

Le fonctionnement écologique des villes : et si on pensait aux sols ?

Sophie Joimel, Baptiste Grard, Laure Vieublé Gonod et Claire Chenu

Connait-on la diversité des sols urbains ? Écologues et pédologues montrent que l'étude détaillée de leurs propriétés est nécessaire pour un aménagement plus écologique de nos villes.

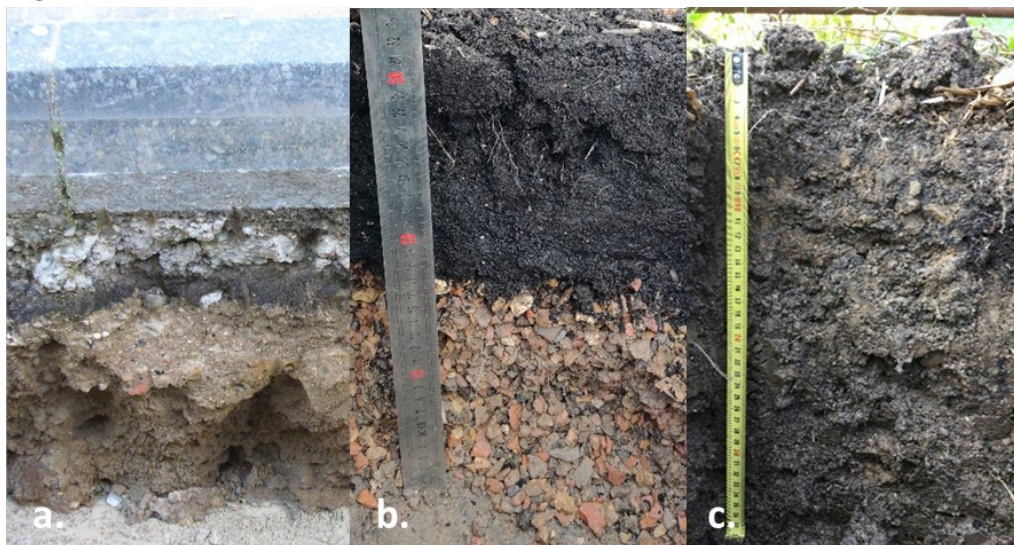
La forte diversité des sols urbains

Êtes-vous aménageur du territoire ou chercheur ? Urbaniste, architecte, jardinier ou pédologue ? De la réponse à cette question dépendent la définition et la perception que vous aurez du terme « sol urbain ». Pour certains, il s'agit de tout sol situé dans une aire urbaine (Blanchart *et al.* 2017). D'autres s'intéressent à l'occupation du sol bâti ou industriel. Les pédologues, quant à eux, les classent selon leur genèse, d'après leur degré de « perturbation anthropique » : c'est-à-dire en fonction du degré jusqu'auquel ces sols sont transformés ou construits par les activités humaines (Lehmann et Stahr 2007). La plupart ont des propriétés fortement influencées par ces activités – ce sont des sols dits *anthropisés* – en raison de leur utilisation et perturbation intense (Béchet *et al.* 2009). Il existe donc une diversité de sols urbains : des sols scellés¹ (support des infrastructures), des sols remaniés avec des histoires très hétérogènes (de la friche industrielle au jardin, par exemple) ; des sols construits à partir de matériaux divers et, en faible proportion, des sols que l'on dit pseudo-naturels, c'est-à-dire peu remaniés par les activités humaines. Les sols construits, parfois uniquement constitués de résidus urbains, peuvent être nommés Anthroposols ou Technosols selon le référentiel pédologique² choisi (Baize et Girard 2009 ; IUSS Working Group WRB 2014). Combinée avec les différents usages qui y prennent place, cette diversité de sols crée une hétérogénéité spatiale qui s'observe aussi bien au niveau horizontal que vertical (Béchet *et al.* 2009 ; Morel *et al.* 2005) (Figure 1).

¹ Recouverts d'asphalte ou de béton.

² En pédologie, typologie et classification des sols.

Figure 1. Diversité des sols urbains



© B. Grard et H. Huot.

(a) Sol scellé : sol profondément remanié avec des éléments d'origine anthropique dans le profil (brique, béton...). L'imperméabilisation et la nature des matériaux utilisés affectent les fonctions du sol. La photo illustre les différentes couches techniques et l'organisation verticale.

(b) Sol construit (toit potager) avec deux horizons : un horizon superficiel riche en matière organique et un second de support composé de briques et tuiles concassées.

(c) Un sol peu transformé (dit pseudo-naturel), support de parc ou de jardin. Le premier horizon, visible ici, est souvent modifié par les pratiques intensives (telles que l'enrichissement en matière organique par des apports successifs de composts).

Mettre les sols au cœur du fonctionnement des villes

Face à l'urbanisation et aux changements globaux, les villes, très « minérales », doivent évoluer pour devenir multifonctionnelles et résilientes³. Ce besoin de changement se manifeste notamment par la promotion d'une « nature » plus présente en ville. Cette « nature », souvent réduite à la végétalisation (« verdure »), chevauche et recoupe les concepts voisins d'environnement ou de paysage (Arnould *et al.* 2011). Or, le sol, avec ses caractéristiques physico-chimiques et sa biodiversité peu visible, mais potentiellement abondante, joue un rôle primordial dans le fonctionnement des villes. Considérés depuis l'ère industrielle et jusque tout récemment comme de simples supports de bâti, les sols deviennent centraux en raison de leur rôle dans la fourniture directe ou indirecte de bénéfices, aussi appelés services écosystémiques⁴, que l'on peut diviser en trois catégories : services d'approvisionnement (production alimentaire), de régulation (climat) et culturels. Les sols naturels sont une ressource non renouvelable car il faut des milliers d'années pour les former. Ils font partie de notre héritage naturel et leur dégradation entame irrémédiablement les services rendus aujourd'hui ainsi que le capital de demain.

La capacité d'un sol à fournir des biens et des services écosystémiques est déterminée par sa qualité (Morel *et al.* 2015), définie par ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Dans le cas des sols urbains, il existe une très forte variabilité de ces propriétés (Joimel *et al.* 2016)⁵. La

³ La résilience est la capacité d'un système à retrouver les structures et les fonctions de son état de référence après une perturbation.

⁴ Biens et services fournis aux hommes par les écosystèmes pour assurer leur bien-être. Développé à la fin du XX^e siècle, ce concept anthropocentré a été popularisé par le Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005).

⁵ Par exemple, les sols urbains ont généralement des pH basiques, mais certains peuvent être très acides, avec des minimums aux alentours de pH 5. De même, les teneurs en matière organique peuvent être très variables, même

variabilité résulte d'une diversité d'origines (par exemple, ancienne zone maraîchère), d'usages (par exemple, parcs) et de pratiques (par exemple, apport de compost). Cette diversité conduit à catégoriser les sols urbains en fonction des services écosystémiques rendus (tableau 1).

Tableau 1. Les services rendus (+) ou non (0) et les externalités négatives (-) par les différents groupes de sols urbains modifiés

Services écosystémiques	Sols		
	végétalisés pseudo-naturels	végétalisés construits	scellés
Services d'approvisionnement Fourniture des avantages matériels : bois, aliments, eau	/0*	/0*	/0*
Services de régulation Maintien de la qualité de l'air et de la fertilité du sol, maîtrise des inondations		(+)	0/-
Services culturels Fourniture des avantages immatériels : inspiration esthétique, identité culturelle...		(+)	+/0

* Va dépendre du type de service d'approvisionnement.

Source : D'après Morel *et al.* 2015.

Afin de garantir la fourniture des services écosystémiques, il convient de minimiser l'artificialisation des sols et surtout leur imperméabilisation et d'optimiser la gestion des sols pseudo-naturels en fonction de leurs propriétés.

Plusieurs de ces services ayant été décrits (Blanchart *et al.* 2017 ; Vidal-Beaudet et Rossignol 2018), nous nous focaliserons ici sur trois d'entre eux, objets de recherches émergentes : l'approvisionnement alimentaire, le maintien de la biodiversité et le recyclage des déchets urbains. Le scellement étant un inconvénient majeur pour la fourniture des services d'approvisionnement et de régulation, les sols scellés ne seront pas abordés.

Pour une production alimentaire

Le développement de l'agriculture urbaine pose directement la question de la qualité des sols en place. Des teneurs élevées en matières organiques ont été répertoriées dans les jardins familiaux (jusqu'à 10 % contre 1 à 4 % pour les sols agricoles), en phosphore (avec des valeurs parfois excessives) et des pH basiques (entre 7 et 8,5) pouvant s'accompagner de contaminations en métaux (Joimel *et al.* 2016). Ces fortes teneurs sont la résultante d'apports successifs et historiques d'amendements et engrais et peuvent impliquer des transferts dans les végétaux cultivés⁶. Des

pour un usage identique : dans les jardins familiaux par exemple, des teneurs variant de 1 à 10 % sont observées.

⁶ Voir programme de recherche REFUGE : <https://www.construction21.org/france/articles/h/refuge-risques-en-fermes-urbaines-gestion-et-evaluation.html>.

travaux menés sur le toit potager d'AgroParisTech⁷ (Figure 1b) ont démontré que des légumes cultivés dans des sols construits uniquement à partir de produits résiduaux organiques⁸ respectent la réglementation en vigueur sur les teneurs en polluants grâce au contrôle de la contamination des matériaux utilisés (Grard 2017).

Concernant des sols dont les teneurs en contaminants atteindraient des valeurs importantes, les collectivités peuvent s'appuyer sur de nombreux guides, comme celui sur la « présomption de pollution d'un sol⁹ », afin d'y trouver les outils et connaissances disponibles. À l'échelle individuelle, l'application de bonnes pratiques de consommation, telles que le lavage et épluchage des légumes permet d'éliminer les polluants présents en surface et de réduire les risques potentiels de contamination.

Des sols urbains refuges pour la biodiversité

Le rapport d'évaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019) estime qu'environ un million d'espèces animales et végétales sont menacées d'extinction au cours des prochaines décennies. Or, les sols abritent environ un quart de la biodiversité de notre planète. Les organismes des sols jouent un rôle essentiel, notamment pour la fertilité des sols, la qualité de l'eau et le stockage de carbone. Du fait des caractéristiques physico-chimiques des sols urbains (contamination, valeurs extrêmes de pH ou compaction...), on pourrait s'attendre à ce qu'ils abritent une faible biodiversité avec des effets sur les organismes de toutes tailles (vers de terre, coléoptères, microorganismes...). Pourtant, les sols urbains non imperméabilisés semblent au contraire fournir un refuge à la biodiversité en ville. Ainsi, les collemboles (Figure 2) – indicateurs bien connus de la qualité des sols – présentent 1,6 fois plus d'espèces et sont 8 fois plus abondants dans les jardins potagers urbains qu'en milieu agricole (Joimel *et al.* 2017). De même, les parcs et les toits, bien que très artificiels, abritent des niveaux élevés de biomasse microbienne (McGuire *et al.* 2013).

Figure 2. Les collemboles (mésafaune du sol, c'est-à-dire inférieure à 2 mm) jouent un rôle dans la dégradation de la matière organique dans les sols



Les organismes doivent toutefois s'adapter aux contraintes des sols urbains et les collemboles présentent alors des caractéristiques spécifiques liées à leur vie en surface plutôt que dans la profondeur du sol (Joimel *et al.* 2018).

Les sols construits des toits abritent un mélange hétéroclite d'espèces communes de collemboles mais aussi d'espèces plus rares avec des abondances extrêmes, qui y sont apportées *via* les composts, avec lesquels les sols sont fabriqués, ou par le vent en provenance des espaces verts alentour (Joimel *et al.* 2018)¹⁰.

⁷ Voir <http://www2.agroparistech.fr/T4P-un-Projet-de-recherche-innovant-pour-des-Toits-Parisiens-Productifs.html>.

⁸ Lire <https://theconversation.com/bd-sur-le-toit-des-legumes-et-de-la-science-107386>.

⁹ Voir www.cerema.fr/fr/actualites/presomption-pollution-sol-cles-comprendre-agir.

¹⁰ La présence d'espèces rares, souvent spécifiques au milieu urbain (par exemple chez les collemboles : *Coecobrya tenebricosa* ou *Folsomia similis*), a aussi été démontrée pour d'autres arthropodes (Madre *et al.* 2013), reptiles et

Ces résultats soulignent que, pour favoriser la biodiversité en ville, il est nécessaire de maintenir des sols naturels en zones urbaines et périurbaines, de mettre en place des espaces verts urbains et de connecter ces espaces entre eux par des corridors écologiques. Ceux-ci devraient être intégrés à la conception et aménagement des villes. Alors que les trames vertes et bleues¹¹ sont maintenant prises en compte à différentes échelles et ce, jusqu'à une échelle locale dans les plans d'urbanisme, des réflexions pourraient être engagées sur les trames brunes afin de créer une continuité des sols en ville.

Valoriser les déchets

Grandes productrices de déchets minéraux et organiques, les villes pourraient trouver de nouvelles voies locales de valorisation de ces résidus. Comment permettre à la végétation de croître lorsque le sol sur place est inexistant ou de qualité trop médiocre ? Une option est de construire un sol fertile (Vidal-Beudet et Rossignol 2018), qui s'inspire d'un sol naturel avec la superposition de deux ou trois couches (Figure 1b présentant un sol construit avec deux couches ; l'une fertile, l'autre de support) (Grard 2015, Grard *et al.* 2017). L'utilisation de terre végétale¹² et de substrat de plantation à base de tourbe, aujourd'hui majoritaire dans la construction de sols, devrait être très réduite : ce sont des ressources non renouvelables et leur utilisation en ville induit la destruction des sols et milieux naturels à l'extérieur de la ville (par exemple tourbières)¹³.

Cependant, peu de références sont aujourd'hui disponibles sur la « création de sols » à partir de matériaux et déchets divers (généralement organiques), même si cela a été mis en œuvre dans un certain nombre de projets de toitures végétalisées en région parisienne (Figure 3, Grard *et al.* 2017) ou sur d'anciennes friches urbaines (Séré 2007). Ces déchets peuvent être des produits résiduels organiques (compost à base d'ordure ménagère ou de déchets verts...) ou non (brique concassée, béton cellulaire broyé...). Ces Technosols, amenés à être de plus en plus fréquents en ville, permettent une bonne croissance de la végétation alimentaire (Grard 2017) et non alimentaire (Séré 2007). Pour l'instant, la construction de sol se cantonne aux petites surfaces, telles que des toitures ou des pieds d'arbre d'alignement, en raison du coût et de la difficulté de mise en œuvre. Une évolution des réglementations et règle professionnelle apparaît donc nécessaire pour permettre une meilleure utilisation des déchets urbains (projet SITERRE).

oiseaux.

¹¹ Mesure issue du Grenelle de l'environnement qui consiste à préserver et restaurer les continuités écologiques aussi bien terrestres (trame verte) qu'aquatiques (trame bleue).

¹² Couche de surface des sols agricoles décapée.

¹³ Une analyse du cycle de vie de la construction de sols à partir de déchets organiques a démontré un impact environnemental moindre que la construction de sols à partir de matériaux tourbeux (Dorr *et al.* 2017). L'ouvrage collectif édité suite au projet SITERRE décrit des pratiques de construction de sols basées sur des principes d'économie circulaire (Damas et Coulon 2016).

Figure 3. Des Technosols construits – Support de culture sur le toit potager expérimental d’AgroParisTech (projet de recherche T4P)



© B. Gard.

Préserver et gérer le sol des villes

Les sols urbains sont soumis à de nombreuses pressions (pressions foncières, pollutions, imperméabilisation) qu’il faudrait diminuer drastiquement si nous voulons bâtir et habiter des villes durables, fournissant une large gamme de « services écosystémiques » et favorisant le maintien de la biodiversité. Les modifications de la qualité biologique, physique et chimique de ces sols dues aux activités humaines (telles que l’appauvrissement ou l’excès de fertilité chimique) sont susceptibles de modifier leurs fonctions. Ainsi, les sols urbains ne sont pas qu’un support inerte pour la végétation ou le bâti, ils accueillent une forte biodiversité, produisent de la biomasse végétale (alimentaire ou non) et participent à la régulation du climat, des déchets, de l’eau ou encore des pollutions. C’est pourquoi il semble nécessaire de mettre en place, outre des politiques publiques adéquates, des outils concrets permettant de mieux apprécier leurs qualités. Le chemin peut sembler encore long, puisque 1 % seulement des études scientifiques sur les sols concernent les secteurs urbains (Guilland *et al.* 2018). Cependant, des connaissances et des outils sont d’ores et déjà disponibles pour intégrer cette composante dans la planification urbaine, comme l’outil Destisol¹⁴. S’il convient en premier lieu de limiter la dégradation des sols naturels lors d’aménagements en prenant en compte leurs potentialités, il est donc aussi possible de construire des sols en ville à partir de déchets urbains.

Les sols urbains sont donc une composante essentielle du fonctionnement de la ville pour faire face aux changements globaux.

¹⁴ www.cerema.fr/fr/actualites/projet-recherche-destisol.

Bibliographie

- Arnould, P., Le Lay, Y.-F., Dodane, C. et Méliani, I. 2011. « La nature en ville : l'improbable biodiversité », *Géographie, économie, société*, vol. 13, n° 1, p. 45-68.
- Baize, D. et Girard, M.-C. 2009. *Référentiel pédologique 2008*, Versailles : Quae.
- Béchet, B., Carré, F., Florentin, L., Leyval, C., Montanarella, L., Morel, J.-L. et Raimbault, G. 2009. « Caractéristiques et fonctionnement des sols urbains », in C. Cheverry et C. Gascuel (dir.), *Sous les pavés la terre*, Montreuil : Omniscience, p. 45-74.
- Blanchart, A., Séré, G., Cherel, J., Warot, G., Stas, M., Consales, J. N. et Schwartz, C. 2017. « Contribution des sols à la production de services écosystémiques en milieu urbain – une revue », *Environnement urbain*, vol. 11.
- Damas, O. et Coulon, A. (dir.). 2016. *Créer des sols fertiles : du déchet à la végétalisation urbaine*, Antony : Le Moniteur.
- Dorr, E., Sanyé-Mengual, E., Gabrielle, B., Grard, B. et Aubry, C. 2017. « Proper selection of substrates and crops enhances the sustainability of Paris rooftop garden », *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 37, n° 5.
- Grard, B. 2017. *Des Technosols construits à partir de produits résiduaux urbains : services écosystémiques fournis et évolution*, thèse en sciences de l'environnement, Université Paris Saclay.
- Grard, B., Bel, N., Marchal, N., Madre, N., Castell, J.-F., Cambier, P., Houot, S., Manouchehri, N., Besancon, S., Michel, J.-C., Chenu, C., Frascaria-Lacoste, N. et Aubry, C. 2015. « Recycling urban waste as possible use for rooftop vegetable garden », *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society*, vol. 3, n° 1, p. 21-34.
- Guilland, C., Maron, P. A., Damas, O. et Ranjard, L. 2018. « Biodiversity of urban soils for sustainable cities », *Environmental Chemistry Letters*, vol. 16, p. 1267-1282.
- IUSS Working Group WRB. 2014. *World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, Rome : FAO.
- Joimel, S., Grard, B., Auclerc, A., Hedde, M., Le Doaré, N., Salmon, S. et Chenu, C. 2018. « Are Collembola “flying” onto green roofs? », *Ecological Engineering*, vol. 111, p. 117-124.
- Joimel, S., Cortet, J., Jolivet, C. C., Saby, N. P. A., Chenot, E.-D., Branchu, P., Consalès, J.-N., Lefort, C., Morel, J.-L. et Schwartz, C. 2016. « Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France », *Science of The Total Environment*, vol. 545-546, p. 40-47.
- Joimel, S., Schwartz, C., Hedde, M., Kiyota, S., Krogh, P. H., Nahmani, J., Pérès, G., Vergnes, A. et Cortet, J. 2017. « Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality », *Science of The Total Environment*, vol. 584-585, p. 614-621.
- Lehmann, A. et Stahr, K. 2007. « Nature and significance of anthropogenic urban soils », *Journal of Soils and Sediments*, vol. 7, n° 4, p. 247-260.
- Madre, F., Vergnes, A., Machon, N. et Clergeau, P. 2013. « A comparison of 3 types of green roof as habitats for arthropods », *Ecological Engineering*, vol. 57, p. 109-117.
- McGuire, K. L., Payne, S. G., Palmer, M. I., Gillikin, C. M., Keefe, D., Kim, S. J., Gedallovich, S. M., Discenza, J., Rangamannar, R., Koshner, J. A., Massmann, A. L., Orazi, G., Essene, A., Leff, J. W. et Fierer, N. 2013. « Digging the New York City Skyline: Soil Fungal Communities in Green Roofs and City Parks », *PLOS ONE*, vol. 8, n° 3
- McKinney, M.L. 2008. « Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals », *Urban Ecosystems*, vol. 11, p. 161-176.

- Morel, J.-L., Chenu, C. et Lorenz, K. 2015. « Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs) », *Journal of Soils and Sediments*, vol. 15, p. 1659-1666.
- Morel, J.-L., Schwartz, C. et Florentin, L. 2005. « Urban soils », *Encyclopedia of Soils in the Environment*, vol. 335, p. 202-208.
- Séré, G. 2007. *Fonctionnement et évolution pédogénétique de technosols construits*, thèse en sciences agronomiques, INPL.
- Vidal-Beaudet, L. et Rossignol, J.-P. 2018. « Les sols urbains : artificialisation et gestion », in C. Valentin (dir.), *Les Sols au cœur de la zone critique 5 : Dégradation et réhabilitation*, ISTE Group.

Sophie Joimel est enseignante-chercheuse sur les sols à AgroParisTech (UMR INRAE ECOSYS). Écologue des sols et spécialiste des collemboles (groupe d'invertébrés du sol), elle mène ses recherches sur le fonctionnement des sols et les services rendus en étudiant les relations entre la biodiversité et la qualité physicochimique des sols au sein de différents systèmes cultivés, y compris en milieu urbain.

Baptiste Grard est écologue et actuellement en post-doctorat à AgroParisTech et l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement). Il a réalisé un doctorat en science de l'environnement sur les potagers en toiture. L'objectif de ce travail était d'étudier (i) la recréation de sol en toiture à partir de matériaux issus du milieu urbain et (ii) d'étudier les bénéfices environnementaux pouvant être attendus de ces dispositifs. Il est aujourd'hui impliqué dans deux projets de recherche portant sur les micro-fermes urbaines et les services écosystémiques que celles-ci peuvent apporter.

Docteur en écologie microbienne des sols, **Laure Vieublé Gonod** est maître de conférences à AgroParisTech. Elle participe à la formation d'étudiants ingénieurs et de masters en développant des thématiques, telles que la biodiversité des sols, la remédiation des sites et sols pollués, la gestion et le traitement des déchets, le traitement de l'eau... Au sein de l'UMR Ecosys, elle développe des recherches dans le but de mieux comprendre le fonctionnement des sols en contexte agricole, périurbain et urbain pour pouvoir mieux les préserver et les valoriser.

Claire Chenu est professeur à AgroParisTech, détachée actuellement à INRAE à l'UMR Ecosys. Ses recherches portent sur les matières organiques des sols : leur dynamique, leur contribution aux services écosystémiques et le stockage de carbone dans les sols agricoles.

Pour citer cet article :

Sophie Joimel & Baptiste Grard & Laure Vieublé Gonod & Claire Chenu, « Le fonctionnement écologique des villes : et si on pensait aux sols ? », *Métropolitiques*, 13 mai 2021. URL : <https://metropolitiques.eu/Le-fonctionnement-ecologique-des-villes-et-si-on-pensait-aux-sols.html>.