milieu urbain, en observant comment elle varie selon les types d'espaces végétalisés de différentes collectivités, et dans des contextes environnementaux différents.

Les objectifs

S'étalant de 2020 à 2025, ses objectifs ont été de :

- comprendre l'écologie des communautés d'organismes des sols urbains, leurs dynamiques spatiales et temporelles, et leurs flux entre espaces végétalisés ;
- comprendre l'effet des pratiques de gestion (tontes, fertilisation, etc.) et des propriétés des paysages (pourcentages d'espaces verts environnants, fragmentation du tissu urbain) selon une approche multi-échelles sur la biodiversité des sols urbains ;
- développer de nouvelles méthodologies et valider des outils opérationnels pour accompagner la gestion durable des sols urbains et orienter les politiques d'aménagement et de planification.

Il propose une approche multi-taxons et multi-échelles en intégrant les propriétés des parcelles et des paysages, et en intégrant la diversité des espaces verts, notamment des usages productifs (ex. : fermes urbaines, jardins partagés) et non productifs (ex. : parcs, abords de voirie, ronds-points) de territoires urbains aux conditions climatiques variées.

Pour cela, il s'appuie sur une approche combinant trois volets détaillés dans ce guide :

- la création d'un observatoire participatif (nommé QUBS pour « Qualité biologique des sols », voir page 33), décliné en quatre protocoles et reposant sur une clé d'identification de plus de 400 taxons déployés à l'échelle nationale, impliquant les citoyens dans l'observation de la faune du sol et dans la collecte de données ;
- la construction d'un prototype de piège-photo pour la grande faune de surface (voir page 37) ;
- une étude multi-taxons sur 174 sites en France, déployée sur quatre collectivités françaises représentatives de contextes biopédoclimatiques contrastés.

Pour ce dernier volet, une approche expérimentale a été menée en étroite collaboration avec quatre collectivités (villes et/ou métropoles) : Montpellier, Nancy, Nantes et Paris. Cette collaboration a permis de définir les caractéristiques physico-chimiques des sols et de quantifier leurs fonctions, afin d'évaluer leur effet potentiel sur la biodiversité en fonction du pédoclimat de chaque ville.

Les critères de sélection des métropoles

L'hypothèse formulée est que le climat et le socle géologique influencent en partie la biodiversité des sols, notamment la diversité taxonomique. Le choix de ces quatre villes permet de comparer des situations pédoclimatiques contrastées, avec un climat méditerranéen pour la ville de Montpellier, un climat semi-continental pour la ville de Nancy, un climat océanique pour la ville de Nantes et un climat océanique dégradé pour la ville de Paris.

Par ailleurs, les surfaces en espaces végétalisés publics des villes sont hétérogènes et sont respectivement de 55.7, 26.6, 72 et 31 % pour Montpellier, Nancy, Nantes et Paris.

Les critères de sélection des sites

Le choix des sites a été réalisé à partir de la base de données des espaces végétalisés établie par chaque collectivité. La définition du champ des possibles s'est appuyée sur différents critères de sélection : (1) la production de biomasse ornementale ou alimentaire, (2) le type d'usage, (3) le mode et l'intensité de gestion, (4) l'âge du site, (5) la surface et (6) la localisation. Certains critères sont prépondérants, tels que l'histoire, l'âge du site et l'évolution de son usage au cours du temps. La connaissance des modalités de création et de gestion présente un intérêt fort pour comprendre les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols.

Finalement, le premier critère de sélection des sites a été la distinction entre le **caractère productif** (composées de cultures potagères et/ou horticoles à vocation de production alimentaire) et le caractère **non productif** (caractérisés par une végétation herbacée à valeur principalement paysagère et/ou écologique).

- Pour les **usages productifs (50 sites au total)**, l'intensité de l'usage a été déclinée en distinguant des espaces où la production commerciale est mise en avant (au sein de fermes urbaines) et des usages plutôt amateurs, comme les jardins partagés



VILLE	PARC URBAIN PU	LINÉAIRE VOIRIE LV	ROND POINT RP	JARDIN JP ET JF	FERME URBAINE FU	TOTAL
Montpellier	16	8	8	9	7	48
Nancy	18	7	8	11	3	47
Nantes	16	9	7	7	6	45
Paris	17	6	4	8	9	44

Tableau représentant le nombre de sites échantillonnés selon leurs usages pour chaque collectivité.

- Pour les usages **non productifs (124 sites au total)**, les types d'usages retenus correspondent aux parcs urbains et aux espaces d'accompagnement de voiries (linéaires et ronds-points). Concernant les parcs, l'intensité de gestion a été prise en compte afin de distinguer à la fois des espaces gérés de manière intensive (mode de gestion prestige : tonte hebdomadaire, irrigation, fertilisation) et des espaces gérés de manière extensive (mode de gestion rustique : une à deux fauches par an, pas d'irrigation ni de fertilisation). Le type de couvert de sol s'est restreint aux couverts enherbés afin de permettre une comparaison entre les sites des quatre territoires urbains).

Au total, **174 sites ont été étudiés**, soit environ **45 sites dans chaque métropole** pour les cinq grands types d'usages sélectionnés.

Acquisition de données et échantillonnage

L'étude s'est déroulée au cours de l'automne 2021 et 2022, lors de deux campagnes de prélèvements d'échantillons au moyen d'une batterie de mesures et par la mesure de 52 indicateurs, notamment :

- des paramètres physico-chimiques des sols (texture, teneur en matière organique, tassement, acidité, principaux polluants métalliques) ;
- des paramètres paysagers (proportion d'espaces verts autour des sites, fragmentation) ;
- des indicateurs des fonctions et processus, et services écosystémiques des sols ;
- des indicateurs de la biodiversité des sols reposant sur la majorité des organismes des sols : les microorganismes, la mésofaune et la macrofaune.

Ces différents données et indicateurs mesurés ou calculés ont permis de traduire la capacité du sol urbain à être support de biodiversité en fonction des types d'usages et de la situation géographique et climatique.

Les partenaires

Basé sur une recherche collaborative, le programme mobilise une grande partie de la communauté française de la biodiversité des sols urbains, en particulier huit laboratoires partenaires, présentés en détail sur le site du programme : <https://anrbises.cefe.cnrs.fr/>.

Le **Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE)**, porteur du projet via l'équipe Écologie des sols anthropisés, coordonne les recherches sur le fonctionnement des milieux urbains, notamment sur la faune du sol, et développe des outils de bioindication de la qualité biologique des sols. Il anime aussi la réflexion sur les interactions entre sociétés humaines et systèmes écologiques, et coordonne le programme participatif QUBS.

L'Unité mixte de recherche (UMR) Agroécologie de Dijon est une unité de recherche pluridisciplinaire dédiée aux interactions entre plantes, micro-organismes et environnement dans les agrosystèmes, allant du laboratoire au paysage, avec un fort appui technologique.

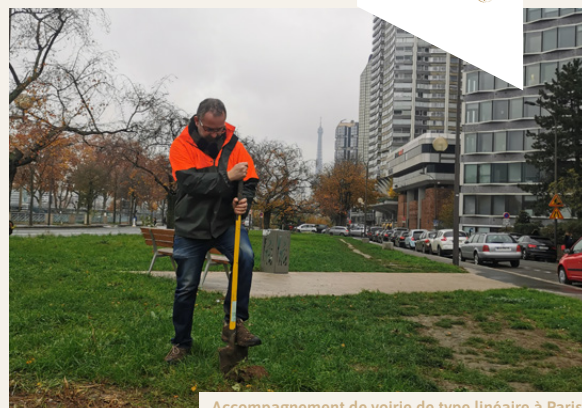
Le laboratoire sols et environnement (LSE), basé à Nancy, est spécialisé dans la pédologie des milieux très anthropisés. Il élabore des méthodes de diagnostic de leur état, étudie la diversité et les rôles fonctionnels de la faune du sol, et conçoit des outils pour leur intégration dans l'aménagement urbain. Il est aussi à l'origine de programmes de sciences participatives sur la faune des sols des jardins (Jardibiodiv).

L'Institut Agro Rennes-Angers apporte une expertise en agronomie horticole et urbaine, surtout sur les sols construits. Elle analyse la fertilité physique, mécanique et biologique de ces sols et contribue à l'étude de leurs fonctions en vue d'une gestion urbaine durable et innovante.

L'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (iEES Paris) caractérise l'organisation, le fonctionnement et l'évolution des systèmes écologiques urbains. Apportant ainsi des compétences en écologie



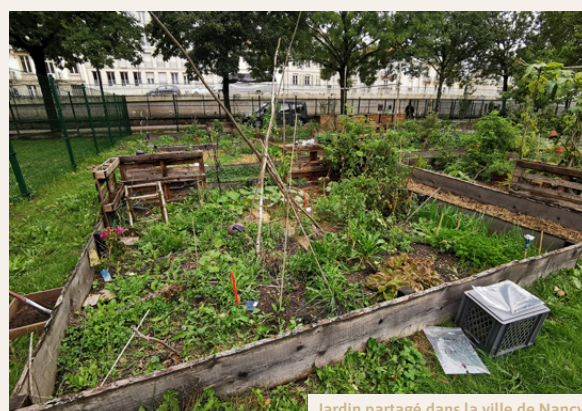
Accompagnement de voirie de type rond-point à Nantes.
/ ANR BISES



Accompagnement de voirie de type linéaire à Paris.
/ Laure Turcati – OSU Ecce Terra



Ferme urbaine à Nantes.
/ ANR BISES



Jardin partagé dans la ville de Nancy.
/ ANR BISES



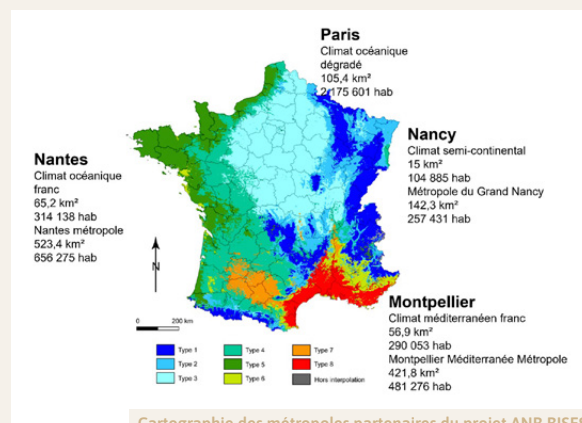
Parc urbain de type prestige à Montpellier.
/ ANR BISES



Parc urbain de type rustique à Montpellier.
/ ANR BISES



Jardin familial à Nancy.
/ ANR BISES



Cartographie des métropoles partenaires du projet ANR BISES



microbienne, en dynamique des populations, en écologie des communautés et en sciences du sol, il contribue aussi à l'innovation en gestion durable de la biodiversité urbaine.

L'Observatoire des sciences de l'univers (OSU) Ecce Terra – Sorbonne Université assure des missions d'observation, de recherche et de formation dans les domaines des sciences de la Terre, du climat et de l'écologie, et accompagne la mise en place de démarches participatives dans les recherches sur l'environnement urbain.

Le Centre d'écologie et des sciences de la conservation (CESCO) coordonne le programme de sciences participatives Vigie-Nature, et l'unité Méthodes et outils pour les sciences participatives (Mosaic), accompagnant la conception et la gestion de projets participatifs, comme la plateforme QUBS utilisée dans BISES.

Ces laboratoires de recherche sont appuyés par l'association **Plante & Cité** qui a accompagné la mise en œuvre de la plateforme QUBS et qui a mené des actions

de diffusion auprès des collectivités partenaires, de valorisation et de mise en œuvre opérationnelle des résultats scientifiques du programme.

D'une durée de 68 mois, le projet s'organise en différentes tâches (schéma ci-dessous).

Des prestataires ont également été mobilisés : l'entreprise ELISOL pour les nématodes, l'entreprise SADEF pour les analyses physico-chimiques et l'entreprise EODD pour l'identification de la majorité des vers de terre.

Chaque partenaire apporte ainsi une expertise complémentaire, allant de la recherche fondamentale à l'expérimentation, en passant par la coordination de programmes participatifs et le transfert de connaissances vers les acteurs de terrain.



Organisation des différentes tâches du programme et partenaires en charge de leur coordination.
/ Vergnes A., Université Paul-Valéry, Montpellier 3

Un guide à destination des opérateurs des espaces végétalisés urbains



Ce guide technique s'adresse à l'ensemble des acteurs de la ville : **gestionnaires d'espaces urbains** (collectivités, paysagistes, bailleurs, associations) ; **professionnels de l'aménagement** (urbanistes, bureaux d'études, promoteurs, architectes) ; **décideurs politiques** (élus, services techniques, institutions publiques) ; et **acteurs de la société civile** (associations, collectifs citoyens, enseignants, habitants engagés).

Ses objectifs sont de :

- sensibiliser à l'importance stratégique de la biodiversité des sols urbains pour la résilience et la qualité de vie en ville ;
- présenter les outils mobilisés et issus du programme BISES pour diagnostiquer, gérer et préserver la biodiversité des sols urbains ;
- accompagner la montée en compétences des professionnels et des citoyens sur les enjeux, méthodes et bonnes pratiques en matière de sols urbains.

La connaissance et la préservation de la biodiversité des sols urbains sont des leviers incontournables pour bâtir des villes durables, résilientes et vivantes. Le programme BISES et ce guide proposent de mettre à disposition des outils concrets, des retours d'expérience et des recommandations, pour que chaque acteur de la ville puisse agir en faveur de sols urbains vivants et multifonctionnels.

Avertissement

Ce guide est le résultat d'une collaboration avec des chercheurs spécialisés dans les sols et leur biodiversité. Par conséquent, certains termes peuvent être difficiles à comprendre. Pour approfondir, veuillez vous référer à la rubrique « Pour aller plus loin ».



Echantillonnage et analyse de sol
/ Jean-Christophe Lata



COMPRENDRE LES BASES DE L'ÉCOLOGIE DES SOLS URBAINS

Ce chapitre présente ce qu'est la biodiversité des sols, son fonctionnement et ses rôles, ainsi que la diversité des organismes qui la compose. Il s'attache ensuite à présenter les spécificités des sols urbains et les résultats du projet BISES sur les paramètres physico-chimiques des sols étudiés.

Le rôle et la composition de la biodiversité des sols



Le mot *biodiversité* est issu de la contraction de « diversité biologique », et correspond à l'ensemble des êtres vivants. La **biodiversité des sols** fait référence à **l'ensemble des habitants du sol** (animaux, racines des végétaux, micro-organismes), qui peuvent avoir une taille microscopique ou faire plusieurs mètres, en considérant à la fois les interactions qu'ils entretiennent entre eux et avec le reste de la biodiversité hors sol, avec le sol et avec les écosystèmes en général.

Sont considérés comme tel les organismes qui ont au moins **une partie de leur cycle de vie dans le sol** ou à **sa surface**, en prenant en compte les annexes (microhabitats) du sol (ex. : mousses, bois morts, feuilles de la litière, déjections et cadavres d'animaux, déchets végétaux apportés par l'humain à la surface du sol).

Il a récemment été estimé que les sols hébergent **59 ± 15 % de la biodiversité**. Le taux actuel d'extinction des espèces a atteint un rythme sans précédent dans l'histoire humaine, avec plus d'un million d'espèces menacées annoncé d'après le rapport Intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services (IPBES [Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques]) de 2019. Ce rapport inclut peu de données sur les invertébrés tels que les insectes ou les arachnides, et encore moins sur ceux appartenant à la biodiversité du sol. Du fait du **manque relatif de connaissances** sur cette biodiversité, le

sol est considéré comme la **troisième frontière biotique**, au même titre que les grands fonds océaniques et les canopées des forêts équatoriales.

En 2016, il était estimé que 88 % des espèces de plantes vasculaires étaient connues à travers le monde, alors que seulement **23 % des espèces de vers de terre, 50 % des fourmis, et 17 % des espèces de collemboles** seraient **décrites**.

Biodiversité des sols : quels organismes y résident ?

Les êtres vivants présents dans les sols sont le plus fréquemment classés en fonction de la taille de leur corps.

La **macrofaune** du sol comprend des invertébrés généralement visibles à l'œil nu, avec une taille comprise entre 4 mm et 80 mm de longueur et un diamètre de 2 à 20 mm. On y retrouve de nombreuses espèces d'araignées, de lombriciens (vers de terre), de myriapodes (mille-pattes), d'insectes (larves et adultes), d'isopodes (cloportes) et de gastéropodes (limaces et escargots).

La **mésafaune** comprend des invertébrés classés, dont la taille est comprise entre 0,2 mm et 4 mm de longueur en moyenne, avec un diamètre de 0,1 à 2 mm. Une loupe est nécessaire pour les observer. Les acariens et les collemboles sont les organismes les plus connus de cette classe.

Les **micro-organismes**, ou « microflore », sont visibles au microscope, d'une taille autour du micromètre (1/1 000 millimètre). Les bactéries, champignons ou algues se retrouvent dans ce groupe. Leur étude nécessite des méthodes moléculaires ou des mises en culture. Les organismes de la **microfaune** du sol sont des animaux microscopiques d'une taille inférieure à 0,2 mm, comme les tardigrades ou les nématodes. Sans eau dans le sol, ils sont incapables de survivre.

Il est également possible de considérer les **vertébrés** classés dans la **mégafaune**. Ils utilisent le sol comme habitat, le modifiant ainsi grandement. Ils ont une taille supérieure au centimètre, comme les renards, serpents, lapins, taupes, campagnols, crapauds, etc.

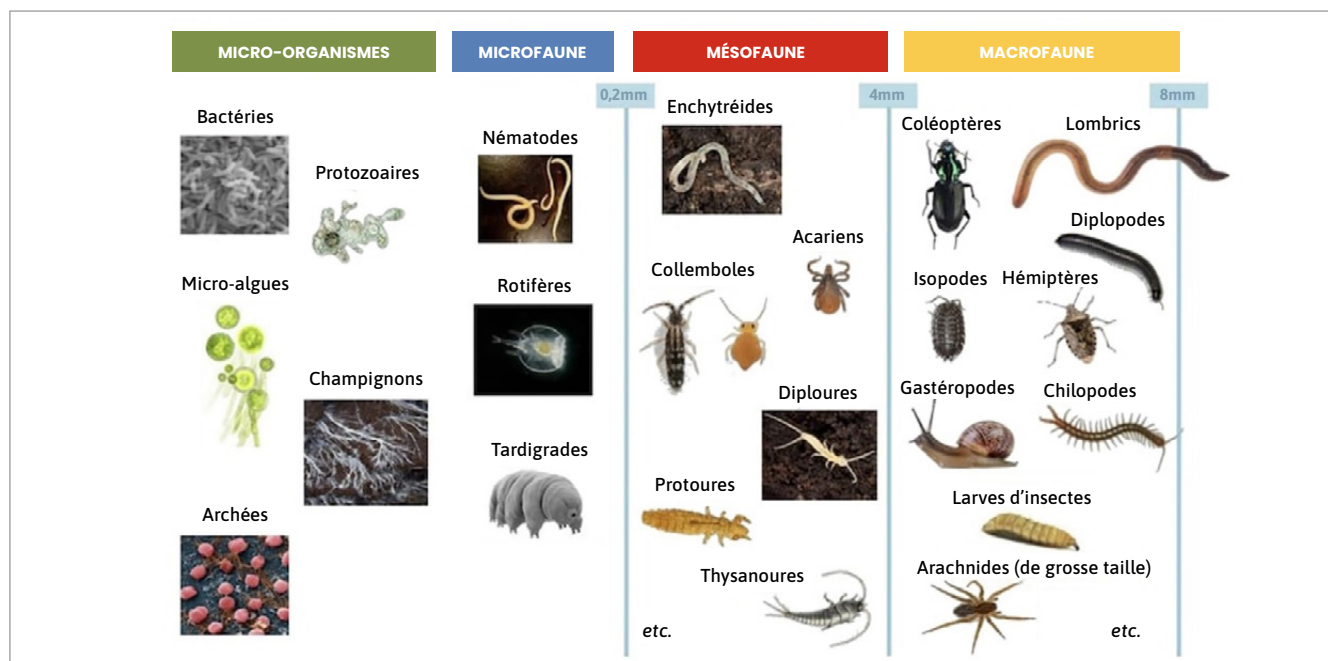


Schéma des différents groupes de la biodiversité des sols, classés par taille. / Vincent Q. (2018)

Biodiversité des sols : qui fait quoi ?

Trois grands rôles sont joués par la biodiversité des sols, en fonction des organismes que l'on considère, qui peuvent avoir un effet sur les paramètres physico-chimiques des sols, et/ou des effets sur les autres organismes du sol ou d'autres compartiments des écosystèmes. Tous ces organismes du sol représentent une importante source de nourriture pour beaucoup d'autres animaux (ex. : les vers de terre sont appréciés de certains oiseaux).

Les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans la **transformation chimique des matières**, appelée **minéralisation** pour les matières organiques mortes comme les feuilles mortes ou les déjections. Ils contribuent au **recyclage en nutriments nécessaires** à la vie de beaucoup d'autres organismes. Par exemple, les bactéries sont à la base de la régulation des principaux cycles biogéochimiques des sols (carbone, azote, phosphore, soufre, etc.). Les micro-organismes ont aussi un effet sur la structuration du sol, comme les filaments de champignons, et également sur les autres organismes, du fait des interactions existantes (ex. : symbioses).

Les organismes de la microfaune interviennent sur la transformation des fines matières organiques mortes en filtrant l'eau du sol, ou en se nourrissant de micro-organismes en fonction des espèces. Par exemple, dans les milliers d'espèces de nématodes, certaines sont bactérivores, d'autres sont fongivores (se nourrissent de champignons), omnivores (se nourrissent de bactéries et de champignons), phytoparasites (parasites des plantes) ou prédatrices (se nourrissent d'autres animaux).

La mésofaune et la macrofaune, en fonction des espèces considérées, peuvent aider à :

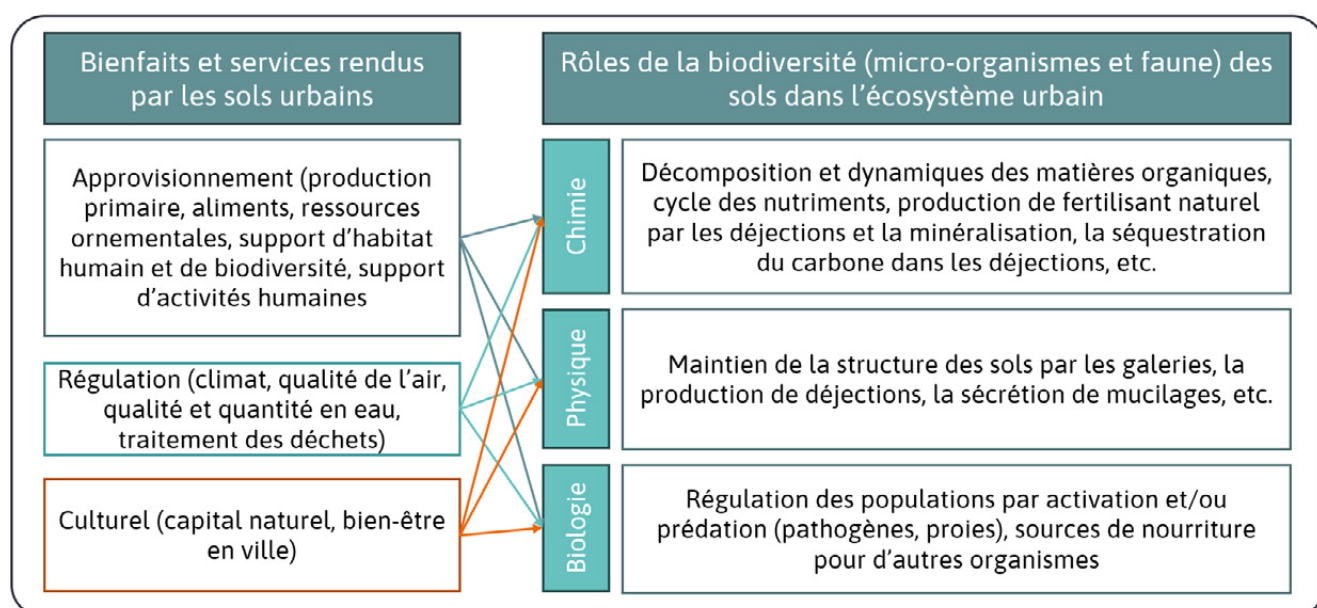
- la décomposition des matières organiques mortes par recyclage des éléments, permettant la fertilité des sols en offrant des nutriments aux plantes (ce sont les détritivores comme les collemboles, certaines espèces d'acariens ou de vers de terre) ;
- la structuration du sol, via la création de déjections ou la création de galeries, comme celles de certains vers de terre qui aèrent le sol et aident à une meilleure infiltration de l'eau ;

- la régulation des populations par prédation (ex. : araignées, carabes) ou par activation des micro-organismes, comme le font les vers de terre dans leur intestin.

La bonne santé des sols est assurée par la biodiversité de cet écosystème complexe, à travers les rôles qu'elle joue et les services écosystémiques qu'elle rend à l'humain.

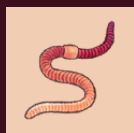


Chaetophiloscia cellaria contribue à la décomposition de la matière organique des sols, une étape essentielle pour recycler les nutriments et les restituer aux végétaux. / Louis Aureglia (INaturalist)

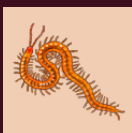


Interactions entre les rôles/fonctions joués par la biodiversité des sols et les bienfaits que rendent les sols urbains à la société. / Auclerc A., LSE

LES RÔLES DE LA BIODIVERSITÉ DA



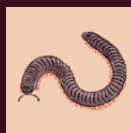
ver anécique



géophile



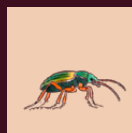
limace



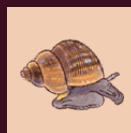
iule



ver endogé



carabe



escargot



sisyphe



géotrupe



araignée



fou



écomposition



hytophagie

DANS LE FONCTIONNEMENT DU SOL



2022 – Illustration et graphisme : Ève Barlier – Conception : Sandra Barantal, Anne Dozières, MNHN.
Programme participatif QUBS www.qubs.fr – ANR BISES « Biodiversité des sols urbains et services écosystémiques »



S tructuration

R égulation

La macrofaune

des sols urbains

La macrofaune regroupe des organismes issus de lignées évolutives très diverses, visibles à l'œil nu (taille comprise entre 4 mm et 80 mm) et ayant des rôles variés dans les écosystèmes.

Les **arthropodes** (organismes possédant un exosquelette articulé) forment la famille la plus riche en espèces de macrofaune. Ils incluent les insectes possédant six pattes, notamment les **coléoptères** (carabidés, staphylins, scarabées, etc.). Leur régime alimentaire est détritivore selon les espèces considérées (bois morts, déjections, végétaux), voir mêmes prédateurs, comme les carabidés chasseurs de limaces ou d'escargots. Les **isopodes** (cloportes), sont des crustacés terrestres dotés de 14 pattes, qui se nourrissent de débris organiques (détritivores). Les **arachnides** (araignées, scorpions), à huit pattes, sont des prédateurs capables de capturer leurs proies par des techniques de piégeages variées. Chez les **myriapodes**, caractérisés par un grand nombre de pattes on trouve les **diplopodes** qui sont détritivores, tandis que les **chilopodes** sont carnivores.

Les **vers de terre** (150 espèces en France) jouent un rôle fondamental dans les sols. Ils participent à la décomposition de la matière organique, à l'aération et à la formation des sols. Dépourvus de pattes, ils se déplacent grâce à des soies réparties sur chaque segment. Ils creusent des galeries et ingèrent quotidiennement une grande quantité de sol, qu'ils rejettent sous forme de turricules riches en nutriments. Leur activité de bioturbation en fait de véritables **ingénieurs du sol**. Leur répartition et leur abondance sont souvent influencées par les propriétés physico-chimiques des sols comme le potentiel hydrogène (pH), leur usage et les pratiques de gestion.

Les **fourmis** peuvent également être qualifiées d'ingénieurs du sol, même si ce rôle est souvent sous-estimé. Sous nos latitudes, la majorité des 200 espèces de fourmis décrites en France métropolitaine creuse des galeries, des nids ou des dômes améliorant l'aération du sol, modifiant également l'activité des micro-organismes. Plus précisément, les nids ou dômes de fourmis ont des propriétés physico-chimiques différentes du sol autour et sont souvent plus riches en nutriments et en matières organiques. De nombreuses espèces ont des interactions étroites, mais complexes, avec les plantes : les fourmis moissonneuses (*Messor*) consomment des graines, mais participent à leur transport.

Certaines espèces sont prédatrices et régulent la population des phytophages et/ou sont également les proies de nombreux prédateurs. D'autres élèvent les pucerons sur la partie aérienne des plantes, mais également sur les racines comme les *Lasius*.

Bien que sensibles à l'urbanisation, de rares espèces comme la fourmi des trottoirs (*Tetramorium caespitum*), les fourmis

noires des jardins (*Lasius groupe niger*), la *Pheidole pallidula* et la fourmi acrobate à tête rouge (*Crematogaster scutellaris*), restent très abondantes. Elles arrivent même à coloniser rapidement les espaces désimperméabilisés comme les cours d'école. D'autres, introduites, comme les *Tapinoma magnum/darioi*, peuvent impacter négativement les écosystèmes et sont considérées comme invasives. Toutefois, ces espèces à surveiller restent rares et la majorité des fourmis, trop souvent perçues comme des nuisibles, sont des acteurs majeurs du fonctionnement des écosystèmes naturels et même anthropisés comme les villes.

Pour finir, les **gastéropodes** (limaces et escargots) sont fréquemment présents dans les litières et les horizons superficiels du sol, où ils trouvent un habitat humide et frais. Par leur nature principalement phytophage et par leur mucus, ils jouent un rôle essentiel dans le recyclage de la matière organique, contribuant notamment à l'assimilation des nutriments dans le sol, à l'instar d'autres organismes du sol tels que les vers de terre, les cloportes, les collemboles, etc. Les limaces constituent un véritable atout en milieu urbain, en particulier dans les jardins privés ou partagés, en raison de leur rôle écologique dans la régulation de nombreuses maladies pathogènes des plantes, particulièrement en ce qui concerne la prolifération de champignons. En revanche, certaines limaces, telles que les testacelles ou la limace léopard (*Limax maximus*), se distinguent par un régime trophique carnivore.



Ocypus olens (Staphylin odorant).
/ Clément Guenier (iNaturalist)



Limax flavus (limace des caves).
/ Douglas Castagnino et Sophie Brajon (iNaturalist)



Pheidole pallidula (Fourmis).
/ Vergnes A., Université Paul-Valéry, Montpellier 3



Glomeris marginata (Diplopode).
/ Perrin W., Université de Montpellier



Lithobius melanops (Chilopode).
/ McWilliam S.J., iNaturalist



Carabes nebria.
/ Hénon N., CHÉLICÉRA



Helix lucorum (Escargot turc).
/ Leleux A., Plante & Cité



Porcellio spinicornis (Cloporte).
/ Perrin W., Université de Montpellier



Pardosa bifasciata (Arachnide).
/ Hénon N., CHÉLICÉRA



Lombric genre *Sclerotheca*.
/ Perrin W., Université de Montpellier 3

La mésofaune dans les sols urbains

La mésofaune correspond à un groupe d'organismes de taille millimétrique, souvent méconnue, même si elle est particulièrement abondante dans la plupart des sols. Elle comprend de nombreux petits arthropodes (souvent appelés microarthropodes), comme les **collembolés** ou les **acariens**, mais également des vers **annélides** (essentiellement des **enchytréides**).

C'est donc un groupe très hétérogène. Parmi ces animaux, certains sont décomposeurs, comme les collembolés et de nombreux acariens (ex. : oribates), d'autres sont prédateurs

comme les **pseudoscorpions** et plusieurs groupes d'acariens (ex. : gamasides), d'autres encore sont phytophages. Ils constituent alors des réseaux trophiques complexes dans les sols, contribuant à la dégradation des matières organiques, directement ou indirectement, en régulant les communautés de champignons et de bactéries. Leurs déjections et leur activité influencent également la structure des sols. Ils sont aussi utilisés comme indicateurs de santé des sols.

En milieu urbain, les abondances de microarthropodes sont variables, fortement dépendantes de l'usage du sol, notamment de la présence ou absence de végétation ; du type de végétation, arboré ou herbacé ; du paysage autour du site étudié, plus ou moins densément urbanisé ; de la qualité du sol, particulièrement ses propriétés physiques (structure, porosité, etc.) et chimiques (teneurs en matières organiques, polluants, etc.) ; ou encore des pratiques pour un même type d'usage (travail du sol, arrosage, etc.). Les collembolés sont parmi les microarthropodes les mieux étudiés, avec des abondances variant entre 8 000 à plus de 120 000 individus par m² en moyenne, et un nombre d'espèces identifiées variant entre 25 et 39 (ce nombre dépend aussi de l'effort d'échantillonnage durant l'étude).

Exemples de différentes études en Europe

À Naples (Italie), 25 espèces de collembolés ont été recensées dans six zones arborées (2 parcs urbains et 4 bords de routes), avec une abondance moyenne de 8 500 individus par m². L'étude a révélé un effet positif des teneurs en matières organiques dans les sols et un effet négatif des éléments traces métalliques sur ces communautés. Par ailleurs, 33 espèces ont été identifiées dans huit parcs urbains, avec une abondance moyenne de 24 046 individus par m². Cette diversité est fortement influencée par la teneur en carbone et en azote des sols, par la présence ou l'absence de couvert arboré et de litière au sol, ainsi que par l'âge du parc.

Ces abondances et diversités sont également observables en France métropolitaine. Autre exemple, à Nantes, 26 espèces ont été identifiées dans un jardin partagé, avec une abondance exceptionnelle de 123 000 individus par m². Ce site a révélé un effet significatif des gradients naturels de pollution, notamment de plomb dans le sol, sur la structure des communautés.

Enfin, cinq jardins partagés ont été étudiés entre différentes villes, mettant en évidence des différences biogéographiques notables. À Marseille, les relevés ont montré 32 espèces avec une abondance moyenne de 34 000 individus par m² ; à Nancy, 28 espèces et 16 000 individus par m² ; et à Nantes, 37 espèces avec 39 000 individus par m².

Pour en savoir plus :

- Joimel S., Schwartz C., Maurel N., Magnus B., Machon N., Bel J., Cortet J., 2019.
Contrasting homogenization patterns of plant and collembolan communities in urban vegetable gardens.
Urban Ecosystems 22, 553-556.
doi.org/10.1007/s11252-019-00843-z
- Milano V., Maisto G., Baldantoni D., Bellino A., Bernard C., Croce A., Dubs F., Strumia S., Cortet J., 2018.
The effect of urban park landscapes on soil Collembola diversity: A Mediterranean case study.
Landscape and Urban Planning, 180, 135-147.
doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.008
- Santorufio L., Cortet J., Arena C., Goudon R., Rakoto A., Morel J.L., Maisto G., 2014.
An assessment of the influence of the urban environment on collembolan communities in soils using taxonomy- and trait-based approaches.
Applied Soil Ecology 78, 48-56.
doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.02.008





(Enchytraeidae).
/ Gorbunova-Yolkina M., iNaturalist



Isotomurus sp. (Collembola).
/ Hénon N., CHELICERA



Caeculidae sp. (Acarien).
/ Hénon N., CHELICERA



Genre *Campodea* (Diploure).
/ Corbrion P., iNaturalist



Macrotermes annandalei (Termite).
/ Beccari V., iNaturalist



Protoure (ordre Protura).
/ Dankowicz Z., iNaturalist



Machilide (*machilidae*) (Thysanoure).
/ Hénon N., CHELICERA



Pseudo-scorpions.
/ Hénon N., CHELICERA

La vie microscopique des sols urbains

La taille de certains organismes du sol atteint l'ordre des micromètres, ne pouvant être observé qu'au microscope. Ils comprennent la microfaune (individus eucaryotes) et les micro-organismes unicellulaires.

La microfaune des sols urbains

Le groupe de la microfaune est très diversifié, et également en termes de modes de nutriments. Parmi les animaux microscopiques les plus décrits, on trouve les **nématodes**, de petits vers transparents. Bien qu'ils ne représentent que 5 % des espèces recensées, ils se distinguent en cinq groupes trophiques : les bactérivores, les fongivores, les omnivores, les phytoparasites et les prédateurs.

Les **tardigrades**, ou « oursins d'eau », sont capables de vivre dans des conditions extrêmes, allant des milieux les plus froids au plus chauds et plus secs, supportant également de fortes pressions et des radiations intenses leur permettant de survivre dans l'espace. Cependant, leur habitat de prédilection reste les mousses et les lichens. Enfin, en termes d'alimentation, ils peuvent aussi être phytophages, omnivores (se nourrissant de certains protozoaires, de nématodes et de rotifères), et parfois carnivores.

Les **rotifères**, quant à eux, sont très abondants dans les premières couches du sol. Leur régime alimentaire est principalement microphage, consistant à se nourrir de films bactériens ou à filtrer des bactéries et autres particules en suspension dans le sol. En vivant dans la porosité capillaire de ce dernier, ces organismes contribuent à la transformation des matières organiques mortes, jouant un rôle crucial dans la minéralisation, dans la décomposition des matières organiques et dans la régulation des communautés microbiennes.

Les micro-organismes des sols urbains

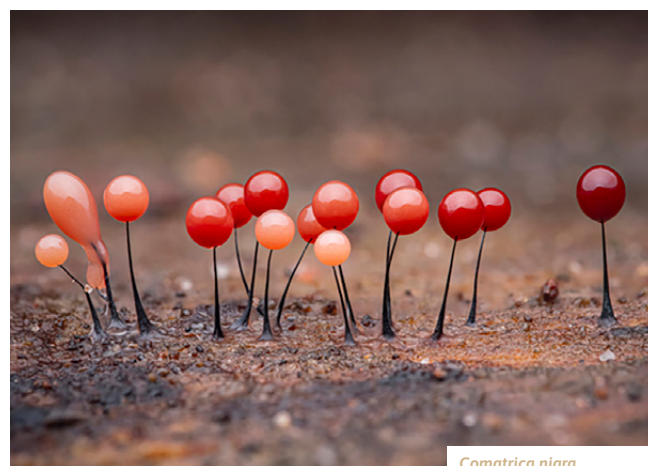
En raison de leur taille microscopique, les micro-organismes occupent les espaces vides (pores) présents autour ou à l'intérieur des agrégats du sol et entre les feuillets d'argile. La majorité d'entre eux, tels que les champignons, **bactéries**, **archées** et **protozoaires**, vivent dans des pores d'un diamètre supérieur à 10 µm, appelés macropores ou macroagrégats. Certains, cependant, peuvent survivre dans des micropores de moins de 10 µm (microagrégats), souvent dépourvus d'oxygène (anoxiques), comme les archées et bactéries anaérobies.

La plupart des micro-organismes jouent un rôle essentiel dans la dégradation, dans la minéralisation de la matière organique et dans le recyclage des nutriments. On les classe généralement en deux groupes trophiques : les copiotrophes (qui dégradent facilement la matière organique et se multiplient rapidement) et les oligotrophes (qui vivent dans des

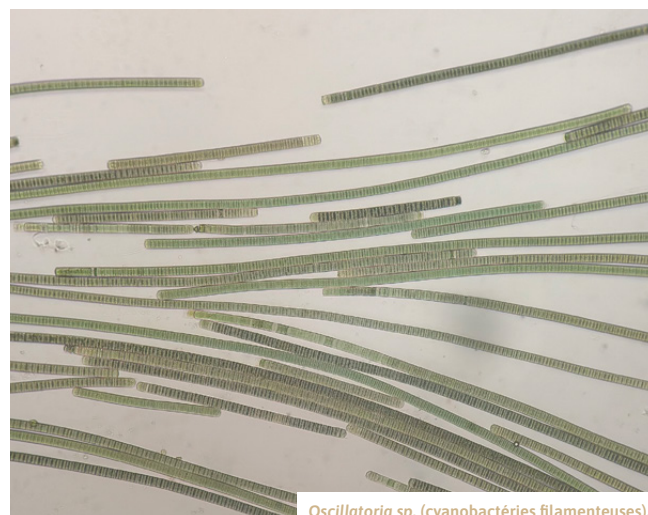
sols pauvres en nutriments ou difficiles à dégrader, se développant plus lentement). Les micro-organismes participent à la structuration du sol, notamment par la production de molécules organiques qui contribuent à sa cohésion. Ainsi, ils permettent une meilleure aération et un passage de l'eau. Le trajet des racines va aussi participer à l'apparition de ces cavités dans le sol, qui sont les habitats des micro-organismes.

Bien que plusieurs projets sur l'écologie microbienne des sols urbains soient en cours de développement au niveau national en France, d'autres études d'échelle internationale peuvent déjà nous donner une idée sur la répartition des communautés microbiennes dans les sols urbains. En effet, des travaux ont été réalisés aux États-Unis (New-York) et dans les métropoles chinoises. Il en ressort que les propriétés physico-chimiques du sol (le pH) et les différents modes d'occupations urbaines affectent la diversité des communautés microbiennes en milieu urbain. Toutefois, le niveau d'urbanisation, la diversité du couvert végétal et les variations du microclimat ne semblent pas influencer la communauté des micro-organismes.

Les connaissances actuelles révèlent que les sols urbains peuvent héberger une biodiversité microbienne riche et diversifiée, tout en étant des habitats spécifiques, avec une écologie qui leur est propre. Cependant, les données disponibles demeurent trop limitées pour bien comprendre la régulation des communautés indigènes et leur fonctionnement dans ces sols, qui sont souvent fragmentés et plus ou moins isolés, selon leur position dans la mosaïque urbaine.



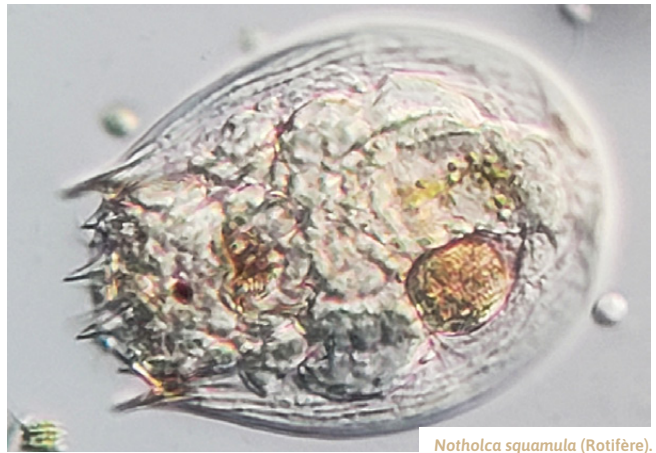
Comatricha nigra.
/ Alexis Ogron (iNaturalist)



Oscillatoria sp. (cyanobactéries filamenteuses).
/ Charlie Kozak Donald (iNaturalist)



Acrobeles (Nématode).
/ Villenave C., ELIOSOL Environnement



Notholca squamula (Rotifère).
/ Bird D., iNaturalist



Genre Ramzotius (Tardigrade)
/ Brodersen D., iNaturalist



Gomophosphaeria aponina (Bactéries).
/ Bird D., iNaturalist



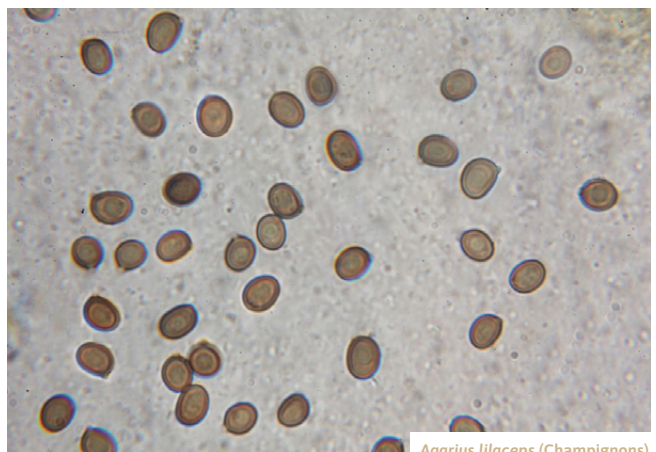
Genre Nostoc.
/ geoltel, iNaturalist



Arcyria denudata (Protozoaire).
/ Pearson R., iNaturalist



Sulfolobus solfataricus (Archées).
/ Collins S., iNaturalist



Agarius lilaceps (Champignons).
/ Rockefeller A., iNaturalist



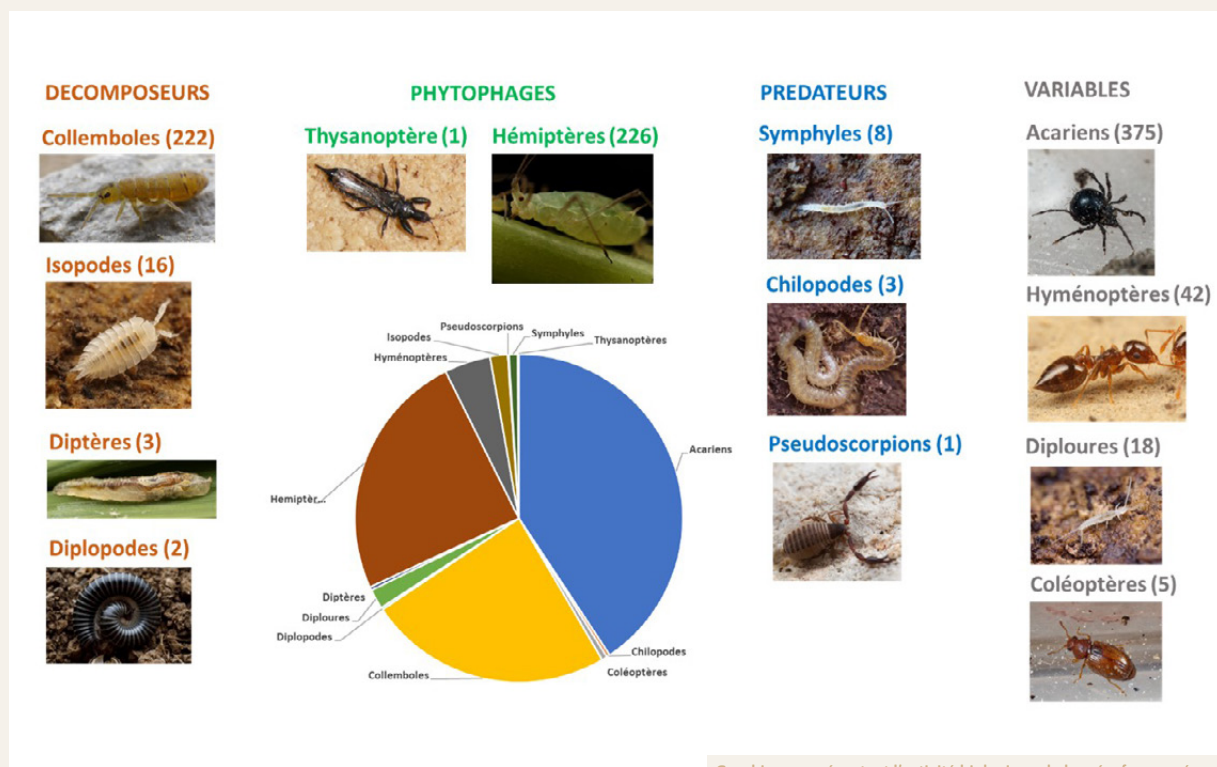
Jardins partagés de Montpellier :

focus sur les microarthropodes

Parmi les quatre métropoles participant au programme BISES, Montpellier se distingue en étant la seule à bénéficier d'un climat méditerranéen. Ce contexte climatique particulier, marqué par des étés chauds et secs, favorise la présence d'organismes adaptés à des conditions de sécheresse et de chaleur. Ainsi, cette spécificité climatique pourrait influencer la diversité et la répartition des communautés des sols, dans la région montpelliéraine.

Dans le cadre de ce projet, un échantillonnage concernant la mésofaune, précisément les microarthropodes, a été réalisé au sein de la métropole, en 2021, notamment dans deux jardins partagés. Pour six échantillons collectés sur les 5 premiers cm de sol (soit environ 850 cm³ de sol au total), 922 animaux ont été extraits et comptés au total, avec une grande majorité d'acariens et de collembolés, mais également de très nombreux autres arthropodes. En extrapolant ces données, cela représente environ **56 000 individus par m² de sol**.

Pour faciliter la lecture, ces groupes d'arthropodes ont été classés en fonction de leur régime trophique : décomposeurs, phytophages, prédateurs. Cependant, certains groupes contiennent des individus dont le régime trophique dépend des espèces (nommé « Variables » sur la figure). Certains groupes caractéristiques et représentatifs de l'écosystème sol sont très abondants, comme les acariens (375 individus) ou les collembolés (222 individus). En revanche, la très forte présence d'hémiptères (pucerons), généralement plus rares dans les sols, est sans doute liée aux pratiques et usages du site à vocation maraîchère.



Graphique représentant l'activité biologique de la mésofaune présente dans le sol d'un jardin partagé. / Hénon N., Lamare L., Clive M., QUBS



Paris : quels organismes peuplent les sols de la capitale ?

Comment se distingue Paris des autres collectivités ?

Parmi les collectivités partenaires du programme BISES, Paris est incontestablement la plus densément peuplée, atteignant 20 641 habitants par km². En 2021, les espaces verts couvraient environ 31 % de la surface parisienne. Cette proportion inclut les bois de Boulogne et Vincennes (1840 hectares), complétés par 145 hectares de toitures et murs végétalisés, 520 hectares de parcs et jardins, ainsi que 650 km de voies plantées, accueillant plus de 106 000 arbres.

Dans le cadre de son Plan Climat lancé en 2024, la ville s'est fixé l'objectif de désimperméabiliser 40% de son territoire d'ici 2050. En parallèle, son nouveau Plan Biodiversité 2025-2030 réaffirme sa volonté de redonner une place centrale aux espaces verts, en commençant par mieux connaître la biodiversité de ses sols et par limiter les pressions exercées sur cette ressource. Cette démarche s'inscrit dans une logique de définition et de structuration de sa trame brune.

Les premiers résultats biologiques des sols parisiens

À Paris, la communauté lombricienne ne semble pas marquante car sa densité est homogène avec celles des autres collectivités, sans différence significative entre les usages. Pour les collemboles, leur densité est également stable (environ 9000 individus au m²), aussi bien d'un usage à l'autre qu'en comparaison avec les autres villes. En revanche, Paris se démarque nettement par une abondance totale de nématodes (3 500 individus/100 g sol sec en moyenne contre 2 225 en moyenne dans les autres villes), avec des variations significatives selon les usages. Cette dynamique particulière se manifeste notamment dans les jardins partagés, où l'abondance peut atteindre autour de 4 000 individus pour 100 g de sol sec. À l'inverse, leur présence est plus faible dans les espaces d'accompagnement de voirie tels que les ronds-points (environ 3 000 individus pour 100 g sol sec).

Les nématodes se distinguent par une diversité de régimes trophiques selon les espèces étudiées. Parmi eux, certains sont des nématodes phytoparasites, parfois responsables de dégâts importants sur les cultures. Si ces derniers sont abondants dans les fermes urbaines, ce n'est pas le cas dans les jardins partagés. Ce résultat

peut être lié à des pratiques plus favorables à leurs régulations avec cet usage (ex. : rotation des cultures, apport de matière organique, etc.). Toutefois, il est essentiel de rappeler que la majorité des nématodes ne sont pas nuisibles. Certains jouent même un rôle bénéfique dans le sol, en particulier les nématodes bactériovores et fongivores, qui participent à la régulation des bactéries et des champignons, et contribuent ainsi à la décomposition de la matière organique du sol, ainsi qu'aux flux de nutriments. À Paris, les nématodes bénéfiques (non parasites des plantes) sont plus abondants que dans les autres villes (1 800 individus/100 g sol sec contre 875 individus/100 g sol sec en moyenne), indiquant un niveau d'activité biologique élevé dans ces sols.

Par ailleurs, les nématodes bactériovores opportunistes dominent dans les sols parisiens, indiquant qu'une forte minéralisation de la matière organique du sol est en cours. Ils sont particulièrement abondants dans les jardins partagés, ce qui peut être en lien avec des apports importants de matières organiques facilement dégradables et riches en azote, type fumier, crottin, compost frais, restitution de litière fraîche, etc. Ces conditions sont favorables à la fertilité chimique des sols (flux d'azote). À l'inverse, ces nématodes bactériovores, et plus globalement l'ensemble des nématodes bénéfiques, sont présents en faible abondance dans les ronds-points, indiquant un plus faible niveau d'activité biologique et un plus faible processus de minéralisation de la matière organique des sols pour cet usage.



Echantillonnage d'un site productif à Paris.
/ Jean-Christophe Lata

Les sols urbains : spécificités et enjeux pour la faune des sols

Avant les années 90, les sols urbains n'attirent guère la curiosité des scientifiques et des aménageurs de la ville. Ils sont souvent considérés comme des « non-sols », dénués d'intérêts pédologiques. Pourtant, malgré leur artificialisation, ces milieux constituent à la fois un support d'activités humaines et, de manière moins évidente, un support de biodiversité potentiellement fertile. En quelques décennies, sous l'impulsion des enjeux du développement durable, la pédologie urbaine s'est progressivement imposée comme un champ de recherche à part entière, tant à l'échelle locale que nationale, européenne et internationale.

En une trentaine d'années, les sciences du sol urbain sont devenues incontournables à la connaissance de la diversité pédologique des villes et permettent ainsi d'envisager l'intégration de leur qualité et de leur santé dans les stratégies d'aménagement. En résumé : **affecter le bon usage au bon sol**.

Un sujet d'étude très récent

En France, l'étude des sols urbains, souvent qualifiés de très anthropisés, a démarré dans les années 1970, en lien avec la problématique de requalification des friches industrielles. Ce sont alors principalement des **Technosols** qui ont fait l'objet de travaux scientifiques, sous l'angle des risques sanitaires. Ce terme, désignant un sol contenant au moins 20 % de matériaux technogéniques dans le premier mètre de sa profondeur, n'est d'ailleurs apparu qu'au début des années 2000 dans le référentiel international, témoignant ainsi de la jeunesse des approches pédologiques urbaines.

À cette époque, la majorité des investigations se concentrent sur les risques de dissémination des polluants dans les écosystèmes et dans la chaîne alimentaire, sans cibler spécifiquement l'agriculture urbaine ou les natures en ville.

Cette approche axée sur les sols urbains et industriels était pleinement justifiée, mais les porteurs d'enjeux étaient loin de les considérer comme capables d'assurer des fonctions telles que le support de biodiversité, l'approvisionnement en ressources et leur fertilité. Les stratégies de gestion des sites et sols dégradés ont évolué de manière concrète ces deux dernières décennies avec le développement de solutions fondées sur la nature, souvent déclinées en génie pédologique et phyto-management – deux entrées ne pouvant se passer de sols fonctionnels.

Un premier tournant dans l'étude des sols urbains s'est produit dans les années 90, avec l'intérêt croissant des pédologues pour les jardins potagers urbains, un terrain d'étude en lien avec leur sensibilité agronomique. Ces travaux précurseurs contribuent alors à répondre à des enjeux environne-

mentaux liés à l'agriculture urbaine et à la renaturation des villes.

Par la suite, les sols supports d'infrastructures ont fait l'objet d'études allant au-delà de leurs caractéristiques géotechniques, notamment pour évaluer les effets du génie civil sur les pertes de fonctions écologiques des sols. Parmi ces altérations, l'imperméabilisation (ou scellement des sols) reste aujourd'hui l'une des principales causes de perte des fonctions des sols en Europe et dans le monde. Cela suscite un intérêt croissant pour les conditions de désimperméabilisation laissant envisager une renaturation, voire un retour à une logique productive.

Dans ce contexte, l'étude des sols urbains s'intensifie autour de thématiques majeures telles que les agricultures urbaines saines, l'arbre en ville durable, la nature en ville, et plus généralement avec la préservation de l'eau et de la biodiversité.

Des caractéristiques spécifiques liées aux usages

Si certaines des caractéristiques des sols urbains peuvent être liées à leur nature initiale, beaucoup résultent des usages multiples et évolutifs auxquels ils sont soumis. Cette superposition d'activités (agricoles, industrielles, résidentielles) façonne une vaste diversité de profils, et confère aux sols urbains des traits spécifiques. Parmi ces derniers, on observe une variabilité spatiale importante des profils de sols et de la qualité des terres, liée aux superpositions d'usages et surtout aux pratiques successives (y compris agricoles).

Une autre caractéristique est la présence quasi systématique d'éléments technogéniques et de déchets (artéfacts). Par ailleurs, leur abondance et leur taille dépend de la nature du sol artificialisé et du type d'activités humaines, ainsi que de l'intensité de celles-ci.

Les sols urbains peuvent présenter des propriétés pédologiques défavorables à la croissance des végétaux et à la biodiversité : teneurs élevées en éléments grossiers, pH souvent très basiques ou, au contraire, acides à très acides, masses volumiques apparentes souvent élevées et capacité à infiltrer de l'eau très faible. À cela s'ajoutent d'éventuels risques pour la santé humaine et écosystémique, en raison de concentrations potentiellement élevées en contaminants minéraux et organiques, principalement dans les couches superficielles.

Néanmoins, les sols des villes recèlent des concentrations en carbone organique très variables selon les usages, mais en moyenne plus élevées que celles des sols non artificialisés. En stockant de grandes quantités de carbone, les sols urbains contribueraient, aux côtés des sols forestiers et agricoles, à réguler le climat local puis global, et, plus largement, à rendre des services écosystémiques.

Si la couverture pédologique urbaine est constituée de sols très anthropisés, elle inclut également des sols agricoles et des sols forestiers situés dans le périmètre urbain, qualifiables de sols (pseudo)-naturels. Ces derniers présentent un enjeu de préservation, en raison des fonctions écologiques qu'ils ont la capacité d'assurer et des services écosystémiques qu'ils peuvent rendre en ville, dont la régulation de la biodiversité. Il pourrait être pertinent de privilégier ces sols comme supports des agricultures urbaines.

Les paramètres physico-chimiques des sols

étudiés par le programme BISES



Suite aux prélèvements réalisés sur l'ensemble des sites échantillonnés (voir page 6), les résultats ont montré que les caractéristiques des sols étaient significativement différentes des sols non urbains sur le territoire national français. Tous les indicateurs physico-chimiques ont eu des valeurs moyennes supérieures aux valeurs de référence des sols français en dehors des villes, à l'exception de la CEC et du pH pour la ville de Nantes dont les sols sont développés sur socle cristallin. Il y a donc bien un effet du facteur géologique sur la capacité potentielle du sol urbain à être support de biodiversité.

Dans un pays tempéré comme la France, les climats contrastés méditerranéen, océanique dégradé et semi-continental n'ont pas eu d'effet sur les valeurs d'indicateurs physico-chimiques des sols urbains de Montpellier, Paris et Nancy, qui sont très proches.

Dans tous les sols urbains étudiés, les stocks de carbone contenus dans le premier horizon (0-20 cm) ont des valeurs supérieures à la moyenne des sols français, compatibles avec les besoins énergétiques et alimentaires essentiels à l'activité biologique.



Du profil de sol à l'espace vert urbain – Parc de la Pépinière, Nancy. / Schwartz C., LSE, Université de Lorraine- Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE)

Renaturer les sols pour les préserver

La dégradation des sols en ville ne doit pas être considérée comme une fatalité. Des flux d'échange sont possibles entre les surfaces artificialisées et non artificialisées, avec des dynamiques croisées d'artificialisation ou de désartificialisation. Pour répondre à la dégradation de la couverture pédologique urbaine, il convient de mobiliser davantage les solutions fon-

dées sur la nature dans une logique de requalification, de renaturation ou encore de restauration des fonctions écologiques. Ces solutions se déclinent principalement autour du génie pédologique (construction de sols) et du génie végétal (phyto-management). Des cadres législatifs et réglementaires existent pour favoriser leur développement.

En 2018, il a été posé, dans le cadre du Plan Biodiversité, le principe de ZAN, renforcé par la loi Climat et résilience de 2021. Il est désormais attendu que des actions soient mises en place en faveur de la préservation des espaces naturels, agricoles et forestiers, de création des trames brunes en milieu urbain, de désimperméabilisation des sols et de renaturation.

Des solutions peuvent être trouvées dans les procédés du génie pédologique, comme la construction de sols fondée sur l'élaboration de sols fertiles en valorisant déchets et sous-produits, dans une logique de bioéconomie locale. Il devient possible de redonner à des sols dégradés des fonctionnalités proches de celles de sols naturels. Les Technosols construits sont aussi mobilisables dans le cadre de chantiers de désimperméabilisation, une manière de restaurer des fonctions écologiques et, par conséquent, de retrouver des services écosystémiques perdus lors du scellement de sols : réouverture des cycles de l'eau, des éléments nutritifs, productions de biomasses ornementales ou alimentaires, gains de biodiversité et accès renouvelé à une diversité des paysages.

Les sols urbains ne sont évidemment pas la chasse gardée des pédologues. En ville, plus encore que sur d'autres territoires, il est nécessaire de croiser des approches scientifiques disciplinaires diverses (ex. : histoire, archéologie, économie, urbanisme, paysagisme, génie civil), d'autant que les points de vue des opérateurs est la condition *sine qua non* d'une appropriation collective du capital sol à connaître et (a)ménager ensemble.

Bibliographie

- Arias-Navarro C., Baritz R., Jones A., A editor(s), 2024.
The state of soils in Europe.
Publications Office of the European Union, 154 p. JRC137600
<https://data.europa.eu/doi/10.2760/7007291>
- André H.M., Noti M.I., Lebrun P., 1994.
The soil fauna: the other last biotic frontier.
Biodivers Conserv 3, 45–56.
doi.org/10.1007/BF00115332
- Anthony M.A., Bender S.F., Van der Heijden M.G., 2023.
Enumerating soil biodiversity.
PNAS 120 (33) e2304663120
doi.org/10.1073/pnas.2304663120
- Blanchart A., Séré G., Cherel J., Warot G., Stas M., Consalès J.N., Morel J.L., Schwartz C., 2018.
Towards an operational methodology to optimize ecosystem services provided by urban soils.
Landscape and Urban Planning 176, 1-9
doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.019
- Branchu P., Neaud C., Ouallet P., 2024. -
Les sols au cœur des stratégies de nature en ville.
Cerema [Études & Méthodes]
www.cerema.fr/fr/actualites/sols-au-coeur-strategies-nature-ville
- Brondizio E., Diaz S., Settele J., Ngo H. T., 2019.
Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
IPBES secretariat, Bonn, Germany, 1148 p.
doi.org/10.5281/zenodo.3831673
- Cambou A., Saby N.P., Hunault G., Nold F., Cannavo P., Schwartz C., and Vidal-Beaudet L., 2021.
Impact of city historical management on soil organic carbon stocks in Paris (France).
J. Soils Sediments 21 (2), 1038–1052.
doi.org/10.1007/s11368-020-02869-9
- Cambou A., Shaw R.K., Huot H., Vidal-Beaudet L., Hunault G., Cannavo P., Nold F., Schwartz C., 2018.
Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris.
Sciences of the total environment, 644: 452-464.
doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.322
- Cornu S., Keller C., Béchet B., Delolme C., Schwartz C., Vidal-Beaudet L., 2021.
Pedological characteristics of artificialized soils: a snapshot.
Geoderma 401, 115321
doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115321
- Damas O., Branchu P., Douay F., Schwartz C., Grand C., Marot F., 2018.
Présomption de pollution d'un sol : des clés pour comprendre et agir
Plante & Cité, 36 p.
www.ressources.plante-et-cite.fr/fiche/91211
- Destour G., Blatrix R., Caries A., Genevet J., Kaufmann B., Lecoq B., Lucas A., Verlingue K., Vergnes A., Javal M., 2024.
Impact of temperature and season on ant foraging activity of two invasive species in a Mediterranean urban area.
Ecological Entomology 49, no 5 : 673 81.
doi.org/10.1111/een.13339
- Eydoux L., Jay-Robert P., Kaufmann B., Hedde M., Vergnes A., 2024.
Soil unsealing in Mediterranean schoolyards: what factors drive ant communities?
Urban Ecosystems, 1 13.
doi.org/10.1007/s11252-024-01608-z
- FAO, IPTS, GSBI, SCBD, and EC, 2020.
State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020.
FAO, 618 p. /
www.fao.org/interactive/soil-biodiversity/en/
- FAO, 2020.
Keep soil alive, Protect soil biodiversity.
5,20 min.
www.youtube.com/watch?v=daR1hRhcyvE
- Gis Sol, 2019.
Le rôle des microorganismes dans le sol.
[Poster]
www.gissol.fr/wp-content/uploads/2019/10/Posters-Gis-web-Micro-organisme-2.pdf
- Gobat J.-M., Aragno M., Matthey W., 2010.
Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols, 3ème édition.
EPFL Press, 848 p
- Guillard C., Maron, P.-A., Damas O., Ranjard L., 2018.
Biodiversity of urban soils for sustainable cities.
Environmental Chemistry Letters, vol 16.
doi.org/10.1007/s10311-018-0751-6
- Hinsinger P., 2024.
La vie cachée des sols.
Éditions Quae, 152 p.
- Institute for Environment and Sustainability (Joint Research Centre), Jeffery S., Gardi C., Jones A., et al., 2013.
Atlas européen de la biodiversité des sols.
Bureau des publications de l'Union européenne, Luxembourg. 128 p.
<https://data.europa.eu/doi/10.2788/89331>
- Joimel S., Cortet J., Jolivet C., Saby N., Chenot E.D., Branchu P., Consalès J.N., Lefort C., Morel J.L., Schwartz C., 2016.
Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France.
Science of the Total Environment, 545, 40-47
doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.035
- Joimel S., Schwartz C., Hedde M., Kiyota S., Krogh P.H., Nahmani J., Pérès G., Vergnes A., Cortet J., 2017.
Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality.
Science of The Total Environment, 584-585: 614-621
doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.086
- Karimi B., Chemidlin Prévost-Bouré N., Dequiedt S., Terrat S., Ranjard L., 2018.
Atlas français des bactéries du sol.
Biotope édition, Muséum national d'Histoire naturelle, 192 p.
- Libessart G., Franck-Néel C., Branchu P., Schwartz C., 2022.
The human factor of pedogenesis described by historical trajectories of land use: The case of Paris.
Landscape and Urban Planning, vol. 222, 104393,
doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104393
- Maron P.A., Ranjard L., 2024.
Sols urbains et biodiversité microbienne.
Médecine/Sciences, n° 11, vol. 40 : 858-63.
doi.org/10.1051/medsci/2024147
- Morel J.L., Schwartz C., Florentin L., De Kimpe C., 2005.
Urban soils.
Dans Hillel D., Encyclopedia of Soils in the Environment. Elsevier Ltd., Academic Press, London, 202-208
- Orgiazzi A., Bardgett R. D., Barrios E., et al., 2016.
Global Soil Biodiversity Atlas.
European Commission
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-biodiversity-atlas#tabs-0-description=0>
- Plante & Cité, 2023.
Agir pour les sols urbains – Des sols fonctionnels pour la nature en ville.
Plante & Cité, Angers, 68p.
www.ressources.plante-et-cite.fr/fiche/93240
- Swift M.J., Heal O.W., Anderson J. M., 1979.
Decomposition in Terrestrial Ecosystems.
Blackwell scientific publications, Oxford, 380 p.
- Vidal-Beaudet L., Schwartz C., Auclerc A., Barantal S., Cortet J., Dozières A., Lata J.-C., Maron P.-A., Turcati L., Vergne A., 2023.
An innovative sampling strategy to assess urban soil biodiversity. Proc. II International Symposium on Greener Cities: Improving Ecosystem Services in a Climate-Changing World (GreenCities2022).
Acta Hort. 1374, 213-220
doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1374.27
- Vieux B., D'Abzac P., Vuillermet F., 2024.
Fiche médiation faune sauvage : Limaces et escargots.
LPO, 4 p.
www.lpo.fr/media/read/12595/file/FM_LIMACES%20ESCARGOTS_aout%202024_WEB.pdf



OBSERVER ET MESURER LA BIODIVERSITÉ DES SOLS URBAINS

Ce chapitre présente les méthodes et les outils pour évaluer et observer la qualité biologique des sols urbains, qui ont tous été utilisés ou développés dans le cadre du programme BISES. Il introduit la notion de bioindicateurs, utilisés dans le cadre du programme, en l'illustrant avec des résultats issus des mesures de terrain. Il décrit ensuite la mise en œuvre d'un programme de sciences participatives visant à impliquer les citoyens dans la préservation de la biodiversité des sols, ainsi que le développement d'un dispositif non invasif permettant de prendre des photos d'organismes rampants au sol sans les perturber.

Étudier la biodiversité des sols avec les bioindicateurs

Étudier la biodiversité des sols est un objectif pouvant être considéré comme nécessaire – notamment dans le contexte actuel d'érosion de la biodiversité - mais se révélant extrêmement complexe.

En effet, le sol est une « boîte noire » qu'il est nécessaire d'échantillonner et de décomposer (voire de détruire) afin d'accéder à cette biodiversité, empêchant une observation directe des relations entre organismes, comme pour les liens trophiques. La plupart des organismes sont également invisibles, car les micro-organismes en constituent la grande majorité. Enfin, cette biodiversité peut être très variable, et soumise, suivant les perturbations, à des changements rapides. Pourtant, comprendre cette biodiversité et la traduire en paramètres simples et fonctionnels permet de la lier aux services rendus par les sols, et d'émettre un diagnostic d'état, que ce soit pour un constat ou pour un suivi de gestion.

De la notion de biodiversité des sols à celle de bioindicateurs

Le concept de bioindicateurs permet, en tant qu'outil, d'estimer l'état écologique des sols (et des écosystèmes associés). Un bioindicateur peut être un simple organisme (ou

une partie de celui-ci), mais est très souvent considéré au sein d'une communauté d'organismes.

Sur des bases scientifiques (sensibilité mesurée aux perturbations, connaissances de l'écologie des espèces, plasticité et mobilité de ces organismes, place dans un réseau trophique, etc.), ces indicateurs peuvent prendre différentes formes. Il s'agit par exemple d'étudier leur présence ou leur absence (richesse), l'importance de cette présence (abondance des individus, biomasse) et leurs activités (ou leur état).

L'utilisation de bioindicateurs doit se faire selon différents niveaux d'objectifs : diagnostic général (ex. : comparaison de plusieurs états de référence), alerte (écotoxicologie, pollution) ou prospective (indicateurs permettant d'apprécier différentes méthodes de gestion). Ce faisant, différents publics ou porteurs d'enjeux peuvent utiliser et s'approprier différents bioindicateurs suivant ces niveaux d'objectifs.

La sélection et l'application de bioindicateurs se font selon des niveaux de contraintes, comme la nécessité d'intégrer des échelles spatiales et/ou temporelles différentes, la simplicité des méthodes, les coûts, leur précision et la répétabilité des résultats. Également, ce choix s'établit selon des enjeux pour les collectivités dans le cadre réglementaire actuel : éducation citoyenne, évaluation de la santé des sols (un sol qui fonctionne bien, mais à visée non productive), fertilité des sols (un sol à visée productive) et évaluation des risques (pollution).

Les bioindicateurs utilisés dans le cadre de BISES

Dans le cadre de ce projet, différents organismes représentatifs de la palette de biodiversité des sols ont été collectés, permettant de dégager de nombreux indicateurs et de brosser un état de santé général des sols sur les sites prospectés, mais également de fertilité des sols ou de risque environnemental. Au total, une vingtaine d'indicateurs issus de huit taxons (bactéries, champignons, nématodes, collembolles, acariens, vers de terre, fourmis, et autres macrofaune) ont été étudiés.

		MICROORGANISMES			MÉSOfaUNE		MACROFaUNE		
		Bactéries	Champignons	Nématodes	Collemboles	Acariens	Fourmis	Vers de terre	Autre macrofaune de surface
PATRIMOINE ET STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS	Biomasse	Moléculaire							
	Richesse	Nombre d'OTU		Nombre de familles	Nombre d'espèces		Nombre d'espèces	Nombre d'espèces	Nombre de taxons
	Abondance	Nématodes totaux			Totale	Totale	Totale		Totale
	Diversité			Indice de Shannon	Indice de Shannon		Indice de Shannon	Indice de Shannon	Indice de Shannon
	Complexité	Indice de structure corrigé							
FONCTIONNEMENT BIOLOGIQUE DU SOL	Équilibre microbien	Rapport bactéries champignons		Indice voies de décomposition					
	Disponibilité en éléments nutritifs	Indice d'enrichissement							
	Pression parasitaire sur les plantes			Indice de parasites des plantes					
	Capacité d'accueil et activité globale	Nombre de nématodes libres			Indice écomorphologique				

Quelques indicateurs utilisés dans le cadre du programme BISES.



Méthodes d'échantillonnage :

focus sur quelques protocoles de BISES

Des techniques éprouvées et abondamment décrites dans la littérature scientifique, souvent normalisées ISO ou AFNOR, ont été utilisées dans le cadre de BISES pour échantillonner la faune du sol. Les protocoles diffèrent selon les types d'organismes étudiés, et impliquent

généralement un passage en laboratoire avec du matériel plus ou moins spécifique. Voici ci-dessous deux exemples pour l'étude des microarthropodes du sol (acariens et collemboles) et des vers de terre.

ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES MICROARTHROPODES DU SOL



ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES VERS DE TERRE



Des indicateurs de patrimoine et de structure des communautés

Ces indicateurs peuvent être utilisés de différentes façons. Ils permettent tout d'abord, à travers l'utilisation de référentiels bien connus et documentés scientifiquement, d'évaluer l'état de santé global de chaque sol échantillonné. Par exemple, une richesse élevée en espèces de collemboles ou de vers de terre est généralement considérée comme un signe de bonne santé générale des sols en contexte urbain.

Pour aller plus loin, une fois la richesse déterminée, elle peut être complétée par une identification précise de certains taxons clés. Cette étape permet d'approcher la composition des communautés en mettant en évidence des espèces ou taxons clés aux comportements particuliers. Par exemple, on sait que certaines espèces de fourmis, comme celles du genre *Aphaenogaster*, vont creuser des galeries dans les sols, ce qui va favoriser la structuration des sols ; en revanche, d'autres espèces de fourmis sont considérées comme invasives et peuvent causer une gêne pour les usagers (cas de la fourmi électrique *Wasmannia auropunctata*) ou avoir un impact sur la végétation (par exemple la fourmi noire des jardins *Lasius niger* ou la fourmi noire des bois *Lasius fuliginosus*, connues pour élever des pucerons) (voir page 16). Enfin, l'absence de certains taxons peut traduire une sensibilité du milieu (ex. : en cas d'épisodes répétés de pollution).

Des indicateurs de fonctionnement biologique du sol

Si une approche taxon-centrée, par la présence et/ou l'abondance ou, au contraire, l'absence de certains taxons, peut renseigner certains aspects du fonctionnement des sols en contexte urbain, des indices synthétiques fonctionnels peuvent également être employés. C'est le cas par exemple des nématodes, dont l'indice d'enrichissement renseigne sur la disponibilité en éléments nutritifs dans le sol et donc sur la fertilité du sol. L'indice de parasites des plantes, focalisé sur les nématodes phytophages, permet d'approcher la pression parasitaire pour les plantes au niveau des sols.

Ces différents indices peuvent aussi être combinés pour caractériser un fonctionnement biologique global du sol. Un exemple est l'indice écomorphologique chez les collemboles qui est calculé pour donner plus de poids aux espèces endogées (qui vivent dans le sol). Celles-ci sont plus sensibles aux perturbations du sol que les espèces épigées (qui vivent sur le sol), souvent plus résilientes car capables de recoloniser rapidement un milieu après perturbation. Ainsi, un sol dont la structure est défavorable aux collemboles endogés, parce qu'il a été tassé par des engins lourds ou parce qu'il a été travaillé trop fréquemment, verra cet indice écomorphologique diminuer. L'intérêt de cet indice réside également dans le fait qu'il peut être estimé en observant les traits des animaux, sans pour autant avoir besoin de connaître les espèces, ce qui le rend plus facile à utiliser par des non-experts.

Intérêts et limites des bioindicateurs du sol

Les bioindicateurs ont le pouvoir d'intégrer de nombreuses informations et peuvent donc répondre à de multiples questions dans les milieux urbains, notamment dans le cadre d'une évaluation à long terme de la santé ou du fonctionnement du sol. Dans cette optique, ils sont donc bien souvent plus efficaces que de nombreux indicateurs physico-chimiques. Ils n'offrent toutefois pas toujours d'explication précise des pro-

cessus qui se jouent dans les sols, et dans certains cas, il est nécessaire de les coupler à des analyses physico-chimiques.

Par exemple, si on souhaite précisément connaître le niveau de pollution d'un sol par des métaux (pour des raisons sanitaires), alors il est indispensable de mesurer directement ces éléments. La biodiversité pourra en revanche renseigner sur l'impact de ces métaux dans le sol, qui peut fortement varier en fonction de nombreux paramètres comme le pH, les teneurs en matières organiques et la biodisponibilité de ces polluants. Plusieurs bioindicateurs renseignent ainsi sur le degré de risque environnemental. De même, si un bioindicateur signale un dysfonctionnement du sol, par exemple une fertilité trop faible, il n'en indiquera pas toujours les causes. Il faudra les rechercher en examinant d'autres informations, telles que les pratiques ou l'origine du sol.

On pense souvent que l'utilisation de bioindicateurs du sol est inaccessible aux particuliers, agriculteurs ou gestionnaires d'espaces verts. Les freins généralement identifiés concernent l'expertise, supposée élevée pour l'analyse et l'interprétation des données acquises, et le coût jugé souvent hors de portée. Il ne faut pas négliger non plus la méconnaissance générale de la biodiversité des sols par les acteurs des territoires, qui, de fait, ne seraient pas toujours en capacité de recevoir les informations acquises.

Ces problématiques apparaissent aujourd'hui dépassées. Plusieurs entreprises ou bureaux d'études, souvent habitués à travailler en milieux urbains, sont aujourd'hui capables de proposer ces outils en routine pour un coût raisonnable. Par ailleurs, au niveau européen, de nombreuses bases de données se développent, ce qui va permettre à terme d'améliorer les diagnostics, d'augmenter le nombre d'indicateurs disponibles et de faciliter la comparaison entre différentes situations urbaines.

Enfin, pour démocratiser l'utilisation de bioindicateurs, plusieurs protocoles de sciences participatives ont vu le jour et ont vocation à promouvoir l'utilisation d'outils d'indicateurs certes simplifiés, mais qui permettent de renseigner la composition des communautés et l'état des sols.



Les fourmis ont des comportements différents en termes d'habitats, d'organisation et d'alimentation. La Fourmi noire des bois (*Lasius fuliginosus*) colonise les forêts ainsi que les prairies et les parcs et jardins. / Nicolas Henon



Bioindicateurs : mise en application

au sein d'usages productifs et non-productifs urbains



Parmi les sols urbains végétalisés, on constate une diversité d'usages, certains étant en lien avec une production alimentaire urbaine (ou agriculture urbaine), répondant à divers objectifs, allant d'une amélioration de l'indépendance alimentaire à un renforcement du lien social. Pour rappel, dans le cadre du programme BISES, une comparaison entre les deux typologies d'usages, **productifs et non productifs** (à valeur esthétique, paysagère, environnementale et écologique), a été effectuée à l'aide d'indicateurs des sols.

Parmi eux, 18 indicateurs ont été sélectionnés pour comparer des systèmes productifs et non productifs, souvent en lien avec la fertilité physico-chimique ou biologique. Des indicateurs biologiques complémentaires en termes de classe de taille et de fonctions écologiques dans les sols ont également été pris en compte : fourmis, collemboles, lombrics, nématodes et micro-organismes, détaillés sur la page précédente.

Résultats pour les analyses physico-chimiques et biologiques des sols selon l'usage

Certains indicateurs physico-chimiques montrent des évolutions entre les espaces productifs et les espaces non productifs. Pour le pH, le phosphore, l'azote et la matière organique, les sols des sites productifs ont des valeurs significativement supérieures aux sites non productifs. Ce résultat met en lumière la différence des pratiques observées dans les espaces productifs, où le besoin de produire des végétaux s'accompagne souvent d'un recours accru à l'amendement, à la fertilisation, voire à la correction de l'acidité du milieu.

Concernant les polluants métalliques, on observe une teneur en cuivre total plus importante dans les sols productifs, ce qui pourrait être lié à l'utilisation plus fréquente de fongicides dans les sols agricoles, dont le cuivre est un des constituants (et ce, même en itinéraire biologique). En revanche, les sols non productifs montrent une teneur significativement plus élevée en aluminium total. Son association à l'activité routière est fréquente, puisque qu'il est présent dans les véhicules et des infrastructures.

Plusieurs indicateurs biologiques sont également influencés par la nature de l'usage des sols. **Pour mémoire, les fourmis** jouent un rôle important dans la structure des sols et le brassage de la matière organique. On observe ainsi une abondance de fourmis plus importantes dans les usages non productifs. Ces milieux sont souvent composés d'une couverture d'herbacées, déjà décrites comme des habitats favorables pour les fourmis. Les perturbations physiques liées au travail du sol, du semis à la récolte (labour, bêchage, etc.), qui sont plus fréquentes dans les usages productifs, pourraient avoir un impact négatif sur ces organismes qui construisent leurs fourmilières dans le sol.

Concernant **les vers de terre**, les résultats n'ont pas mis en évidence de différences significatives en termes de richesse ou d'abondance, bien qu'ils soient connus pour être sensibles aux perturbations physiques. Les résultats sur cette sensibilité dépendront fortement des caractéristiques des espèces qui seront prises en compte dans de futures analyses.

Concernant **les nématodes**, deux indicateurs sont particulièrement sensibles à la différence d'usage des sols. L'abondance de nématodes libres, qui renseigne sur le niveau d'activité biologique des sols, et l'indice d'enrichissement, qui renseigne sur les flux de nutriments issus de la minéralisation de la matière organique du sol, sont tous deux plus importants dans les milieux productifs que dans les milieux non productifs. Ces résultats signifient que non seulement les sols à usages productifs ont un niveau d'activité biologique plus important, mais aussi que cette activité est fortement dirigée vers le recyclage des nutriments. Par conséquent, la fertilité biologique de ces sols est plus importante avec, par exemple, de plus fortes teneurs en N, P et K. Les sols productifs, et notamment maraichers, se démarquent souvent par des teneurs en matière organique élevées, en lien avec des apports importants et réguliers réalisés par les maraichers. Ce résultat est donc cohérent avec les analyses sur la physico-chimie.

Les micro-organismes du sol, eux, démontrent une plus grande diversité d'espèces de bactéries et de champignons dans les sols productifs. À l'instar des nématodes, la plus forte teneur en matière organique dans ce type

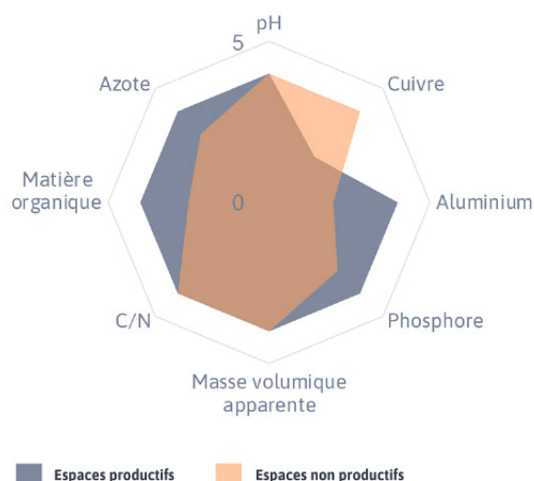


d'usage pourrait accroître le cycle de vie des micro-organismes. Plus élevée, elle offre un potentiel d'activité microbienne et fongique plus important, notamment dans leurs cycles de dégradation. De plus, les usages productifs peuvent permettre de plus grandes associations biotiques avec les plantes cultivées, ce qui peut favoriser une diversité des micro-organismes.

Que retenir de ces indicateurs physico-chimiques et biologiques du sol ?

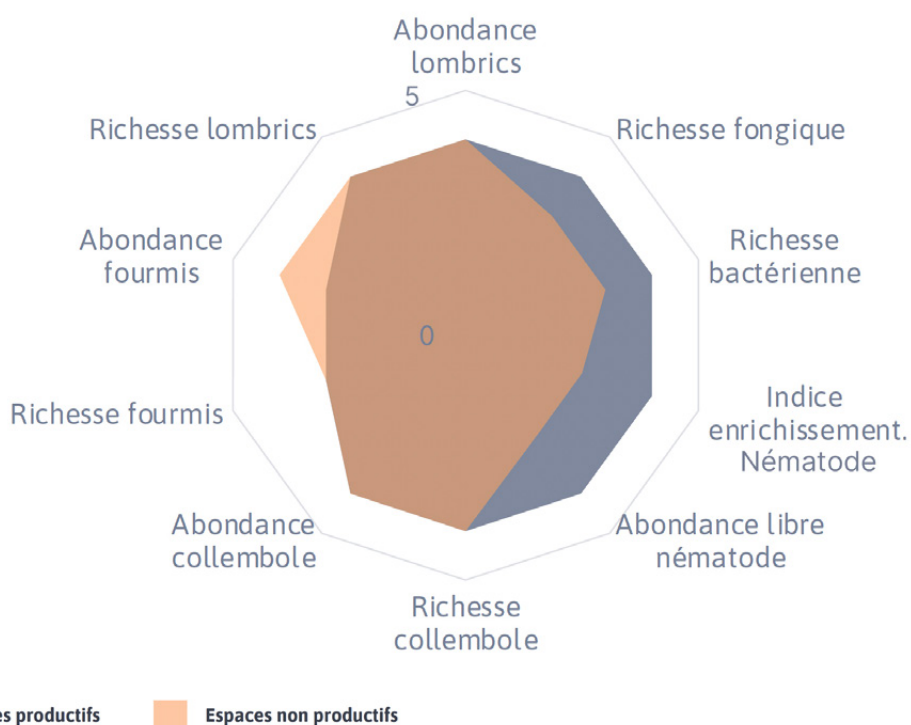
Cette analyse a mis en évidence une réponse contrastée suivant les indicateurs. Si les sites productifs montrent des fertilités physico-chimiques et biologiques plus élevées, en lien avec l'usage attendu de production alimentaire, certains organismes du sol comme les fourmis y sont moins abondants. La coexistence de sites à la fois productifs et non productifs est donc essentielle pour former une mosaïque d'habitats permettant de maximiser la qualité des sols à l'échelle d'un territoire urbain. Des analyses détaillées des pratiques dans chaque type d'usage permettront d'affiner les préconisations.

COMPARAISON DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES



Graphique radar des indicateurs physico-chimiques dans quatre métropoles urbaines.

COMPARAISON DES PARAMÈTRES BIOLOGIQUES



Graphique radar des indicateurs biologiques dans quatre métropoles urbaines.

Développer la participation citoyenne

pour mieux connaître la biodiversité des sols

Intérêt des sciences participatives

Les sciences et recherches participatives désignent des démarches de production de connaissances scientifiques auxquelles s'associent des personnes dont la recherche n'est pas le métier. Elles constituent à la fois une méthode émergente de recherche et un moyen de renouveler les relations entre sciences et société.

Mobiliser des volontaires dans le cadre des sciences participatives permet de collecter un volume important de données, sur des territoires étendus et sur le long terme, ce que les approches classiques en écologie et particulièrement en écologie des sols peinent à réunir. De plus, même si les moyens de la recherche étaient décuplés pour atteindre les quantités de données souhaitables, certains espaces resteraient inaccessibles aux chercheurs. C'est le cas notamment des jardins privés qui présentent pourtant un intérêt fort en écologie urbaine : ils peuvent représenter jusqu'à 30 % de la surface des espaces verts dans certaines agglomérations, et ils contribuent à la continuité des habitats favorables à la biodiversité.

Mais l'intérêt des sciences participatives dépasse la seule dimension scientifique et contribue à renouveler les liens entre science et société. En mobilisant les citoyens dans la production des connaissances, ces démarches ouvrent de nouveaux espaces d'échanges entre chercheurs et citoyens et favorisent une meilleure appropriation des savoirs. Elles contribuent ainsi à une compréhension partagée du vivant et peuvent nourrir de nouvelles représentations ou encore contribuer à l'évolution des modes de gestion.

Intérêts et enjeux des actions participatives autour des sols

Dans le cas de la biodiversité du sol, l'enjeu de sensibilisation est d'autant plus important que cette faune est peu populaire. Sa petite taille, sa vie souterraine cachée, mais aussi des représentations culturelles souvent négatives sur les invertébrés, rendent cette biodiversité difficile à percevoir ou à apprécier. Les sciences participatives offrent ainsi une opportunité précieuse : en impliquant directement les citoyens, elles permettent de mieux faire connaître et reconnaître ces formes de vie cachées, mais essentielles au fonctionnement des écosystèmes terrestres.

Développer ce type de programme apparaît donc comme une priorité, à la fois pour améliorer notre compréhension des sols et pour renforcer leur place dans les politiques de gestion écologique.

En complément de ces objectifs, la mise en place d'un observatoire participatif sur la biodiversité des sols dans le cadre

du projet BISES répond également à un besoin identifié par plusieurs partenaires du projet : la conception d'outils accessibles aux gestionnaires d'espaces verts permettant d'évaluer l'impact de leurs pratiques sur la qualité biologique des sols.

Si les programmes de sciences participatives portant sur la biodiversité du sol restent moins nombreux que ceux consacrés à d'autres compartiments de la biodiversité, de nombreux projets ont néanmoins émergé à l'échelle européenne et française au cours des 15 dernières années.

Vers un observatoire de sciences participatives autour de la biodiversité des sols

En France, les programmes de sciences participatives portant spécifiquement sur les sols et leur biodiversité restent très récents (comme *Jardibiodiv*). Le programme de suivi participatif de la Qualité biologique des sols, QUBS (www.qubs.fr) est né d'une volonté de plusieurs laboratoires de recherche de structurer un programme de science participative à l'échelle nationale, tourné vers les différents usagers du sol. En 2020, le consortium initial des porteurs de QUBS regroupait des écologues du sol (Université Paul Valéry Montpellier 3 – CEFE, LSE – Université de Lorraine-INRAE), des spécialistes des sciences participatives (Vigie-Nature MNHN – OFB, Participation citoyenne à l'observation de l'environnement (PartiCiteE) – Sorbonne Université et Unité mixte de service Mosaïc-Muséum national d'Histoire naturelle - Sorbonne Université) et un porteur associatif (Plante & Cité).

Le consortium s'est élargi en 2021 pour intégrer des partenaires territoriaux dans le cadre d'un projet de transition alimentaire à Dijon (projet territoire innovation de grande ambition – ProDij). Par la suite, en 2023, des partenaires associatifs dédiés à l'animation de protocoles de sciences participatives ont rejoint l'équipe porteuse du programme : Noé qui porte l'animation du protocole Opération Escargots et l'Office pour les insectes et leur environnement qui anime les protocoles Aspifaune et Noctambules. En réunissant différentes formes d'expertises, l'objectif était de créer un programme à la fois attractif et rigoureux scientifiquement, en s'appuyant sur des méthodes éprouvées dans d'autres observatoires participatifs pour favoriser l'engagement et assurer la qualité des données.

Méthode de création de QUBS

Afin de tenir compte des enjeux et attentes de différents usagers du sol, le programme QUBS a été élaboré en co-construisant des protocoles d'observation de la faune du sol et de son rôle fonctionnel. Le choix des protocoles a été guidé par la volonté de maximiser leur attractivité pour le grand public,



Mise en application d'un protocole de l'observatoire QUBS.
/ Gwenaél Magne



De gauche à droite, les dispositifs reliés aux protocoles Aspifaune, Noctambules, Opération Escargots et En quête de vers.
/ Barantal S., Université Paul-Valéry, Montpellier 3

tant sur le plan de leur mise en œuvre que de leur compréhension, tout en garantissant leur robustesse scientifique. Il s'est appuyé sur des retours d'expérience et des tests auprès de volontaires, pour ajuster progressivement les méthodes.

Lors de cette phase de co-construction, 11 protocoles ont été proposés à travers le site web de PartiCitaE, permettant d'étudier différents groupes d'organismes et la fonction de recyclage de la matière organique. Certains protocoles étaient redondants, ce qui a permis un travail de sélection grâce aux échanges entre les volontaires et l'équipe de recherche. Ces derniers se faisaient de visu ou par mails, mais aussi à travers un questionnaire diffusé pour comprendre les choix, les préférences, les contraintes et les raisons d'éventuels abandons de ces protocoles. Les volontaires impliqués dans cette phase de test ont été contactés à travers divers réseaux : les canaux de communication des programmes participatifs Vigie-Nature et PartiCitaE, la lettre d'information de Plante & Cité, divers réseaux de jardinages amateurs et les services des villes et métropoles associés au projet BISES. À l'issue de cette phase de test, deux protocoles ont été retenus, progressivement joints par deux autres.

Les protocoles de QUBS

Tous les protocoles de QUBS reposent sur la prise de photos d'organismes vivants qui sont collectés le temps de la prise d'image puis relâchés :

Le protocole Aspifaune consiste à collecter, pendant 7 min, les invertébrés visibles dans un carré de 25 cm de côté, à l'aide d'un aspirateur à bouche. Un tutoriel en ligne décrit la fabrication de cet outil.

Le protocole Noctambules repose sur un pot collecteur à installer en fin de journée et à relever le lendemain matin pour photographier les animaux piégés pendant la nuit.

L'Opération Escargots utilise un abri standardisé (planche en bois ou soucoupe) placé au sol pendant au moins un mois. Il permet de recenser les escargots et les limaces venus s'y réfugier.

Le protocole En quête de vers prévoit l'extraction d'un bloc de sol de 20 x 20 cm sur 25 cm de profondeur, à l'aide d'une fourche-bêche. Le sol est ensuite émietté pour collecter les vers, déposés dans un récipient avec un léger fond d'eau.

QUBS - Faune des sols

[Trouver mon taxon](#)
[Parcourir la taxonomie](#)
[En savoir plus](#)
[Mentions légales](#)

Critères

1 critère défini

Quelle est l'allure de votre organisme ?

Allure de cloporte

Réinitialiser

Retour

Présence ou absence de motifs sur le corps

Confirmer

Présence de motifs

La coloration n'est pas uniforme, on distingue des motifs (tâches, marbrures, bandes, etc...)

Détails

38 taxons sélectionnés sur 44

Sélection (44)

Rechercher un taxon

7.2. LES GLOMERIDES (Glomerida) 1/1

7.2.. Le Gloméris annelé (Glomeris annulata) 1/1

7.2.. Le Gloméris intermédiaire (Glomeris intermedia) 1/1

7.2.. Le Gloméris marginé (Glomeris marginata) 1/1

7.2.. Le Gloméris transalpin (Glomeris transalpina) 1/1

7.2.. Les Gloméris à motifs irréguliers (Glomeris) 1/1

7.2.. Les Gloméris à tâches jaunes ou orangées (Glomeris) 1/1

8 LES CLOPORTES (Oniscidea) 1/1

8... Le Cloporte d'Heller (Helleria brevicornis) 1/1

8... Les Cloportes myrmécophiles (Platyarthrus) 1/1

8... Les Cloportes pygmées blancs (Trichoniscidae) 1/1

8... Les Cloportes pygmées marron violacé (Trichoniscus, Hyloniscus) 1/1

8... Les Cloportes pygmées roses (Androniscus dentiger et roseus) 1/1

8... Les Haplophthalmes (Haplophthalmus) 1/1

8.1 LES CLOPORTES ECHANCRÉS (Philoscia, Porcellionides et autres genres) 1/1

8.1.. La Philoscie des mousses (Philoscia muscorum) 1/1

Clé d'identification développée dans le cadre de l'observatoire participatif QUBS.
/ Source : <https://qubs.openkeys.science/>

34 | Connaître et évaluer la biodiversité des sols | Guide opérationnel pour les milieux urbains

Pour tous ces protocoles, chaque organisme est photographié collectivement, puis individuellement, avant d'être relâché. Une clé de détermination conçue pour le programme, couvrant plus de 400 espèces, accompagne l'identification des spécimens. Les photos mises en ligne peuvent être identifiées via un système de suggestion et validées par d'autres participants ou des spécialistes. La validation collective fait partie intégrante du protocole.

Bilan (premiers résultats) et perspectives

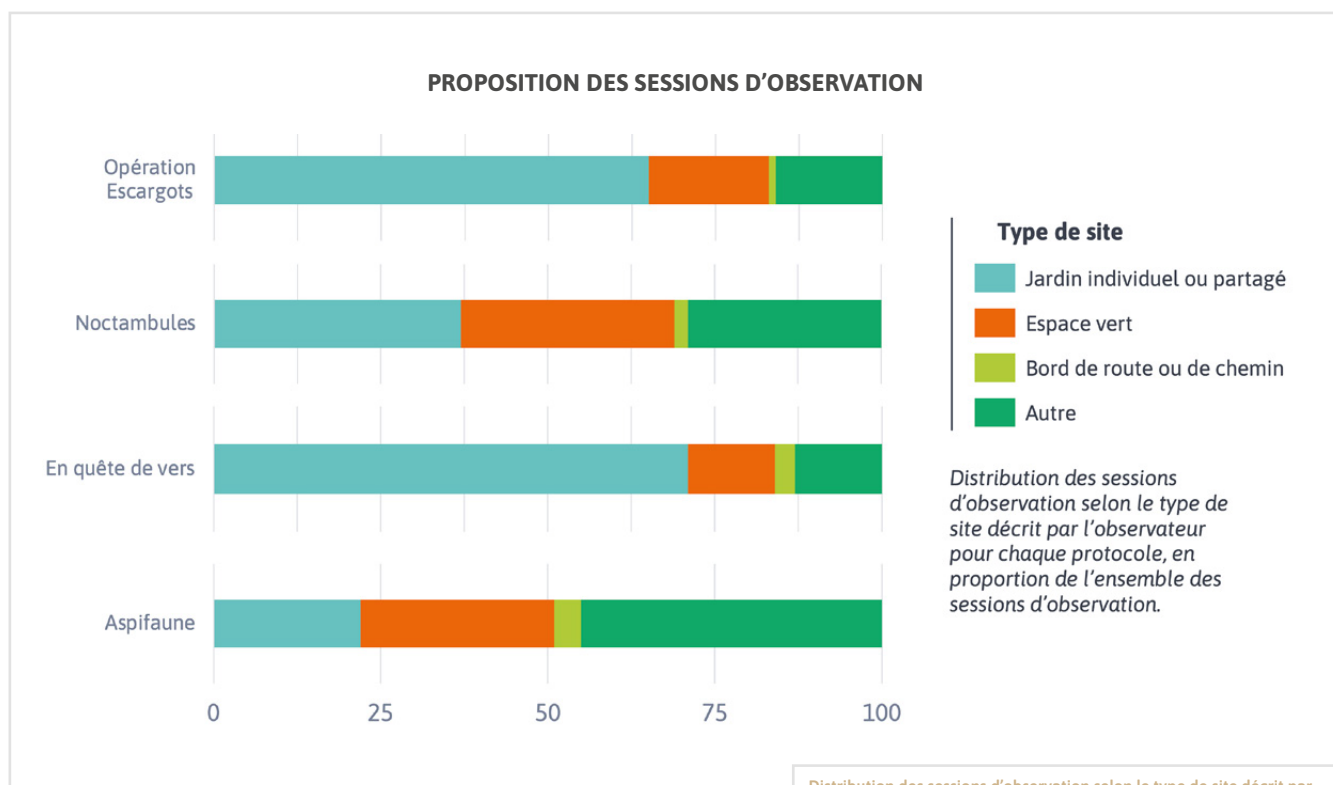
Depuis le lancement du programme fin 2022, plus de 400 volontaires ont contribué à QUBS à travers plus de 2000 participations réparties sur l'ensemble du territoire. La majorité des observations se concentrent dans des espaces urbains (47 % des participations), mais certaines sont aussi réalisées dans des espaces ruraux (naturels et/ou agricoles).

Un plus grand nombre de volontaires choisissent l'Aspifaune (137) et l'Opération Escargot (218), en comparaison de Noc-tambules (59) et En quête de vers (21). Les descriptions des sites d'observation fournies par les participants renseignent sur les types de publics associés. Opération Escargots et En quête de vers se déroulent majoritairement dans des jardins individuels privés (plus des $\frac{2}{3}$ des sites observés), ce qui laisse penser qu'ils séduisent surtout le grand public, curieux de mieux connaître la biodiversité de leur propre jardin.

Aspifaune montre une diversité d'utilisation avec près de 50 % de ses observations réalisées dans des sites « autres » : son format mobile et rapide permet de faire facilement des observations dans des espaces publics et favorise son appropriation par des animateurs, se faisant alors le relais du programme. À ce stade, plus de 4 200 organismes ont été photographiés, répartis entre les quatre protocoles. Cependant, pour pouvoir analyser les données et caractériser les dynamiques spatio-temporelles de la faune des sols, davantage de données sont nécessaires.

Les sciences participatives appliquées à la biodiversité des sols ne se limitent pas à un exercice de collecte de données. Le programme QUBS démontre bien que l'implication des citoyens permet à la fois d'élargir les connaissances scientifiques, de sensibiliser à l'importance des sols et d'outiller les acteurs de terrain. Poursuivre et amplifier ces démarches contribuera à placer les sols au cœur des stratégies de transition écologique.

Pour cela, il est nécessaire que les protocoles soient les plus précis, les moins intrusifs pour la faune, les moins chronophages et les plus simples à mettre en œuvre. Le programme BISES a contribué à l'émergence de ces protocoles, dont l'un repose sur un capteur photographique.



Distribution des sessions d'observation selon le type de site décrit par l'observateur pour chaque protocole, en proportion de l'ensemble des sessions d'observation. / Barantal S., Université Paul-Valéry, Montpellier 3



Angers Loire Métropole utilise les sciences participatives pour son atlas de la biodiversité



Angers Loire Métropole a souhaité employer des sciences participatives pour mobiliser les habitants dans la construction de son atlas de la biodiversité inter-communal (ABCi). Pour cela, la métropole se fait notamment accompagner par le Muséum d'Angers. Les sciences participatives sont décrites comme un outil pédagogique essentiel qui permet à la fois de rendre la méthodologie scientifique concrète et accessible, mais aussi d'en apprendre plus sur la biodiversité.

Un bouquet de cinq observatoires participatifs est proposé dans le cadre de l'ABCi, dont QUBS à travers les protocoles Opération Escargots et Noctambules. Ces derniers ont été choisis puisqu'ils sont plus faciles à mettre en œuvre, nécessitent peu de matériel et permettent d'aborder une biodiversité méconnue. Pour Angers Loire Métropole, la faune du sol est un compartiment de la biodiversité qui intéresse plusieurs publics, comme les jardiniers amateurs, les professionnels des espaces verts, mais aussi le grand public. QUBS est alors perçu comme un outil intéressant pour la mobilisation citoyenne dans le cadre des ABC et ABCi. Les saisons les plus favorables à l'observation de la faune du sol s'étalent du début du printemps à l'automne, ce qui permet de proposer des protocoles, en complément d'autres observatoires, sur toute l'année.

Avec le soutien du Muséum d'Angers, la collectivité a d'abord proposé des temps de présentation en salle, à la fin de l'hiver, sur les sciences participatives et sur les différents programmes offerts dans plusieurs communes de l'agglomération. Dès le printemps, des temps sont proposés pour la mise en œuvre complète des protocoles, avec présentation en salle, collecte de données sur le terrain et retour en salle pour la saisie des données.

Cette démarche permet de rassurer les contributeurs en leur montrant que la participation est accessible et qu'ils pourront ensuite se lancer seuls. Des temps spécifiques pour les personnes impliquées dans des jardins collectifs seront proposés par la suite sur le même modèle.

Ce retour d'expérience a été rédigé d'après les témoignages de Florian Lavenaire (Angers Loire Métropole) et Léo Tessier (muséum d'Angers).



Protocole QUBS réalisé à Montreuil-Jugné (49).
/ Florian Lavenaire

Révéler les organismes rampants au sol par piège photographique

L'innovation pour (re)découvrir les invertébrés rampants

Bien qu'il soit important de conserver la biodiversité du sol, leur étude nécessite des méthodes souvent létales pour leur observation et leur identification (en raison de leur taille, de leur mobilité, de leur activité nocturne pour certains et de la nécessité de les transporter pour les analyser en laboratoire). La capture et l'immobilisation de ces invertébrés induisant leur mort facilitent leur observation sous loupe binoculaire ou microscope, afin de déterminer le bon nom d'espèce et de mesurer des caractéristiques individuelles.

C'est le principe notamment du piège Barber, créé au début du siècle par Herbert Spencer Barber, qui permet de capturer les invertébrés épigés. Il consiste à enfoncer dans le sol un gobelet rempli d'un liquide (vinaigre ou eau salée), laissé en place pendant sept jours afin de collecter les organismes sans nécessiter une présence humaine continue sur le terrain. Cette technique est létale, car les organismes se noient dans le liquide qui les conserve pour identification ultérieure.

Dans le cadre du projet BISES et du programme QUBS, des alternatives non létales ont été explorées. L'une d'elles consiste à placer un coton humide au fond du gobelet afin de maintenir les organismes vivants. Toutefois, cette méthode impose un relevé quotidien pour limiter les risques d'agression entre individus (proies et prédateurs étant confinés ensemble), ainsi que pour éviter les évasions et préserver la viabilité des spécimens.

Pour dépasser ces limites, un dispositif innovant, sans capture, a été conçu pour détecter et filmer les invertébrés rampants *in situ*, de jour comme de nuit, et les identifier au niveau des grands groupes (classe/ordre). Il vise à offrir une représentativité équivalente à celle des méthodes classiques, tout en préservant l'intégrité des communautés étudiées.

Développement d'un capteur photo pour l'étude des invertébrés du sol

Un cahier des charges a été proposé en 2019, en s'appuyant sur une première expérience menée à l'INRAE avec le dispositif PiScope de Teulé, ainsi que sur plusieurs projets pédagogiques et stages d'étudiants en électronique à Nancy, Montpellier et Paris. Ces éléments ont permis de développer plusieurs prototypes de systèmes de capture d'images utilisables en salle ou à l'extérieur. Une synthèse des besoins et des limites techniques liés à ce type de capteur a été réalisée

par un électronicien en service civique, constituant la base du développement d'un prototype au sein de l'unité de service Sorbonne Université maison des modélisations ingénieries et technologies (SUMMIT).

Ce prototype est constitué d'un capteur étanche d'environ 25 x 25 cm avec des pieds amovibles et interchangeables de 10 cm. Il est capable de prendre des images de jour comme de nuit, grâce à un mécanisme de détection de la luminosité activant un mode de vue nocturne avec huit LEDs infrarouges qui entourent la caméra. Le système est contrôlé par un raspberry PI ; la caméra filme à basse résolution (sans enregistrement) en continu et un algorithme détecte les mouvements en comparant les images deux à deux (soustraction du fond, calcul de vitesse et détection de forme). Lorsqu'un mouvement est détecté, une série de photos hautes définitions est prise à intervalles réguliers et est conservée. Le dispositif est alimenté sur secteur ou sur batterie. Une interface web permet de paramétrer les prises de mesure et de saisir les caractéristiques du terrain d'installation. Il a été pensé pour être facilement utilisé par des personnes non spécialistes.

Après une série de tests en terrarium et sur le terrain, ce capteur pourra être utilisé pour des études en écologie du sol. Sa conception ouverte et sa documentation facilitent également sa reproduction en fablab, permettant ainsi son utilisation dans un contexte participatif via des ateliers d'autoconstruction.

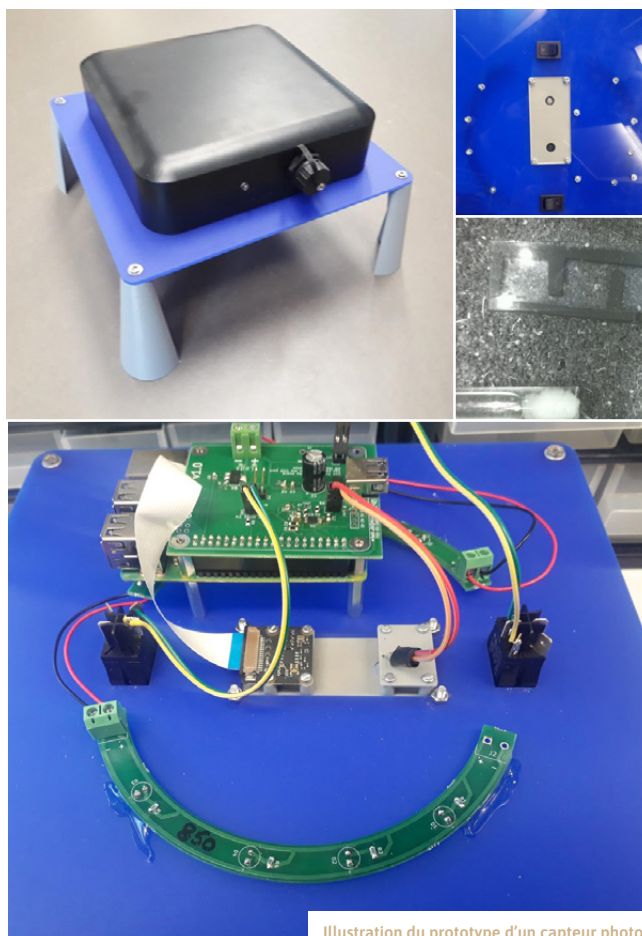


Illustration du prototype d'un capteur photo.
/ Guerre A., Sorbonne Université

Bibliographie



- **ADEME Infos. 2025.**
Les matériaux critiques : piliers invisibles de la transition énergétique.
<https://infos.ademe.fr/energies/2025/les-materiaux-critiques-piliers-invisibles-de-la-transition-energetique/>
- **Auclerc A., Blanchart A., Vincent Q., 2019.**
Jardibiodiv, un outil de sciences participatives sur la biodiversité des sols urbains.
Étude et Gestion des Sols, vol. 26, pp. 195-209.
www.afes.fr/ressources/jardibiodiv-un-outil-de-sciences-participatives-sur-la-biodiversite-des-sols-urbains/
- **Blandin P., 1986.**
Bioindicateurs et diagnostics des systèmes écologiques.
Bulletin d'Ecologie 17, 215-307
- **Clergeau P., Donadieu P., et Aubry C. 2025.**
Écologies urbaines : Agricultures urbaines et Biodiversités – Vers une ville verte et agroécologique.
Édition Apogée. p. 152 ISBN : 9782843988714
<https://www.editions-apogee.com/ecologies-urbaines/717-agricultures-urbaines-et-biodiversites.html>
- **Gascuel C., Loiseau-Dubosc P., Auclerc A., Bougon N., Caquet T., Lerouyer V., Pierart A., Ranjard L., Resche-Rigon F., Roturier C., Sauter J., Serin L., 2023.**
Sols, sciences et recherches participatives : comment consolider et fédérer le foisonnement d'initiatives en France ?
Nat. Sci. Soc., n° 1, vol. 31, p. 81 – 89
doi.org/10.1051/nss/2023014
- **Goddard, M. A., Dougill, A. J., & Benton, T. G. (2010).**
Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments.
Trends in Ecology & Evolution, 25(2), 90-98.
doi.org/10.1016/j.tree.2009.07.016
- **Joimel S., Schwartz C., Hedde M., Kiyota S., Krogh P.H., Nahmani J., Pérès G., Vergnes A., Cortet J., 2017.**
Urban and industrial land-uses have a higher soil biological quality than expected from physico-chemical quality.
Science of the Total Environment 584-585, 614-621.
doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.086
- **Kumar M., Furumai H., Kurisu F., et Kasuga I., 2013.**
Tracing source and distribution of heavy metals in road dust, soil and soakaway sediment through speciation and isotopic fingerprinting.
Geoderma 211-212:8-17
doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.004
- **Micand A., Larramendy S., 2020.**
Référentiel EcoJardin, Gestion écologique des espaces verts.
Plante & Cité, Angers, p. 86
- **Ranjard L., Sauter J., Auclerc A., Chauvin C., Cluzeau D., Mereau D., Loiseau-Dubosc P., Lemerrier B., D'Oiron E., Raous S., Roturier C., Rovillé M., L. Serin L., Gascuel C., 2022.**
Sciences et recherches participatives sur les sols en France. Bilan et perspectives.
Étude et Gestion des Sols, 29, pp.381-393
hal-04261029
- **Russell D.J., Naudts E., Soudzilovskaia N.A., Briones M.J.I., Çakır M., Conti E., Cortet J., Fiera C., Hackenberger Kutuzovic D., Hedde M., Hohberg K., Indjic D., Krogh P.H., Lehmitz R., Lesch S., Marjanovic Z., Mulder C., Mumladze L., Murvanidze M., Rick S., Roß-Nickoll M., Schlaghamersky J., Schmidt O., Shelef O., Suhadolc M., Tsiafouli M., Windig A., Zaytsev A., Potapov A., 2024.**
Edaphobase 2.0: Advanced international data warehouse for collating and using soil biodiversity datasets.
Applied Soil Ecology, vol. 204, 105710.
doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105710
- **Teulé, J.-M., Grandeau, G., Floch, D. L., Wetzel G., Guillet, A., Gardarin A. (2019).**
Une caméra pour mettre en évidence la prédation des insectes à la surface du sol.
Cahier des Techniques de l'INRA, 2019, 97, pp.31-45. hal-03328579
- **Toomey, A.H., Domroese, M.C., 2013.**
Can citizen science lead to positive conservation attitudes and behaviors?
Hum. Ecol. Rev. 20, 50-62.
- **Villenave C., Chauvin C., Puissant J., Henaux M., Trap J., 2022.**
Impact des pratiques agricoles sur l'état biologique du sol : SIPANEMA, un outil d'aide à la décision basé sur les connaissances scientifiques sur les nématodes.
Etude et Gestion des Sols, 29, 199-209
www.afes.fr/ressources/impact-des-pratiques-agricoles-sur-letat-biologique-du-sol-sipanema-un-outil-daide-a-la-decision-base-sur-les-connaissances-scientifiques-sur-les-nematodes/
- **Uno S., Cotton J., et Philpott S., 2010.**
Diversity, abundance, and species composition of ants in urban green spaces.
Urban Ecosystems, vol 13. (4):425-441
doi.org/10.1007/s11252-010-0136-5

A woman with long brown hair, wearing a dark long-sleeved shirt and blue jeans, stands in a lush garden. She is holding a large bunch of leafy green vegetables, possibly chard or spinach. The garden is filled with various plants, including tall stalks of corn or similar crops supported by wooden stakes. In the background, there is a dense forest of tall trees under a clear blue sky. The ground is covered with dry leaves and some small orange fruits, possibly pumpkins or squash, are visible. The overall scene is vibrant and shows a well-maintained urban garden.

AGIR POUR PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ DES SOLS URBAINS

Dans une démarche visant à accompagner la gestion durable des sols urbains et à orienter les politiques d'aménagement et de planification, ce dernier chapitre propose une analyse de l'impact des pratiques de gestion sur la biodiversité des sols urbains selon une approche multi-échelles. Il explore également des pistes d'actions pour améliorer les fonctions écologiques des sols des espaces urbains.

Des retours d'expériences de certaines collectivités partenaires, ainsi qu'un projet innovant à Lyon, illustrent ces enjeux et solutions.

Agréger les (bio)indicateurs pour orienter les choix

Des indicateurs unitaires aux indicateurs agrégés

Les bioindicateurs permettent d'évaluer la qualité écologique des sols à partir d'organismes vivants sensibles aux usages, aux conditions des sols et aux perturbations. Ils permettent une lecture simplifiée du fonctionnement des sols. Toutefois, la compréhension de fonctionnalités plus complexes doit passer par l'agrégation de plusieurs de ces indicateurs. Bien que de nombreux outils soient accessibles à divers acteurs, la création de ces indicateurs agrégés simplifiés est nécessaire pour faciliter les choix en termes d'aménagement ou de conduite de gestion des sols et des espaces verts.

Par exemple, comment évaluer la fonction d'habitat de biodiversité d'un sol ? L'utilisation d'indicateurs simples et isolés comme l'abondance lombricienne, par exemple, renseigne déjà sur cet état. Mais cela ne présume pas d'un bon fonctionnement écologique global puisque la fonction d'habitat s'apprécie au travers d'une multitude d'organismes, en intégrant leur diversité, leur abondance et leurs interactions, mais aussi les propriétés physico-chimiques des sols. C'est pourquoi l'association de plusieurs indicateurs est nécessaire pour comprendre les différentes fonctions d'un sol. Dans la suite de cet exemple, l'abondance de lombrics peut être couplée à d'autres indicateurs témoignant d'un potentiel habitat de biodiversité, comme l'abondance des collemboles, mais aussi la diversité fongique ou bactérienne. La somme de ces indicateurs, agrégés ensemble, donne alors une vision plus complète de cette fonction de support de biodiversité.

La logique reste la même pour évaluer les différentes fonctions des sols. L'enjeu réside alors dans le fait d'identifier les indicateurs unitaires qui feront sens pour évaluer ces fonctions. Chaque indicateur unitaire peut être employé pour venir alimenter différents indicateurs agrégés.

Les indicateurs agrégés pour rendre compréhensibles des indicateurs complexes

Les indicateurs agrégés sont des outils associant plusieurs indicateurs unitaires ou élémentaires. Leur utilisation permet notamment de :

- fournir une lecture synthétique des fonctions essentielles d'un sol ;
- piloter la gestion d'espaces végétalisés ;
- comparer différentes situations entre elles (types d'espaces verts, pédoclimats, types d'usages et intensité de gestion) ;

- aiguiller la décision en matière d'utilisation des sols et d'urbanisme.

Tout d'abord, ce travail d'agrégation nécessite de correctement lister les fonctions essentielles à mettre en lumière : capacité de stockage du carbone, recyclage des nutriments et filtration des polluants. Afin de caractériser le rôle essentiel de la vie du sol, il existe plusieurs indicateurs agrégés s'appuyant sur l'action des organismes vivants, décrits ci-après.

L'indicateur biodiversité permet de donner une note globale sur la diversité, sur l'activité et sur l'abondance des organismes vivants du sol. Il repose sur 11 indicateurs unitaires (comme la biomasse moléculaire, l'abondance et la diversité des collemboles et des lombrics, l'abondance des macro-arthropodes ou encore la diversité fongique) et souligne la capacité globale du sol à être support de biodiversité.

L'indicateur de fertilité du sol repose sur une large gamme d'indicateurs agronomiques (pH, CEC, carbone organique, texture) ainsi que sur l'activité d'une grande diversité d'organismes vivants (diversité et abondance de plusieurs groupes) jouant un rôle sur la fertilité. Cet indicateur agrégé repose sur 25 indicateurs unitaires.

L'indicateur de régulation biologique renvoie notamment à la capacité du sol à réguler les organismes indésirables comme les pathogènes et les bioagresseurs. Cet indicateur agrégé repose notamment sur l'abondance des prédateurs de la macrofaune, l'abondance de phytophages, les diversités bactériennes et fongiques (7 indicateurs unitaires au total).

L'indicateur de stabilité physique du sol est indirectement lié à l'action des organismes vivants des sols qui viennent aérer le sol et le structurer. Cet indicateur repose sur la stabilité des agrégats, sur la texture, ou encore sur la masse volumique apparente.



L'abondance de certains arthropodes (ici un géophilomorphe Genre Schendyla) renseigne à la fois sur l'état de biodiversité d'un sol, mais aussi sur le potentiel de régulation biologique. / Lilian Hacquin (iNaturalist)

Simplification d'indicateurs complexes

La méthode de calcul des indicateurs agrégés repose sur les valeurs individuelles de chaque indicateur unitaire. L'inconvénient de ces derniers est qu'ils disposent chacun d'unités et d'ordres de grandeur variables. Par exemple, les abondances de lombrics sont exprimées en individus par m², ce qui est une unité différente de l'abondance en champignons ou encore des teneurs en carbone organique des sols. Pour y remédier, une étape préalable d'étalonnage est nécessaire. Chacun de ces indicateurs est alors décliné sur une échelle simplifiée de 0 à 2. La valeur 0 correspond à une valeur mauvaise, la valeur 1 est moyenne et la valeur 2 est bonne.

Cela signifie que chaque indicateur repose sur sa propre base de référentiels, à partir de laquelle ces seuils sont définis. Dans ce contexte, le projet BISES constitue une contribution importante pour enrichir et faire progresser ces référentiels en milieu urbain.

Définition des seuils

Une fois les indicateurs unitaires étalonnés sur ces échelles de 0 à 2, l'indicateur agrégé est calculé sur la base de ces différentes valeurs selon les règles suivantes :

- **Le seuil « bas »** est calculé en faisant la somme des valeurs moyennes de tous les indicateurs. De ce fait, un indicateur agrégé constitué de trois indicateurs verra automatiquement sa valeur seuil « basse » à 3.
- **Le seuil « haut »** est calculé en faisant la somme des valeurs des indicateurs unitaires où plus de la moitié des valeurs est égale à « 2 » et l'autre moitié à « 1 ». Par exemple, un indicateur agrégé constitué de trois indicateurs verra automatiquement sa valeur seuil haute à 5.

Quel que soit le nombre d'indicateurs unitaires qui constituent l'indicateur agrégé, il est possible de connaître les valeurs seuils. Il suffit ensuite de sommer les valeurs des indicateurs unitaires et de les comparer à ces seuils :

- **si la somme est inférieure ou égale à la valeur seuil basse :** l'indicateur agrégé est noté comme mauvais (en rouge sur les schémas) ;

- **si la somme est supérieure ou égale à la valeur haute :** l'indicateur agrégé est noté comme bon (en vert sur les schémas) ;
- **si la somme est située entre les deux valeurs seuils :** l'indicateur agrégé est noté comme moyen (en orange sur les schémas).

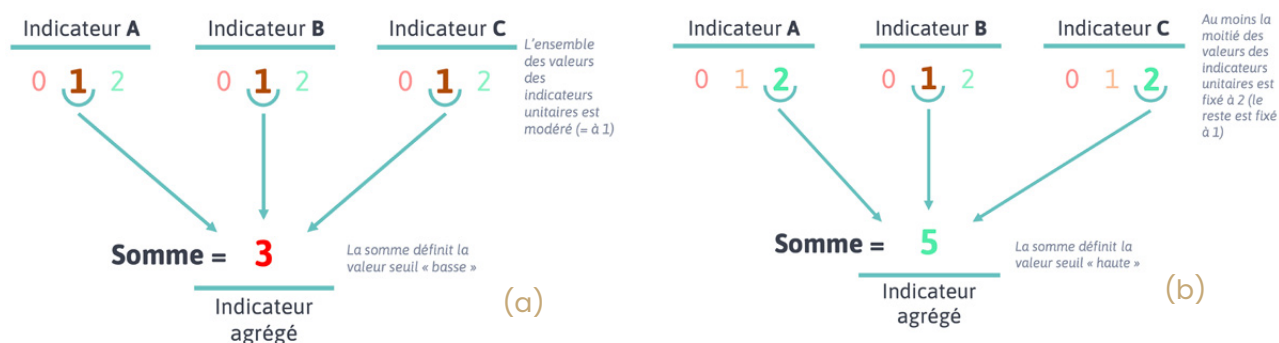
La valeur des indicateurs a par exemple été calculée sur les résultats d'analyse des sols des différentes collectivités (Nantes, Nancy, Montpellier, Paris).

L'indicateur agrégé de fertilité est, par exemple, assez variable selon les espaces considérés. Certains sites affichent des niveaux relativement élevés. Une bonne moitié des jardins partagés montrent ce niveau de fonctionnalité. D'autres sites affichent en revanche des niveaux assez bas (près d'un tiers des linéaires de voirie et des ronds-points). Au total, plus de la moitié des sites caractérisés dans le projet montrent un indice de fertilité moyen, pouvant être expliqué par l'association de différents indicateurs unitaires de qualité moyenne à faible.

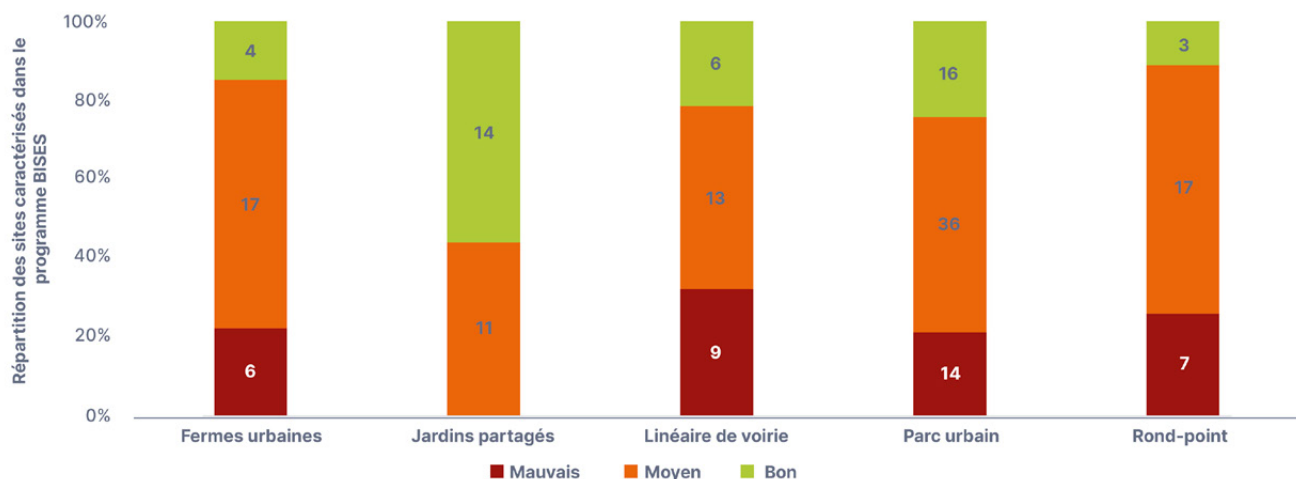
L'indicateur de biodiversité, calculé sur la base des différents indicateurs générés, met en lumière une diversité de situation entre les usages des sols. Par exemple, certains types d'usages, comme les fermes urbaines, témoignent de valeurs relativement moyennes à faibles (seuls 20 % des sites observés sont jugés de bonne qualité biologique). Les linéaires de voirie, parcs urbains et ronds-points affichent des résultats assez similaires : moins de 20 % de ces sites ont une mauvaise valeur de biodiversité, et 60 % sont de qualité moyenne.

Les meilleurs résultats sont observés pour les jardins partagés, où près de 40 % des sites ont un bon indice de biodiversité, pour seulement trois sites jugés de mauvaise qualité biologique.

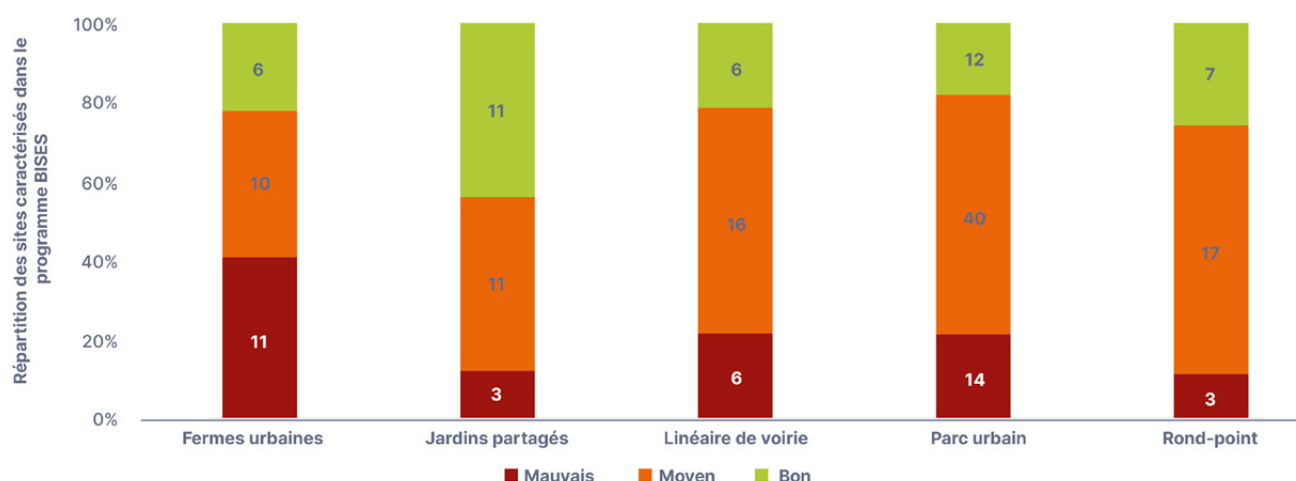
Basés sur des connaissances solides, les indicateurs agrégés donnent une vision synthétique sur les fonctions assurées par les sols, et les évaluent grâce aux valeurs produites. Ils permettent ainsi d'orienter les choix en matière de gestion.



Principe des méthodes de calcul pour la valeur basse (a) et haute (b) de l'indicateur agrégé sur la base de plusieurs indicateurs unitaires (ici trois indicateurs unitaires sont représentés pour la démonstration).



Valeurs de l'indicateur agrégé « Fertilité des sols » appliqué à partir des résultats d'analyse des sites caractérisés dans le programme BISES.



Valeurs de l'indicateur agrégé « Biodiversité » appliqué à partir des résultats d'analyse des sites caractérisés dans le programme BISES.

Améliorer la gestion des sols

pour soutenir la biodiversité

Les choix de gestion des sols exercent une influence considérable sur la biodiversité des sols, avec des répercussions pouvant être positives sur les services écosystémiques. À l'échelle locale, des actions simples et adaptées aux espaces verts urbains offrent des solutions efficaces pour préserver et restaurer cette biodiversité, tout en soutenant ces services.

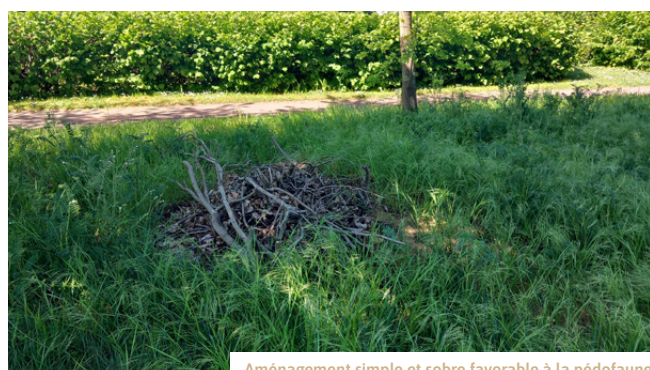
Maintien de conditions favorables au sol

L'un des principaux enjeux est le maintien des conditions favorables pour la pédofaune comme avec la diminution de la fréquence des tontes afin de limiter les perturbations et éviter les tassements du sol. Dans le cas de pieds d'arbre par exemple, il peut être intéressant de préserver la surface végétalisée et de réduire la tonte dans un rayon de 2 m autour des troncs, notamment sur des zones de plus de 50 m² avec au moins cinq arbres. Cela permet également de protéger les racines superficielles et de favoriser la microfaune (invertébrés, pollinisateurs, etc.). Aucun matériel spécifique n'est nécessaire, et la zone peut être exceptionnellement fauchée tous les deux ans en septembre, en évitant d'endommager le collet des arbres.

Ces micro-habitats peuvent être également préservés en ajustant la période et la fréquence de fauchage et de tonte. Sur des prairies ou pelouses d'au moins 300 m², la mise en place d'un fauchage tournant crée une mosaïque d'habitats : trois zones de 100 m² minimum sont fauchées en décalé (année n, n+1, n+2). Ce mode opératoire favorise une grande diversité floristique et faunistique. La coupe doit se faire à 10 cm minimum, avec exportation des résidus pour ne pas enrichir le sol.

Concernant la tonte, en la réalisant moins à ras, cela permet de préserver l'humidité, la microfaune et la santé du gazon. Elle se fait alors en trois étapes, en commençant par zones pour laisser fuir la petite faune. Ensuite, elle est réalisée à une hauteur adaptée à la saison (6-8 cm au printemps/automne, 10-12 cm en été). Enfin, en laissant volontairement des coins non tondus, ces espaces deviennent des zones de refuge pour la biodiversité, notamment pour les organismes du sol.

Le maintien de matière organique morte au sol (tronc, écorces ou feuilles), dans des zones calmes et mi-ombragées, crée un habitat idéal pour champignons, invertébrés décomposeurs et autres espèces dépendantes de la matière organique morte. Lors des abattages, et si la place le permet, conserver un tronc d'arbre et/ou une souche d'arbre au sol peut être bénéfique localement pour la pédofaune. De même, le maintien des souches dans le sol, en les arasant légèrement pour éviter les risques de chute, permet à la fois de restaurer la fertilité, d'améliorer la percolation de l'eau, et de servir d'abri à la petite faune.



Aménagement simple et sobre favorable à la pédofaune au Parc Orly Rungis, labellisé EcoJardin. / Arp-Astrance

Choix des plantations et des palettes végétales

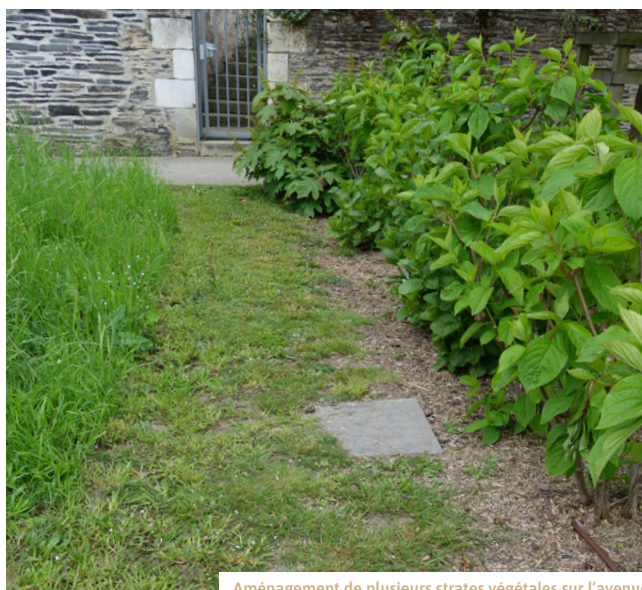
Lors de l'aménagement des espaces verts, le choix de massifs fleuris parmi les végétaux permet d'allier gestion durable et entretien économique. Contrairement à une replantation saisonnière, opter pour des plantes vivaces, bulbes botaniques et arbustes rustiques permet de limiter la perturbation des sols, d'offrir des ressources pérennes à la faune et de réduire les déchets végétaux par des opérations de taille et de tonte répétées. Ces massifs, d'au moins 30 m², conservent un intérêt écologique et esthétique tout au long de l'année et permettent d'héberger une faune diversifiée et fonctionnelle.

Opter pour des semis d'engrais verts au printemps ou en automne sur un sol nu, notamment dans les massifs (> 50 m²), limite le lessivage, enrichit le sol naturellement et dynamise la pédofaune. Ce semis s'effectue avec des outils simples tels que le croc ou le râteau.



Grelinette utilisée pour aérer et ameublir le sol avant plantation. / Micand A., Plante & Cité

Enfin, le choix des outils utilisés influence la structure du sol. Ainsi, pour la préserver et éviter de perturber la faune souterraine, il est recommandé de remplacer le motoculteur par un passage à la grelinette lors des périodes de plantation. En plus d'un impact écologique réduit, cela diminue aussi la consommation énergétique.



Aménagement de plusieurs strates végétales sur l'avenue Jeanne-d'Arc à Angers. / Leleux A., Plante & Cité

Fertilisation et amendements

Parmi les fonctions fournies par la biodiversité des sols, la fertilisation occupe une place importante. Il est possible d'adapter les méthodes de gestion des espaces verts pour stimuler l'activité biologique des sols, notamment en fonction du type de paillage utilisé, comme avec le broyage de branches fraîches. En effet, leur réutilisation immédiate en paillage (type bois raméal fragmenté) favorise la vie du sol et limite l'évaporation et les déplacements vers les plateformes de déchets verts. Il est à réaliser en automne ou au début du printemps, sur des zones d'au moins 50 m².

La préparation de purins peut s'avérer bénéfique pour l'activité biologique des sols. Utilisés en dilution hebdomadaire, ils stimulent la croissance végétale, la floraison et la vie microbienne des sols.

Une autre méthode bénéfique pour la fertilisation des sols est la production de terreau de feuilles. À l'échelle locale, le compostage des feuilles mortes (hors noyer, résineux ou invasives) permet de produire un terreau riche et gratuit. Un volume de 4 m³ de feuilles permet d'obtenir 1 m³ de terreau, après un à deux ans de décomposition, avec retournement et un maintien de l'humidité. Il reste toutefois à proscrire au pied des végétaux lorsqu'eux-mêmes sont porteurs de maladies ou parasites.

L'apport d'amendements organiques contribue à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et à reconstituer les stocks de matière organique. Ces matières et leurs propriétés sont définies par la norme NFU44-051 (amendements organiques) et NFU44-001 (amendements minéraux).



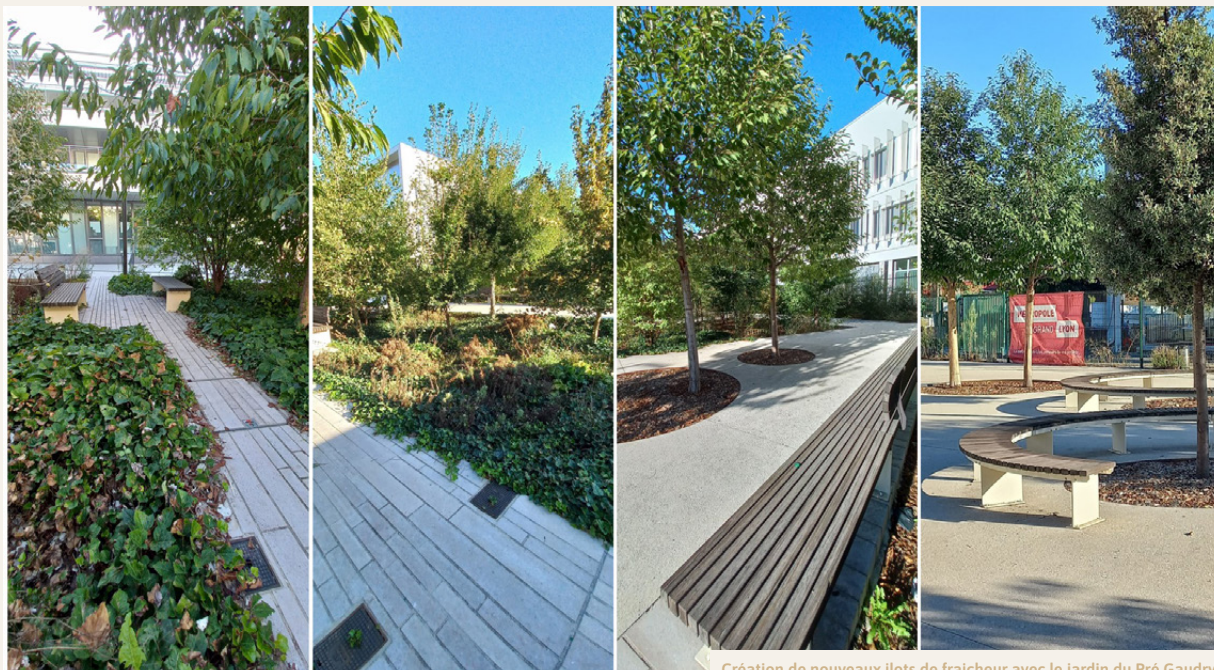
Les Pré-Gaudry de Lyon, la renaturation urbaine en faveur des sols



Il existe des modèles de restauration adaptée au sol, comme les jardins du Pré Gaudry, situés dans le 7^e arrondissement de Lyon. Ces derniers sont issus d'une réhabilitation d'une ancienne friche industrielle (ancien site des câbleries Nexans), menée dans une démarche innovante axée sur la régénération des sols dégradés. Ce projet a servi de laboratoire à ciel ouvert, avec la mise en place de prototypes expérimentaux pour la fertilisation *in situ* de terres inertes. Les jardins aménagés sur le site ont permis de tester la résilience des sols en combinant plusieurs techniques : criblage, concassage et amendement des limons ; éradication des espèces invasives, notamment de la renouée du Japon ; biodynamisation des sols par l'inoculation de bactéries fonctionnelles et de mycorhizes ; mise en place d'un paillage vivant à base de lombriciens (vers de terre). Un protocole de suivi

sur deux ans a été mis en place afin de mesurer, tant sur le plan qualitatif que quantitatif, la réactivation de la dynamique biologique des sols.

Cette démarche exemplaire de reconquête de sols fertiles a été doublement récompensée en 2024 : Victoire d'Or aux Victoires du Paysage 2024, dans la catégorie *Espaces publics urbains*, et Premier prix aux Green Cities Award Europe, à Essen (Allemagne).



Création de nouveaux îlots de fraîcheur avec le jardin du Pré Gaudry, situé au cœur de Gerland (Lyon). / Baron P., Métropole de Lyon



À Nancy, renaturer la ville par le sol quand la recherche sort des laboratoires

À Nancy, la question de la reconnexion de la ville à son sol passe par un dialogue étroit entre gestionnaires d'espaces publics et acteurs de la recherche. La ville s'appuie sur un riche écosystème académique et associatif local pour expérimenter in situ les leviers de la renaturation urbaine. Elle se positionne comme un véritable partenaire opérationnel de la recherche, en attente de déclinaisons concrètes des projets scientifiques.

Soutenir des programmes pluridisciplinaires

Dans le cadre du programme BISES, plus de 20 sites publics ont fait l'objet de campagnes d'analyses de sol approfondies, révélant l'état écologique de la trame brune nancéienne. Ces données permettent aujourd'hui d'éclairer les choix de gestion. Le projet va au-delà du diagnostic et des préconisations : il engage aussi les agents et les habitants, via des formations, des ateliers pédagogiques et des actions de sensibilisation à la biodiversité du sol, comme les ateliers des « Mercredis de la Pep' » mis en place depuis 2019.

À Nancy, d'autres programmes, comme le projet DESSERT (ADEME, 2025), ont permis de tester des modalités de désimperméabilisation des sols. Ce projet, se déploie notamment dans le parc Sainte-Marie, sur une allée de 150 m² désimperméabilisée selon quatre modalités expérimentales – du simple retrait d'enrobé à la réintroduction d'un substrat vivant. L'instrumentation de la zone (lysimètres, sondes, etc.) permet un suivi scientifique poussé des effets sur l'infiltration de l'eau, sur le fonctionnement biologique des sols ou encore sur le retour de la biodiversité. Pour les services techniques, ces tests grandeur nature sont l'occasion de valider, en conditions réelles, de nouvelles pratiques de gestion.

Les lombriducs, vers une démarche scientifique appliquée

Des partenariats transdisciplinaires viennent enrichir l'approche, comme l'expérimentation Sens Dessus Dessous, menée au Jardin Dominique-Alexandre Godron avec l'École nationale supérieure d'art et de design de Nancy, FLORE 54, Sol & Co et l'Université de Lorraine. À travers des objets paysagers comme les lombriducs ou

les *lombridges*, conçus par des étudiants designers, le projet explore la mobilité de la faune du sol et interroge le public urbain.

À travers son programme « Laboratoire à ciel ouvert », la ville de Nancy structure l'ensemble de ces démarches dans une stratégie plus large de soutien à la recherche appliquée. L'idée est simple : faire des parcs, des rues et des interstices urbains autant de terrains d'expérimentation pour mieux comprendre et faire évoluer les pratiques de gestion. Il vise à favoriser l'émergence de projets collaboratifs entre chercheurs, gestionnaires et citoyens, autour des grandes questions écologiques : adaptation climatique, désimperméabilisation, biodiversité, résilience des sols urbains, etc.

Ce cadre permet aussi de pérenniser l'accueil de programmes de recherche, d'accompagner les protocoles scientifiques dans la durée et de faciliter le transfert des résultats vers l'action publique. À terme, l'ambition est bien de transformer la ville elle-même en un terrain d'apprentissage partagé, où les données scientifiques viennent nourrir des politiques locales robustes et reproductibles par d'autres collectivités.



Installation d'un lombriduc dans la ville de Nancy. / Harter S., ville de Nancy

Faire de la biodiversité un enjeu de conception



En complément des bonnes pratiques de gestion, il est possible de mobiliser plusieurs leviers pour préserver la biodiversité des sols dès la conception des espaces végétalisés.

Disposition pour l'accueil d'une diversité fonctionnelle

La mise en œuvre de nouveaux espaces paysagers est l'occasion de renforcer les potentielles fonctions écologiques qui seront assurées par les sols du site. Il est important de rappeler qu'une biodiversité peut se développer dans les sols caractérisés comme « pauvres » sur le plan de la fertilité agronomique. Aussi, les choix en termes de conception dépendent surtout de ce qu'on souhaite associer comme paysage, habitat et usage. Aujourd'hui, les connaissances des sols – et plus spécifiquement des sols urbains – permettent de renseigner sur les déterminants facilitant le développement des organismes du sol et leurs actions.

Conditions favorables pour abriter une biodiversité fonctionnelle

De manière générale, les objectifs sont de créer des espaces multifonctionnels, en capacité de soutenir une végétation (alimentaire ou non) en surface, et donc d'offrir des fonctions complémentaires. Cette complémentarité réside dans la diversité des rôles joués par les organismes des sols (voir page 12), tout en assurant des conditions idéales de survie et de colonisation.

La notion d'habitabilité correspond à la capacité d'accueil d'un sol du point de vue de ses caractéristiques et de son usage. Plusieurs propriétés clés des sols peuvent ainsi être listées pour favoriser l'accueil d'une biodiversité :

- une épaisseur importante (pour le développement d'espèces endogées et de certains lombrics comme les anéciques) ;
- la présence d'un horizon organo-minéral en surface ;
- un pH optimal (entre 6,5 et 8) ;
- une humidité relativement constante ;
- une texture majoritairement limoneuse.

Ces propriétés doivent servir de repères car les conditions pour les réunir sont parfois difficiles voire impossibles selon le milieu et son historique.

Par la mise en place d'un couvert végétal, on peut créer une diversité de milieux au sein d'un même aménagement (hygrophiles, mésophiles, thermophiles), accompagnée de strates et d'essences végétales différentes. En effet, certaines espèces apprécient les milieux ombragés, tandis que d'autres préfèrent les espaces plus secs et ensoleillés. L'absence de discontinuités anthropiques (murets, maçonneries, revêtements imperméables) facilite le passage de la faune d'une zone végétalisée à une autre.

Le soutien par un cadre réglementaire

Ces actions de renaturation peuvent être soutenues par un corpus documentaire d'urbanisme en appui à la préservation des sols et le maintien de surfaces non artificialisées. Elles sont à privilégier dans les Schémas de cohérence territoriale (SCoT) dont la déclinaison opérationnelle se traduit dans les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) qui peuvent identifier des Zones Préférentielles pour la Renaturation (ZPR). Ces zones identifient les sols artificialisés pour les transformer en sols non artificialisés. Le SCoT prévoit ainsi des mesures de protection des espaces nécessaires au maintien de la biodiversité et à sa préservation ou la remise en état des continuités écologiques et la préservation de la ressource en eau. Les Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP) peuvent identifier ces ZPR et indiquer leurs modalités de mise en œuvre.

D'autres outils réglementaires de l'urbanisme peuvent être mobilisés, comme l'emplacement réservé, le coefficient de biotope par surface (CBS) ou le coefficient de pleine terre.



Deux exemples d'effacement des discontinuités par l'absence de murets et la présence d'un revêtement perméable favorisant le déplacement d'espèces. / Leleux A., Plante & Cité



À Nantes Métropole, articuler la planification urbaine et la gestion des sols

à l'échelle de la ville

Engagée depuis de nombreuses années dans la préservation et la gestion de ses milieux naturels, et dans le développement des arbres et des espaces de nature en ville, Nantes Métropole déploie des actions pour préserver les sols, et pour réduire et renaturer les sols artificialisés. Cet objectif se décline à l'échelle de la planification et à l'échelle des projets au travers du plan Pleine terre métropolitain, visant à recréer des espaces de pleine terre, au sol vivant et fonctionnel, et support d'une végétation diversifiée favorable à la biodiversité.

Préserver les sols dans le Plan local d'urbanisme métropolitain

Le PLUm, adopté en 2019, et son OAP thématique « Trame verte et bleue et paysage » réaffirment la volonté de renforcer la place de la nature et de l'eau dans la métropole. Ces objectifs d'aménagement stratégique se traduisent dans les projets métropolitains autour de la préservation du sol naturel : préserver et développer des espaces de pleine terre végétalisés en cœur d'îlots, limiter l'artificialisation des sols et désartificialiser des aires de stationnement. Le CBS vient renforcer la présence du végétal et préserver les espaces de pleine terre dans les aménagements.

La modification simplifiée du PLUm, votée en février 2025, apporte de nouvelles règles facilitant la production de logements tout en renforçant la protection du végétal, des sols vivants et de la biodiversité. Elle permet aussi de protéger 89 ha supplémentaires d'espaces végétalisés et de limiter l'artificialisation des sols, en reclassant 50 ha de zonage urbain en zonage agricole et naturel. Ces modifications constituent pour Nantes Métropole des outils pour tendre vers l'objectif ZAN à l'horizon 2030.

Enfin, Nantes Métropole teste l'utilisation de l'indicateur MUSE sur la multifonctionnalité des sols urbains. Associé à d'autres indicateurs écologiques, il est utilisé pour accompagner la prise de décision sur l'identification de secteurs à enjeux, sur la protection de nouvelles surfaces ou le basculement de zonage. Bien qu'encore peu exploitables à une échelle fine, ces données permettent de sensibiliser et de systématiser la prise en compte des fonctions écologiques des sols dans la planification du territoire.

De la planification aux projets : le plan Pleine terre métropolitain

Depuis 2021, le plan Pleine terre métropolitain est déployé pour renforcer et démultiplier les opérations de débitumisation et de végétalisation sur le territoire. En parallèle, l'évolution vers des pratiques de gestion écologique des espaces verts favorise une meilleure prise en compte de la préservation des sols. À cette échelle, les pratiques de conception et de gestion des espaces sont donc interrogées pour mieux intégrer les fonctions écologiques des sols, et nécessitent de plus en plus de connaissances.

Le programme BISES a permis à Nantes Métropole de mieux comprendre les données existantes et mobilisables sur les sols, d'appréhender les difficultés liées à la collecte et à la représentativité des données ou à leur utilisation pour les projets. Le plan Pleine terre constitue un cadre de réflexion pour améliorer les connaissances sur les sols et pour expérimenter de nouvelles façons de renaturer la ville : développer le recours aux analyses de sols ; éviter d'importer de la terre végétale et favoriser le réemploi des matériaux et des déchets verts dans le cadre d'une filière locale structurée ; favoriser la qualité des sols pour optimiser l'infiltration de l'eau dans les aménagements. Des démarches sont lancées pour mettre en place un suivi à long terme de la qualité des sols et de la biodiversité des sites renaturés, et pour former les jardiniers à la connaissance et à la gestion des sols.



Travaux de désimperméabilisation dans le cadre du plan Pleine terre au sein du square Jean-Baptiste-Daviais (Nantes).
/ Nantes Métropole

Mettre les projecteurs sur les sols urbains vivants

Le passage du « sol surface », perçu par l'aménageur, au « sol volume vivant », support de biodiversité selon la vision du pédologue, ne se fera que si le sol urbain, au-delà de ses m² à haute valeur économique, révèle progressivement ses caractéristiques biologiques souterraines.

Le dialogue entre les porteurs d'enjeux et d'actions pour la préservation de sols urbains sains est permis par des dynamiques de laboratoires vivants. Cette nouvelle manière de travailler ensemble, impliquant étroitement la société civile et toutes ses parties prenantes aux côtés des chercheurs sur des sites de démonstration, fournit des exemples de réussites, pour mener le plus rapidement possible la transition vers des sols sains.

Ces objectifs renforcent les enjeux liés à la durabilité et à la résilience urbaine et permettent d'intégrer la protection de la biodiversité des sols aux politiques de la ville. Ces notions sont toutefois déjà intégrées aux projets alimentaires territoriaux. Alors que 92 % des Français estiment manquer de nature en ville, les programmes scientifiques dédiés aux sols urbains,

soutenus par le Plan urbanisme construction architecture, l'Agence de la transition écologique (ADEME) ou l'Office français de la biodiversité (OFB), se multiplient : Désimperméabilisation des sols, services écosystémiques et résilience des territoires (DESSERT), création et restauration d'une trame brune complétant les trames bleues et vertes (Tram'biosol), contributions des espaces verts résidentiels et partagés à la transition vers des villes biodiverses et perméables (Villegarden), prise en compte des sols dans la construction de la ville durable (Destisol), intégration de la multifonctionnalité des sols dans les documents d'urbanisme (MUSE), etc.

Le programme BISES montre que les réseaux de mesure de la qualité des sols bien développés en milieu rural doivent idéalement s'étendre aux villes, incluant un programme de contrôle des sols venant éclairer les parties prenantes pour une meilleure prise en compte des sols dans les stratégies d'aménagement.

Les sols doivent trouver leur place dans un métabolisme urbain circulaire, en particulier via le génie pédologique et la valorisation raisonnée des ressources urbaines, dont les matières organiques, dans les sols. Donner une place de choix aux sols dans les villes sera alors gage de transformation et de transition vers des villes plus résilientes et durables. Cela n'ira pas sans impliquer les citoyens via l'éducation, la formation, la communication et en rendant les sciences du sol participatives encore plus attractives.

L'enjeu est d'aller au-delà de la présumée complexité des sols urbains, de les rendre palpables et compréhensibles par tous pour leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, pour les fonctions écologiques qu'ils assurent et les services écosystémiques qu'ils rendent.

En définitive, il s'agit de convaincre le plus grand nombre que santé des sols (urbains) et santé des êtres humains sont intimement liées.



Présentation des résultats du programme auprès des équipes techniques de la ville de Paris.
/ Dagois R., Plante à Cité

Bibliographie



- Bispo A., Guellier C., Martin E., Sapijanskas J., Soubelet H., et Chenu C., 2016.
Les sols : intégrer leur multifonctionnalité pour une gestion durable.
Editions Quae, 376 p.
- Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature, 2025
Engagement 20 : Préserver et restaurer les sols, la biodiversité, les milieux naturels.
Dans Guide de l'aménagement durable – Dimension 4 : environnement et climat (119 p.) p. 86-89
<https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/guide-lamenagement-durable-territoires-sobres-resilients-inclusifs/dimension-4>
- Grenier E., Folcher L. 2025.
Les nématodes, des vers omniprésents à la résistance extrême.
The Conversation. p.1
<https://theconversation.com/les-nematodes-des-vers-omnipresents-a-la-resistance-extreme-238453>
- Néel C., Boithias L., Duplani E., et al., 2022.
Qualité des sols et urbanisme : construire une méthodologie adaptée aux besoins des territoires et favoriser son appropriation.
ADEME, 104 p.
- Térideal, 2022.
Les jardins de Gerland – Pré Gaudry : à Lyon, une opération pilote sur la fertilisation des sols en place.
www.terideal.fr/les-jardins-de-gerland-pre-gaudry-a-lyon-une-operation-pilote-sur-la-fertilisation-des-sols-en-place/
- Unité Renaturation urbaine, 2021.
Coup de Pousse à la Nature : 50 idées pour agir localement en faveur de la biodiversité.
Service Recherche & Biodiversité, Direction Nature et Jardins, Ville de Nantes.
www.nature-en-ville.com/ressources/guide-coup-de-pousse-la-nature-idees-dactions-pratiques-pour-les-jardiniers
- Vergnes A., 2020.
Impact des aménagements urbains sur la biodiversité du sol.
Technique de l'ingénieur, Réf : GE1 068 v1
doi.org/10.51257/a-v1-ge1068
- Villenave C., Chauvin C., Puissant J., Henaux M., Trap J., 2022.
Impact des pratiques agricoles sur l'état biologique du sol : SIPANEMA, un outil d'aide à la décision basé sur les connaissances scientifiques sur les nématodes.
Etude et Gestion des Sols, 29, 199-209
www.afes.fr/ressources/impact-des-pratiques-agricoles-sur-letat-biologique-du-sol-sipanema-un-outil-daide-a-la-decision-base-sur-les-connaissances-scientifiques-sur-les-nematodes/
- Volkoff A.N., Seninet J., Brillard I., 2025.
Nématodes entomopathogènes Steiner-nema et Heterorhabditis. p.1
<https://dgimi.hub.inrae.fr/ressources-biologiques/collections/nematodes-entomopathogenes-steinternema-et-heterorhabditis>



POUR ALLER PLUS LOIN

Le sujet de cette publication a fait l'objet de nombreux ouvrages et articles scientifiques théoriques et pratiques sur la connaissance, la caractérisation et la gestion des sols urbains. En complément des références proposées à la fin de chaque chapitre, voici une sélection de ressources pour approfondir ou prendre de la hauteur sur certains sujets. Aller plus loin, c'est enfin remercier et valoriser les expertises des nombreux contributeurs de cet ouvrage.

Sélection de ressources

Connaître les sols urbains

[OUVRAGE]

→ Le sol vivant. Bases de pédologie – Biologie des sols. 3^e éd.



GOBAT Jean-Michel, ARAGNO Michel, MATTHEY Willy. Ed. PPUR, 2013, 817 p. (Science et ingénierie de l'environnement)

Cet ouvrage de référence fournit les connaissances de pédologie générale, dont les sujets sur les divers types de relations qui s'établissent entre les organismes et le sol, et les mécanismes biologiques du fonctionnement des sols.

[OUVRAGE]

→ Les sols : intégrer leur multifonctionnalité pour une gestion durable



BISPO Antonio, GUELLIER Camille, MARTIN Edith, et al. Editions Quae, octobre 2016, 379 p.

Synthèse des dernières connaissances biotechniques et sociétales, issue du programme Gessol : mise en place d'indicateurs pour la planification urbaine, mesure des stocks de carbone, instruments juridiques et économiques pour la protection des sols, et identification de leviers d'actions pour une gestion durable des sols.

[RAPPORT & ÉTUDE]

→ État des connaissances scientifiques et techniques de la qualité biologique des sols urbains



GUILLAND Charles, RANJARD Lionel, DAMAS Olivier. Ed. Plante & Cité, 2018, 41 p.

Synthèse des données de 15 années sur les analyses de biologie des sols urbains aux échelles nationales et internationales, et analyse d'enquête sur le niveau de connaissances et les actions mises en œuvre par les professionnels de l'aménagement urbain pour la caractérisation de la qualité biologique des sols.

<https://www.ressources.plante-et-cite.fr/fiche/91166>

[GUIDE & FICHE OPÉRATIONNELS]

→ La bande dessinée «Les super pouvoirs des sols» - Des solutions pour la ville de demain : vers une renaturation des sols



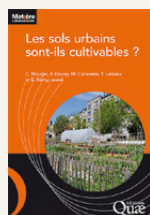
Cerema, UGHETTI Mathieu. Ed. Cerema, 2019, 5 p.

Synthèse sur la qualité, la connaissance et les services écosystémiques des sols urbains, et des solutions durables et opérationnelles pour la préservation et la renaturation des sols, utiles aux aménageurs et collectivités.

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/super-pouvoirs-sols-bd>

[OUVRAGE]

→ Les sols urbains sont-ils cultivables ?



MOUGIN Christian, DOUAY Francis, CANAVESE Marine, et al. Editions Quae, octobre 2020, 227 p. (Matière à débattre & décider)

Réflexion interdisciplinaire et multi-acteurs menée sur les sols (péri)urbains et sur leurs potentialités agro-nomiques et leurs propriétés, en vue de nouveaux usages alimentaires et récréatifs. Les auteurs abordent la contamination des sols, des approches socio-historique et juridique de ces sols, et les nouveaux enjeux de recherche (plastiques dans les sols ; relations entre sols contaminés, carbone organique des sols et dérèglement climatique).

[REVUE SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE]

→ Numéro spécial « Fonctions des sols et services écosystémiques »



Étude et gestion des sols, 2021, HS, 226 p.

Les articles illustrent la dynamique de mise au point de démarches d'évaluation des fonctions/services pour l'aide à la décision, en particulier dans le cadre de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. Un des enjeux est de faciliter le transfert des démarches vers les professionnels et les décideurs publics (bureaux d'études et collectivités).

<https://www.afes.fr/ressources/numero-special-egs-fonctions-des-sols-et-services-ecosystemiques>

[RAPPORT & ÉTUDE]

→ Project SOILval – Recognising SOIL values in land use planning systems



The European knowledge platform on soil and land management (SOILveR), 2022, 32 p. + 6 p. + 48 p. + 113 p. + 38 p.

Projet de recherche sur la reconnaissance et l'intégration de la valeur des sols, en France et en Wallonie, dans les instruments juridiques et les processus décisionnels de planification ; étude également sur la contribution des solutions opérationnelles de requalification des sols pour la prise en compte de la qualité des sols. Les outils d'aide à la décision et les référentiels intégrant la qualité des sols (bases de données, couches géographiques) ont aussi été examinés.

<https://soilve.eu/news/project-soilval-recognising-soil-values-in-land-use-planning-systems/>

[REVUE SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE]

→ Soil biodiversity supports the delivery of multiple ecosystem functions in urban greenspaces



FAN Kunkun, CHU Haiyan, ELDRIDGE David J., et al. Nature Ecology and Evolution, janvier 2023, 113-126 (19 p.)

Une enquête a été menée sur les espaces verts urbains de 56 municipalités sur six continents, afin d'étudier les relations entre la biodiversité des plantes et des sols avec 18 substituts de fonctions écologiques provenant de neuf services écosystémiques.

[SITE & OUTIL WEB]

→ Réseau Urbasol : connaissance et gestion des sols urbains



Ed. L'Institut Agro Rennes-Angers, 2023

Portail d'info dédié à la recherche sur les sols en ville. Ce site recense les partenariats, les projets de recherche en cours, les projets terminés et les publications qui en sont issues (ouvrages, synthèses, thèses).

<https://urbasol.institut-agro-rennes-angers.fr/fr>

[OUVRAGE]

→ Des tracés aux traces : pour un urbanisme des sols



HENRY Patrick. Editions Apogée, 2023, 214 p.

L'auteur, architecte et urbaniste, s'interroge sur les sols urbains, et notamment sur un urbanisme de l'attention basé sur l'observation et l'interaction avec les sols. Il revient pour cela sur l'historique des sols et du projet urbain, avant d'aborder le ZAN, l'urbanisme des sols et enfin la métropole-jardin.

[OUVRAGE]

→ La vie cachée des sols



HINSINGER Philippe. Editions Quae, mai 2024, 151 p.

Cet ouvrage très illustré fait découvrir la vie et le fonctionnement du sol, de leur formation à son utilisation par les humains : organismes du sol et leurs interactions, leurs rôles dans le fonctionnement des écosystèmes, et leurs caractéristiques qui en sont modifiées. L'auteur rappelle aussi les menaces qu'elles soient d'origines humaine ou naturelle.

[RAPPORT & ÉTUDE]

→ Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs. Synthèse du rapport d'étude



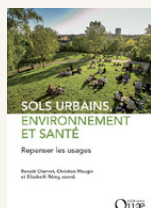
COUSIN Isabelle, DESROUSSEAU Maylis, LEENHARDT Sophie, et al. Ed. Inrae, novembre 2024, 10 p. + 126 p.

Étude française et canadienne. Ce rapport clarifie les différentes dimensions qui constituent la qualité et la santé des sols, liste une cinquantaine d'indicateurs qui permettent de les évaluer, et présente la manière dont on peut les mobiliser dans tous les secteurs et en appui aux politiques publiques.

<https://www.inrae.fr/actualites/preserver-qualite-sols-referentiel-dindicateurs-resultats-dune-etude-collective>

[OUVRAGE]

→ Sols urbains, environnement et santé : repenser les usages



CHARVET Ronald, MOUGIN Christian, REMY Elisabeth. Editions Quae, 2024, 314 p.

Approche pluridisciplinaire pour prendre en compte les sols urbains dans le concept de santé globale (santé des humains, des animaux et de l'environnement, aux échelles locale, nationale et européenne). Il s'adresse aux gestionnaires, urbanistes, architectes ou collectivités, chercheurs en sciences biotechniques et en sciences sociales, ainsi qu'aux usagers de ces environnements urbains.

[WEBINAIRE, CONFÉRENCE & COLLOQUE]

→ Biodiversité des sols urbains



DAGOIS Robin. Ed. Plante & Cité, 2020

Tour d'horizon des solutions pour les aménageurs et les collectivités : initiatives en lien avec les sciences participatives, et prise en compte de la biodiversité des sols comme indicateur de qualité. Les interventions et le replay sont mis à disposition.

<https://www.ressources.plante-et-cite.fr/fiche/91359>

[SITE & OUTIL WEB]

→ Recherches participatives. Le réseau des porteurs de projets : les projets identifiés



Ed. AFES (Association française pour l'étude des sols), 2021

Recueil des projets de sciences participatives sur les sols, dont : Clés de Sol ; Invertedex : application mobile ludique d'identification des organismes du sol ; IQSB Citoyen : indice de qualité des sols bruxellois ; QUBS : observatoire participatif de la qualité biologique des sols urbanisés ; Scarab'obs : observatoire de coléoptères coprophages ; TI Dijon : qualité des sols. Chaque projet fait l'objet d'une fiche technique.

<https://www.afes.fr/nos-missions/reconnaitre-et-federer/recherches-participatives/les-porteurs-de-projet-srp/>

[GUIDE & FICHE OPÉRATIONNELS]

→ Sols vivants : alternatives à l'artificialisation des sols et réhabilitation des sols dégradés



ADEME, EPF Hauts-de-France, Sol paysage, UNEP. Ed. LPO, octobre 2022, 59 p.

Neuf fiches avec conseils pratiques, réglementations et solutions techniques sur les questions de préservation des sols dans les ENAF, de biodiversité au sein des villes, et de remise en état des sols dégradés. Guide à destination des acteurs de l'aménagement urbain (collectivités, urbanistes, architectes, paysagistes, constructeurs, aménageurs).

<https://www.lpo.fr/qui-sommes-nous/toutes-nos-actualites/articles/actus-2022/guide-technique-sols-vivants-alternatives-a-l-artificialisation-des-sols-et-rehabilitation-des-sols-degrades>

Agir pour préserver les sols

[GUIDE & FICHE OPÉRATIONNELS]

→ Sols et biodiversité. Recueil d'actions de collectivités en faveur de la biodiversité. Capitale française de la biodiversité. 2016



GRANDIN Gwendoline. Ed. Natureparif, Plante & Cité, octobre 2016, 127 p.

Sélection des actions portées par 72 villes et intercommunalités en faveur du sol, support de la biodiversité et des fonctions écologiques. Chaque réalisation est présentée sous forme d'une fiche synthétique.

<https://www.capitale-biodiversite.fr/recueils-actions>

[GUIDE & FICHE OPÉRATIONNELS]

→ Les bio-indicateurs de l'état des sols, principes et exemples d'utilisation



ADERA, LEB Aquitaine Transfert (Lipides Environnement et Biotechnologies), CNRS Bordeaux, et al. Ed. ADEME, mai 2017, 29 p. (Expertises)

Présentation de fiches bioindicateurs (escargots, nématodes, etc.) et de différents cas d'études pilotes, pour leur intérêt dans la gestion des sites pollués et/ou la reconversion des friches, avec fiches exemples d'utilisation. Étude issue du programme de recherche APPOLINE.

<https://librairie.ademe.fr/urbanisme-territoires-et-sols/1971-bio-indicateurs-de-l-etat-des-sols-les-9791029708244.html>

[RAPPORT & ÉTUDE]

→ Agir pour les sols urbains : des sols fonctionnels pour la nature en ville - n° 9



Plante & Cité. Ed. Plante & Cité, 2023, 68 p. (collection & Panorama des enjeux, des résultats d'étude et des réalisations pour des sols urbains fonctionnels : regards de chercheurs et praticiens, initiatives internationales, études et actions à entreprendre, puis stratégies et outils pour préserver les sols dans les documents d'urbanisme et orienter le développement urbain en fonction de la qualité des sols.)

Panorama des enjeux, des résultats d'étude et des réalisations pour des sols urbains fonctionnels : regards de chercheurs et praticiens, initiatives internationales, études et actions à entreprendre, puis stratégies et outils pour préserver les sols dans les documents d'urbanisme et orienter le développement urbain en fonction de la qualité des sols.

<https://www.ressources.plante-et-cite.fr/fiche/93240>

Les ressources et services documentaires de Plante & Cité

Pour aller plus loin, consultez notre base de données qui regroupe toutes les publications et outils en ligne issus des projets de Plante & Cité, et toutes les références bibliographiques parues dans les bulletins de veille Références Plante & Cité depuis 2009. www.ressources.plante-et-cite.fr

Les adhérents pourront également rester en veille grâce au bulletin mensuel Références et commander des articles.

Ils ont contribué

Cette synthèse est le fruit d'un travail collaboratif entre Plante & Cité et plusieurs chercheurs ou experts dans le domaine des sciences des sols et de la biodiversité urbaine. Un grand merci !



CAMILA ANDRADE est chargée de mission au sein de Vigie-Nature, le programme de sciences participatives du MNHN. Dans ce contexte, elle coordonne à l'échelle nationale plusieurs projets participatifs, dont ProDij - Sol Mutations et QUBS.



Ingénieur et docteur en agroécologie, **CAMILLE CHAUVIN** travaille depuis 2016 chez ELISOL Environnement, où il est impliqué dans les projets de bioindication de la santé des sols par l'analyse de la diversité des nématodes.



APOLLINE AUCLERC est maître de conférences en écologie des sols à l'université de Lorraine - ENSAIA, où elle étudie la diversité et les rôles fonctionnels de la macrofaune et mésofaune du sol en milieux anthropisés. Elle est également à l'origine du programme participatif « JardinBiodiv ».



Ingénieur et docteur en sciences agronomiques, **ROBIN DAGOIS** est chargé de mission Agronomie, sols urbains et choix des végétaux à Plante & Cité depuis 2018.



Maître de conférences en écologie des sols à l'université Paul-Valéry de Montpellier, **SANDRA BARANTAL** étudie la distribution des communautés de macrofaune du sol et leurs rôles fonctionnels. Elle coordonne également le programme participatif QUBS.



Depuis 2015, **LOÏC DELAGNEAU** est chef de service Biodiversité urbaine, sensibilisation, éco-participation, au sein de la Direction écologie et nature de la ville de Nancy.



FLORENCE CADEAU est documentaliste à Plante & Cité. En appui aux études et au service des adhérents, elle réalise l'ensemble des travaux de veille et gère le fonds documentaire du centre technique.



ANNE DOZIÈRES est directrice de Vigie Nature, le programme de sciences participative du MNHN dédié à l'étude de la biodiversité face aux changements globaux à l'échelle française. Dans ce cadre, elle a contribué au lancement du programme participatif QUBS.



Professeur en écologie à l'université Paul-Valéry de Montpellier, **JÉRÔME CORTET** est responsable d'un master Ingénierie et gestion de projets environnementaux. Il étudie particulièrement les dynamiques de communautés des collemboles sous contrainte anthropique, comme dans les milieux agricoles et urbains.



Ingénieur en électronique embarqué et docteur en informatique, **ALEXANDRE GUERRE** est directeur technique au sein de l'unité de service SUMMIT à Sorbonne Université.



JEAN-CHRISTOPHE LATA est professeur des universités à Sorbonne Université et membre de l'équipe Fonctionnement des écosystèmes à l'anthropocène du département Écologie des communautés et des écosystèmes de l'iEES Paris.



Dans le cadre de son stage de fin d'études, **AURÉLIEN RIOU** a étudié les effets de l'urbanisation sur la biodiversité des sols en suivant une analyse multi-taxons (des microorganismes à la macrofaune) et multi-échelles en mobilisant le jeu de données du projet.



Diplômée d'un master en écologie, parcours Gestion des écosystèmes terrestres de l'université de Rouen, **AGATHE LELEUX** est chargée d'étude sur les projets BISES et Brownies à Plante & Cité.



Titulaire d'un doctorat en sciences agronomiques, **CHRISTOPHE SCHWARTZ** est président du Centre Inrae Grand Est et professeur à l'université de Lorraine et au Laboratoire sols et environnement. Ses études portent sur l'état, le fonctionnement, l'évolution et la restauration des sols très anthropisés.



Titulaire d'un doctorat en écologie microbienne du sol, **PIERRE-ALAIN MARON** est directeur de recherche à l'Inrae dans l'UMR Agroécologie où il mène des recherches sur l'écologie et le rôle des communautés microbiennes pour le fonctionnement biologique des sols.



Titulaire d'un doctorat en écologie, **LAURE TURCATI** est ingénieure de recherche spécialisée en sciences et recherches participatives, notamment à travers la coordination et l'animation de programmes en milieu urbain, tels que PartiCitaE.



Titulaire d'un doctorat en écologie microbienne du sol, **LIONEL RANJARD** est directeur de recherche à l'Inrae dans l'UMR Agroécologie où il mène des recherches sur l'écologie des sols agricoles. Il fait partie des experts du réseau national d'expertise scientifique et technique sur les sols.



ALAN VERGNES est maître de conférences à l'université Paul-Valéry de Montpellier, et le porteur du projet ANR BISES. Il étudie les effets de modifications (de l'échelle du paysage à celle de la parcelle) sur les communautés, les populations et les traits des invertébrés du sol.



MATHILDE RENARD est cheffe de projet Plan pleine terre métropolitain et responsable de l'unité Renaturation urbaine au sein du Service recherche et biodiversité rattaché à la direction Nature et jardin de la ville et métropole de Nantes.



Docteure en sciences de l'environnement, **LAURE VIDAL-BEAUDET** est enseignante chercheuse à Institut Agro, centre d'Angers. Au sein de l'unité EPHor, elle travaille depuis plus de vingt ans sur les propriétés agronomiques des sols urbains construits en lien avec la plante.

Crédits photos : F. Cadeau & A. Leleux : M. Rusin / R. Dagois : Luc Maréchaux / C. Schwartz : Inrae / Non communiqué pour tous les autres.

Plante & Cité est le centre technique national d'études et d'expérimentations sur les espaces verts et le paysage. Sous statut associatif, il compte aujourd'hui plus de 800 adhérents (collectivités, entreprises du paysage, bureaux d'études, établissements de recherche et de formation...). Parrainé par l'AMF et soutenu par l'interprofession VALHOR et par les ministères en charge de l'agriculture et l'écologie, Plante & Cité développe la recherche et l'expertise pour apporter des réponses nouvelles et innovantes pour l'aménagement et la gestion des espaces verts et naturels urbains dans la perspective du développement durable. Créé à Angers, Plante & Cité bénéficie du soutien d'Angers Loire Métropole et participe à la dynamique du pôle de compétitivité mondial Végépolys Valley, notamment sur l'axe végétal urbain.

www.plante-et-cite.fr





Connaitre et évaluer la biodiversité des sols

GUIDE OPÉRATIONNEL POUR LES MILIEUX URBAINS

Encore méconnue, la biodiversité des sols joue un rôle fondamental dans les écosystèmes urbains et contribue à maintenir des services essentiels.

Ce document illustre les enjeux de la prise en compte de la biodiversité des sols urbains. Les résultats présentés dans ce travail s'appuient en grande partie sur ceux du programme ANR BISES qui vise à approfondir la connaissance de l'écologie des communautés d'organismes des sols urbains.

La synthèse présente tout d'abord les organismes constitutifs de cette biodiversité ainsi que leurs rôles dans les écosystèmes naturels. Différentes méthodes permettant d'observer et d'évaluer la faune des sols sont ensuite mises en lumière. Enfin, des préconisations sont proposées pour protéger la biodiversité des sols et favoriser les fonctions écologiques qu'elle assure. Des retours d'expérience de collectivités et une sélection de ressources documentaires permettent d'illustrer et d'aller plus loin sur les connaissances et actions présentées.

Pour citer cette publication :

Leleux A., Dagois R. (coord.), 2025.

Connaitre et évaluer la biodiversité des sols. Guide opérationnel pour les milieux urbains.

Plante & Cité, Angers, 54 p.