



HAL
open science

Quelle ressource Sol dans les villes pour quels services et quels aménagements ?

Christophe Schwartz, Geoffroy Séré, Marie Stas, Anne Blanchart, Jean-Louis Morel, Jean-Noël Consalès

► To cite this version:

Christophe Schwartz, Geoffroy Séré, Marie Stas, Anne Blanchart, Jean-Louis Morel, et al.. Quelle ressource Sol dans les villes pour quels services et quels aménagements ?. Innovations Agronomiques, 2015, 45, pp.1-11. 10.15454/1.4622645463078948E12 . hal-01282566

HAL Id: hal-01282566

<https://hal.science/hal-01282566>

Submitted on 3 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Quelle ressource Sol dans les villes pour quels services et quels aménagements ?

Schwartz C.¹, Séré G.¹, Stas M.¹, Blanchart A.^{1,2}, Morel J.-L.¹, Consalès J.-N.²

¹Laboratoire Sols et Environnement, UMR 1120 Université de Lorraine-INRA. 2, avenue de la forêt de Haye - TSA 40602 – F-54518 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

²Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional. 3, avenue Robert Schumann, F-13628 Aix-en-Provence

Correspondance : christophe.schwartz@univ-lorraine.fr

Résumé

Dans les zones urbaines, les sols représentent une ressource méconnue et un enjeu essentiel car ils font l'objet de changements très rapides d'affectation et d'utilisation (e.g. activités urbaines et industrielles, espaces verts, jardinage, maraîchage et agriculture). Le redéploiement urbain sur des sites de friches urbaines et industrielles est une stratégie en plein développement qui permet à la fois de restaurer les milieux et de limiter l'artificialisation des sols agricoles. Une part importante de ces surfaces réhabilitées est amenée à être végétalisée afin d'assurer une gamme de services écosystémiques (approvisionnement en aliment, en végétation ornementale, régulation du climat et des aléas naturels, habitat et biodiversité, composition du paysage) et contribuer de manière décisive à la durabilité des territoires urbains. Dans les villes, le sol-surface (approche foncière) préservé par l'aménageur urbain devrait alors aussi devenir de plus en plus un sol-matière (profil de sol du pédologue) disponible et apte à rendre des services en vue d'une optimisation de l'organisation territoriale. Du point de vue de l'agronomie urbaine, l'état du sol (propriétés physiques, chimiques et biologiques) détermine en effet la capacité et les limites du sol à assurer les services attendus. Cependant, les activités urbaines et industrielles peuvent modifier en profondeur la couverture pédologique et les approches de diagnostic des potentialités agronomiques historiquement développées pour des sols agricoles ne sont pas directement transposables à des sols urbains.

Mots-clés: Sol urbain, Technosol, Fertilité, Contamination, Services écosystémiques, Urbanisme

Abstract: Soil resources in cities: which link with ecosystem services and urban planning?

In urban areas, soils represent a poorly-known resource and a key issue as they experience rapid changes in their allocation and use (e.g. urban and industrial activities, green areas, gardening, horticulture and agriculture). The urban redevelopment on industrial brownfield sites is a developing strategy that makes it possible both to restore environment and to limit use of agricultural soils. An important part of these rehabilitated areas are revegetated to provide a range of ecosystem services (related to food supply, ornamental vegetation, climate regulation, natural hazards regulation, biodiversity, landscape) and contribute to the sustainability of urban areas. In cities, soil defined as a surface (land-based approach) managed by urban planners should then also become increasingly a soil defined by its constitutive materials (soil profile as defined by a soil scientist) available and able to provide services for an optimized planning. From the perspective of urban agriculture, soil characteristics (physical, chemical and biological properties actually determine and limit the ability of the soil to provide the expected services. However, urban and industrial activities can strongly modify soils cover. Fertility assessment methodologies, historically developed for agricultural soils, are not directly relevant to urban soils.

Keywords: Urban soil, Technosol, Fertility, Contamination, Ecosystem services, Urban planning

1. Des sols encore méconnus en territoires urbains

Le sol urbain est l'ensemble du dépôt archéologique situé dans les centres historiques des villes, compris entre la surface actuelle et le toit des niveaux naturels » (d'après Fondrillon, 2007). Cette première définition archéologique définit le sol urbain uniquement par son historique de formation et sa position dans le territoire. Elle peut alors être complétée par une approche pédologique « en milieu urbain, l'interface entre l'atmosphère, la biosphère et la lithosphère capable d'assurer les fonctions essentielles de support de végétation, échange/filtre et support de biodiversité et soumise à des processus d'évolution pédologique » (d'après Séré, 2007).

Jusqu'à ces dernières années, les sols des territoires sous forte influence anthropique ou Technosols (IUSS Working Group, 2014) ne faisaient pas l'objet d'investigations détaillées (De Kimpe et Morel, 2000). Or, depuis le début du XX^{ème} siècle, la population française s'est massivement concentrée dans les villes et leurs périphéries, représentant actuellement plus de 70% de la population totale. Dans les zones urbanisées, les sols représentent donc un enjeu essentiel et font l'objet de changements très rapides d'affectation et d'utilisation (e.g. activités urbaines et industrielles, espaces verts, jardinage, maraîchage et agriculture péri-urbaine).

En réaction à un défaut de connaissances sur le fonctionnement et l'évolution des sols urbains, le projet de Directive Européenne sur la protection des sols (Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, Comité économique et social européen et au Comité des régions, 2006) place le diagnostic et la remédiation des sols dans les priorités. La stratégie européenne a donc pour objectif général de protéger les sols et de garantir durablement leur utilisation en prévenant leur dégradation, en préservant leurs fonctions et en restaurant les sols dégradés. Par exemple, la réhabilitation des friches urbaines et industrielles et la décontamination de leurs sols constituent des priorités qui permettront de restaurer les milieux et de limiter l'emprise de l'urbanisation sur les sols agricoles. De plus, une part importante de ces surfaces dégradées est amenée à être cultivée avec des plantes soit à intérêt de production de biomasse (e.g. énergie, fibres) ou paysager, voire à usage alimentaire (e.g. potagers ou zones maraîchères) (service écosystémique d'approvisionnement) (Schwartz et al., 2013). Dans ces situations, les interactions sol-eau-plantes constituent un facteur déterminant du fonctionnement et de l'évolution de ces milieux et du devenir des matériaux technogéniques et des éléments fertiles et/ou polluants qu'ils contiennent potentiellement. La présence de sols et de végétation en ville sera également à la fois dépendante des évolutions climatiques et un facteur de contrôle du climat (service écosystémique de régulation).

2. Les sols urbains du point de vue de la pédologie et de l'agronomie urbaines

Dans une approche pédologique, la nature du sol est caractérisée par ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les interrelations entre ces différentes propriétés déterminent la capacité et les limites du sol pour assurer la fonction de support de biomasse, de filtre et d'échange, et, conditionnent plus globalement l'utilisation des terres. Les activités urbaines et industrielles peuvent entraîner des modifications de ces propriétés, et par là même, perturber l'équilibre dynamique des sols. En effet, les activités humaines produisent des déchets et sous-produits susceptibles de porter atteinte à la qualité et à l'innocuité des sols (El Khalil et al., 2008, 2012 ; Nehls et al., 2013). Dans les années 70, l'étude de l'impact de ces différents modes d'exploitation sur la contamination des sols a initié des travaux de plus en plus nombreux sur les sols urbains. Ceux-ci sont caractérisés par une très grande fréquence de changements d'usage, ce qui les rend d'autant plus hétérogènes et difficiles à étudier. Le terme de sols urbains regroupe ainsi des sols modifiés de zones urbaines, industrielles ou artisanales, dans les écosystèmes de villages et de villes. Ils sont classés parmi les sols anthropiques ou Anthrosoles (Rossignol et al., 2008 ; Schwartz, 2009) et sont le siège d'une large gamme d'activités différentes telles que le trafic routier, le commerce, l'industrie, les sites de dépôt, le logement ou encore

les parcs. Les sols urbains sont influencés plus ou moins intensivement par les activités humaines (Morel et Schwartz, 1999 ; Béchet et al., 2009). Ils incluent des sols composés de mélanges de matériaux, différents de ceux présents dans les secteurs forestiers ou agricoles voisins. De plus, les sols urbains présentent des horizons de surface souvent massifs, fortement modifiés par l'Homme via des mélanges, de l'importation et/ou de l'exportation de matériaux technogéniques potentiellement contaminés. Ils sont aussi composés de sols d'espaces verts et de jardins qui sont plus proches morphologiquement et fonctionnellement des sols agricoles tout en ayant une gestion, une composition et un usage différent de ceux-ci (Schwartz, 2009). Il en résulte globalement que les approches de diagnostic des potentialités agronomiques historiquement développées pour des sols agricoles ne sont pas directement transposables à des sols urbains.

2.1 Genèse des sols urbains

La principale caractéristique des sols des milieux urbains est de présenter une forte hétérogénéité spatiale à la fois verticale et horizontale de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques (Craul, 1992 ; Morel et al., 2005 ; Béchet et al., 2009). Cette forte variabilité s'explique par le fait que les sols urbains remplissent des fonctions très variées comme le support de bâtiments (e.g. d'habitation, commerciaux, industriels), le support d'infrastructures (e.g. routières, ferroviaires), le support d'installations de loisirs (e.g. sportives, récréatives) ou encore la production de biomasse (e.g. jardins potagers, parcs) sur une zone restreinte, la ville. Ces nombreuses fonctions se traduisent sur le sol par l'influence de différents facteurs d'anthropisation qui modifient profondément l'état initial du sol par mélange, incorporation et exportation de matériaux terreux et techniques, par tassement et par scellement partiel ou total. L'incorporation de matériaux d'origine anthropique (e.g. industrie, génie civil) ainsi que le support ou la proximité d'activités humaines polluantes, entraînent une pollution fréquente de ces sols (Béchet et al., 2009) à la fois dans leurs fractions grossières et fines (El Khalil et al., 2008).

2.2 Age des sols urbains

L'âge des sols fortement anthropisés est souvent inférieur ou égal à la centaine d'années. Les sols urbains sont donc globalement jeunes (Morel et al., 2005) par rapport aux sols naturels qui présentent parfois plusieurs milliers d'années d'évolution. Toutefois, certains sols de villes historiques peuvent être plus anciens comme par exemple les sols pluriséculaires des jardins de Generalife du Patio de la Acequia de la ville de Grenade en Espagne (Delgado et al., 2007). De manière générale, lorsqu'ils ne sont pas scellés, les sols urbains se caractérisent par une cinétique d'évolution rapide qui s'explique par un déséquilibre avec leur environnement (Séré et al., 2010). Ceci implique que leurs propriétés physico-chimiques sont susceptibles d'évoluer rapidement.

2.3 Caractéristiques et spécificités

2.3.1 Paramètres physiques

Les valeurs de densité apparente rencontrées dans les sols fortement anthropisés sont extrêmes (moins de 0,5 jusqu'à plus de 2) (Morel et al., 2005 ; Lorenz et Kandeler, 2005). Il n'est pas rare de rencontrer des zones de scellement (béton, matériaux compactés) en surface ou en profondeur de profils de sols urbains (Baumgartl, 1998 ; Schleuß et al., 1998). La structure de ces sols est ainsi fréquemment dégradée d'un point de vue pédologique. Les structures massives ou au contraire particulières dominent et plus globalement ces sols présentent un déficit d'agrégation marqué (Baumgartl, 1998). Ils se caractérisent également par une forte hétérogénéité de constitution, aussi bien verticale qu'horizontale, qui est associée à la présence très fréquente d'éléments grossiers généralement d'origine technique et de natures variées (Baumgartl, 1998). Globalement, l'étude de la texture de ces sols montre qu'ils présentent à la fois des teneurs faibles en argiles et fortes en sable, par comparaison avec les sols naturels. Dans les cas extrêmes, les sites urbains peuvent présenter une absence de sol, d'un point de vue pédologique ou biologique, lorsque le substrat géologique a été mis à nu par exemple. Toutes ces caractéristiques entraînent souvent de fortes perturbations du cycle de

l'eau. En effet, sur des sols scellés, le taux de ruissellement est extrêmement élevé au détriment de l'infiltration. Sur les sols non imperméabilisés, mais néanmoins modifiés par l'Homme, le déficit de structure et l'hétérogénéité structurale peuvent mener à deux extrêmes : i) une grande porosité et un réseau de macropores bien établi, avec comme conséquences une forte conductivité hydraulique et une capacité de rétention en eau faible ou ii) un volume poreux réduit et une absence de continuité entre les macropores menant à l'hydromorphie (Evans et al., 1986) ou au ruissellement sur des sols en pente.

Enfin, les propriétés précédemment décrites conditionnent à leur tour le régime des températures et de l'albédo des sols urbains. En effet, l'absence de végétation, les irrégularités de surface, la présence éventuelle de scellement ont pour conséquence de modifier fortement les flux d'énergie de surface, souvent dans le sens d'une augmentation (Farouki, 1986). De plus, ces paramètres peuvent être influencés significativement par la couleur des horizons de surface anthropiques. En effet, ils se caractérisent non seulement par une gamme de couleurs plus étendue, mais également par des couleurs plus contrastées que les sols naturels. Les couleurs sombres de certains matériaux technogéniques peuvent alors par exemple influencer le réchauffement de terres de surface et ainsi modifier l'intensité de l'activité biologique.

2.3.2 Paramètres chimiques

Les sols urbains, à l'exclusion des sols de parcs et des jardins potagers présentent très fréquemment un déficit en éléments minéraux nutritifs majeurs, à savoir azote (N), phosphore (P) et potassium (K) (Bradshaw, 1983 ; Vetterlein et Hüttil, 1999). Ce phénomène est de plus exacerbé par de faibles teneurs en argiles et en matières organiques. Les déficits en autres éléments nutritifs sont moins fréquents, mais dépendent à la fois de la teneur en matières organiques et de la capacité d'échange cationique (CEC) qui reflètent le potentiel d'un sol à fixer et échanger les cations avec la solution du sol (Bradshaw, 1983). Par opposition, les sols de jardins présentent globalement des teneurs très élevées aussi bien en matières organiques qu'en nutriments et constituent des milieux eutrophes (c'est-à-dire riches en nutriments et en prolifération de végétaux et bactéries), suite à des pratiques culturales intensives. Une très large majorité des sols urbains présentent des pH nettement alcalins (Morel et al., 2005) qui conduisent en particulier à la précipitation du P qui n'est alors plus assimilable par les plantes.

2.3.3 Niveaux de pollution

Les pollutions en milieu urbain sont majoritairement diffuses, tout en pouvant ponctuellement être concentrées. Dans le premier cas, elles résultent principalement de retombées atmosphériques (e.g. trafic routier, fumées d'usines) (Darmendrail, 1998). Les pollutions ponctuelles sont essentiellement associées aux activités industrielles, au stockage de produits (en particulier d'hydrocarbures) et éventuellement au dépôt accidentel de produits dangereux. Les polluants sont soit dégradables, soit partiellement dégradables, soit non dégradables (métaux lourds) (El Khalil et al., 2013). Parmi les dégradables, il peut s'agir de matières organiques ou de nutriments en excès. Cependant, on retrouve d'autres types de polluants organiques, plus difficilement décomposables, comme les hydrocarbures, les pesticides, les solvants chlorés et autres solvants aromatiques.

2.3.4 Paramètres biologiques

L'abondance et la diversité aussi bien floristique que faunistique des sols urbains dépendent fortement de l'usage des sols. Ainsi, une diversité biologique plus forte est généralement observée sur les sols de jardins (Joimel, 2015) que sur les pelouses ou les pieds d'arbres. Celle-ci est évidemment encore plus faible sur les sols imperméabilisés.

3. Fonctions et services écosystémiques particuliers du milieu urbain

L'objectif est ici d'analyser l'évolution de la prise en compte du concept de service écosystémique au cours des dernières décennies dans la littérature scientifique, avec un accent sur les environnements urbains et les sols urbains. Alors que les services écosystémiques ont, à l'origine, essentiellement été discutés pour les milieux forestiers et agricoles, Bolund et Hunhammar proposent pour la première fois en 1999 une application au milieu urbain. Par rapport aux classifications précédemment établies, une adaptation est alors nécessaire. Effectivement, les études sur zones urbaines citent parfois des services écosystémiques absents des listes de de Groot (2002) ou du Millennium Ecosystem Assessment (2005). Par exemple, Bolund et Hunhammar (1999) et Gómez-Baggethun et Barton (2013) tiennent compte de la réduction des nuisances sonores et du drainage de l'eau. Ces services sont également cités par Dobbs et al. (2011), qui y ajoutent encore « filtration des particules de poussière » et « productivité » (comprenant l'apport de biomasse sous forme d'arbres) (MEA, 2005). L'apport énergétique est proposé comme service de support et le stockage de carbone comme service de régulation par Lauf et al. (2014). Gómez-Baggethun et Barton (2013) argumentent qu'à chaque type d'habitat correspond une liste de services. Il conviendrait alors d'adapter les classifications aux différents écosystèmes.

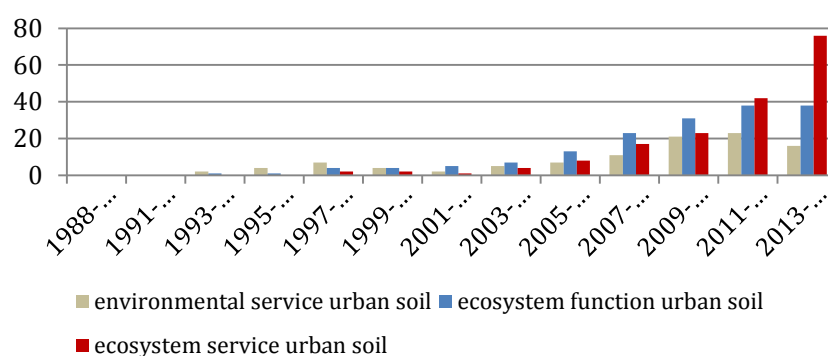


Figure 1 : Evolution au cours du temps du nombre de publications parues dans Web of Science, contenant les termes «environmental service urban soil», «ecosystem function urban soil» et «ecosystem service urban soil»

La tendance évolutive observée pour l'association des termes « service écosystémique » ou de « fonction de l'écosystème » avec « sol urbain » est très semblable à celle observée pour les termes « service écosystémique » et « fonction de l'écosystème » analysés seuls (Figure 1) : dans les années 2000, l'approche systémique induit une croissance du nombre de publications associées aux fonctions de l'écosystème, surtout en milieu forestier (Figure 2). Avant cela, les études relatives au milieu urbain sont associées en plus grand nombre aux services environnementaux (Figure 1), ce qui peut s'expliquer par le fait que les approches de cette époque sur ce milieu sont surtout économiques. Cependant, à la fin des années 2000, le terme « service écosystémique » associé à « sol urbain » prend très vite le dessus sur ses concepts voisins « fonction de l'écosystème » et « service environnemental ». La qualité d'aménagement des villes est alors une préoccupation en plein essor, comme en Chine par exemple, autour de 2008 selon le travail de Selmi et al. (2013). Le nombre de publications citant « service écosystémique » augmente rapidement jusqu'en 2014, tandis que la croissance est moins forte depuis 2012 avec les mots « fonction de l'écosystème » ou « service environnemental ». Cela illustre le changement d'orientation des études scientifiques sur les zones urbaines, allant des fonctions de l'écosystème vers les services écosystémiques.

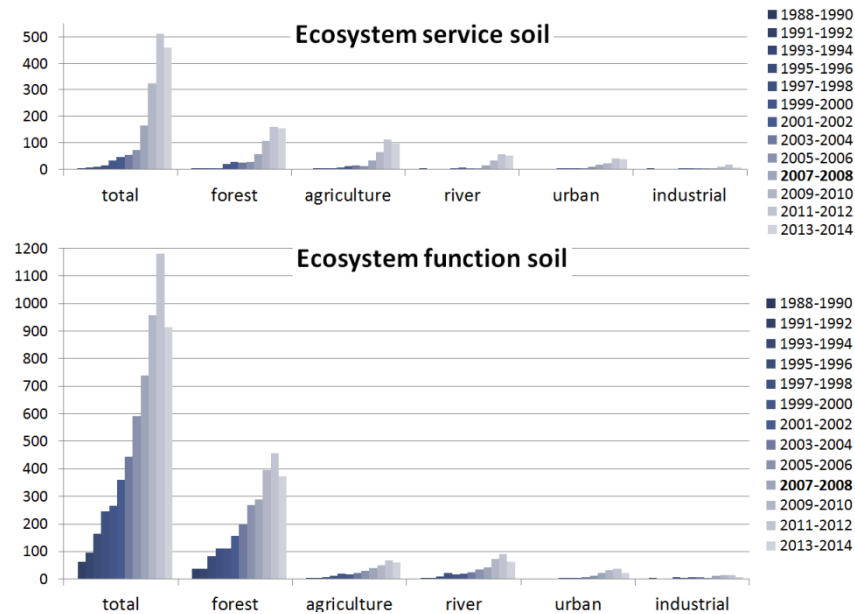


Figure 2 : Evolution au cours du temps du nombre de publications dans Web of Science citant les termes «ecosystem service» et «soil», triés par association avec les mots «forest», «agriculture», «river», «urban», «industrial» et évolution au cours du temps du nombre de publications dans Web of Science citant les termes «ecosystem function» et «soil», triés par association avec les mots «forest», «agriculture», «river», «urban», «industrial»

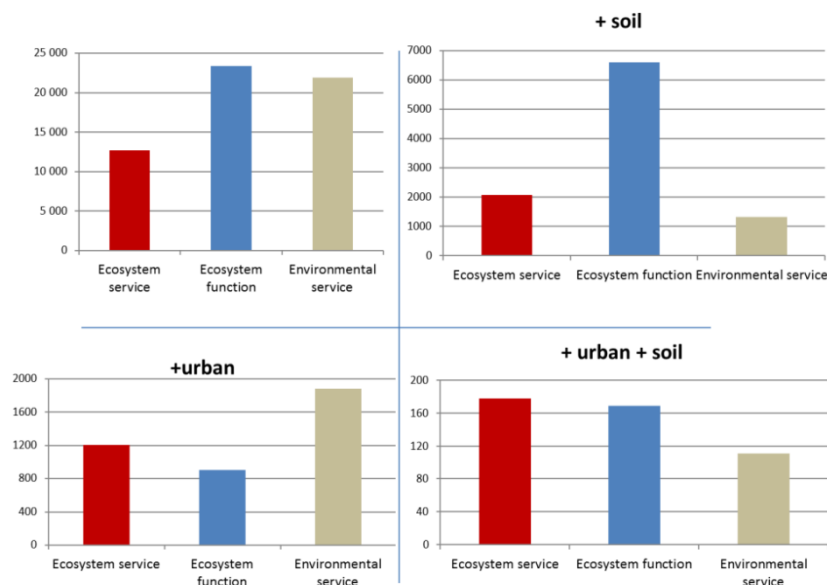


Figure 3 : Nombre de publications dans Web of Science contenant les termes «ecosystem service», «ecosystem function», «environmental service» et «soil» et «urban» en janvier 2015

Les résultats de la bibliométrie montrent que les mots « fonction écosystémique » sont plus souvent liés au mot « sol », tandis que les mots « services environnementaux » sont plus souvent liés au mot « urbain » (Figure 3). Ceci suggère que les études relatives au sol sont souvent orientées vers l'aspect fonctionnalité hors contexte urbain et que celles qui impliquent les services écosystémiques en milieu urbain sont souvent menées par une vision économique. Elles sont réalisées dans le cadre de disciplines environnementales et écologiques la plupart du temps, mais aussi dans des approches d'urbanisme, de climatologie ou encore de sciences humaines telles que la géographie ou l'économie (Figure 4).

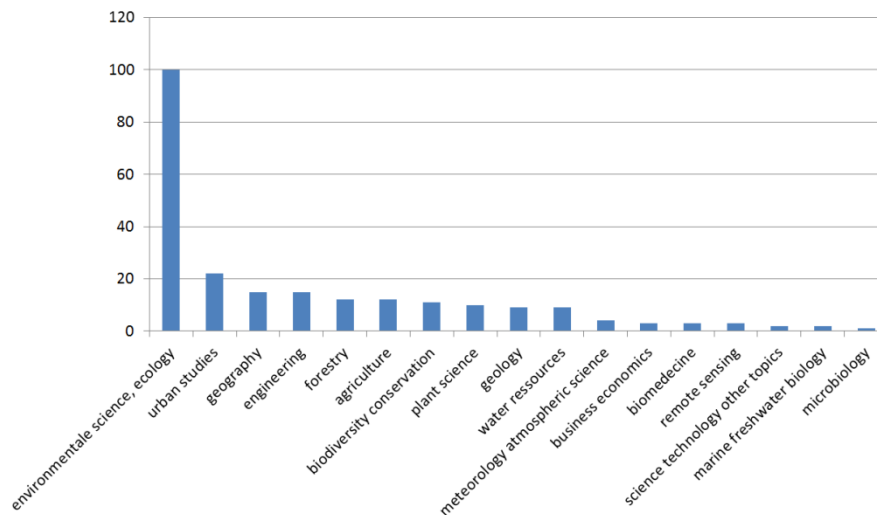


Figure 4 : Nombre de publications dans Web of Science contenant «ecosystem service, urban et soil» énumérées par discipline

Les écosystèmes urbains sont popularisés depuis la publication du TEEB (2011). Ce manuel dans lequel sont décrits et classifiés les services écosystémiques du milieu urbain constitue une référence à la suite du MEA (2005). Malgré l'intérêt croissant constaté pour les services écosystémiques rendus par le milieu urbain et pour l'aménagement durable des sols, la préoccupation est encore récente et il existe aujourd'hui très peu de publications traitant des services écosystémiques et de sols urbains (Haase et al., 2014). En effet, parmi les documents citant les services écosystémiques dans le Web of Science, moins de 20 % citent le sol, moins de 10% citent le milieu urbain et moins de 1% citent à la fois le sol et le milieu urbain. Ce 1 % représente un peu plus de 150 documents provenant du monde entier. Un grand nombre d'entre eux peut être associé au couvert forestier (38 %). Quelques-uns citent d'autres espaces urbains tels que les espaces verts (13 %), les bâtiments (10 %), les rivières (10%), les espaces industriels (9 %), les jardins (9 %) ou les voies de circulation (3 %) (Figure 5).

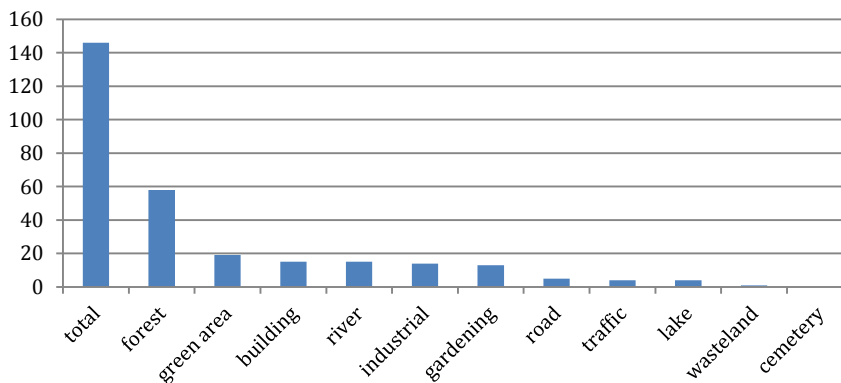


Figure 5 : Nombre de publications dans Web of Science contenant les termes «ecosystem service urban soil» et un mot clé représentatif d'un milieu parmi la liste suivante : «forest», «green area», «building», «river», «industrial», «gardening», «road», «traffic», «lake», «wasteland» ou «cemetery»

La diversité des occupations du sol urbain est peu prise en compte. Les études traitant des services écosystémiques en milieu urbain sont publiées en plus grand nombre aux Etats-Unis (40 %), puis en Chine (14 %) et au Royaume-Uni (9 %) (Selmi et al., 2013). Les publications françaises représentent moins de 0,04 % de la littérature, selon l'analyse du moteur de recherche Web of Science (2015). Cependant, il existe, en France, des travaux et programmes d'études (notamment les projets GESSOL et les études du CGDD) dont les rapports disponibles ne sont pas répertoriés dans Web of Science.

4. Les sols urbains du point de vue de l'urbanisme

Dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire, force est de constater que les considérations à l'égard des sols urbains restent encore largement cantonnées à des rapports de surface. Hormis dans le cadre d'opérations d'urbanisme souterrain qui, par nécessité, tendent à considérer la profondeur (Barles et Guillaume, 1995), l'essentiel de la planification et de l'urbanisme français continue à penser les sols urbains en deux dimensions, sans épaisseur. Ainsi, dans leur dimension foncière, ils sont surtout régis par un droit qui réglemente leurs affectations (Lambert-Habib, 2006). Les pièces graphiques de zonage des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) restent, à ce titre, les pièces maîtresses de l'urbanisme actuel. Néanmoins, les évolutions récentes du droit de l'urbanisme et de l'environnement modifient quelque peu les considérations à l'égard des sols urbains, et ce, pour deux raisons principales (Robert, 2012) :

- **Les risques sanitaires liés aux pollutions potentielles.** A ce titre, il est important de noter que la Loi ALUR de 2014 renforce le dispositif législatif concernant les sols pollués. Ainsi, dans le cadre de l'élaboration des Plans Locaux d'Urbanisme Intercommunaux, l'Etat établit des zones de vigilance dans lesquelles un changement d'usage du sol nécessite la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution. Ces zones sont définies après avis de la commune ou de la communauté compétente et annexées au PLU. Une étude des sols doit également être réalisée par les porteurs de projets soumis à permis de construire ou d'aménager dans ces zones (loi n° 2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové (art. 173).
- **La lutte contre l'érosion de la biodiversité.** Les lois dites « Grenelle de l'environnement » de 2010 instillent de forts objectifs écologiques au sein des documents de planification et d'urbanisme locaux. La Trame Verte et Bleue devient, à ce titre, le symbole spatial de ces nouvelles ambitions (Blanc et al, 2012). Elle doit maintenir ou restaurer des continuités écologiques (...) sur tous les territoires, y compris les plus urbains. Or, avec le temps, cet outil d'aménagement en faveur de la biodiversité (Allag-Dhuisme et al., 2010) tend à ne plus être considéré dans sa seule dimension de surface mais commence à être interrogée en épaisseur. Par cette approche écologique des territoires, les sols sont de plus en plus perçus comme des supports de biodiversité pouvant rendre des services écosystémiques (Millenium Ecosystem Assessment. 2005 ; Morel et al., 2014 ; Walter et al., 2015), notamment en ville (Clergeau et Blanc, 2013).

De fait, la multifonctionnalité des sols urbains tend progressivement à être reconnue par la Loi. L'appropriation de ce cadre juridique en mutation par les acteurs de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire reste néanmoins méconnue. Le sol-surface (approche foncière) préservé par l'aménageur urbain sera alors un sol-matière (profil de sol du pédologue) disponible et apte à rendre des services.

Conclusion

Les services écosystémiques ont fait l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche qui ont permis de les lister et de les organiser en classes. Des débats existent encore dans les communautés qui utilisent ces notions, mais il ressort qu'une partie du choix des services à considérer dépend du questionnement scientifique de l'étude et des enjeux qu'identifient les acteurs en responsabilités (aménageurs, collectivités, urbanistes). Au même titre que d'autres écosystèmes, l'environnement urbain assure de nombreuses fonctions qui permettent l'accomplissement des services écosystémiques. Il apparaît en particulier que les sols urbains, qui sont une composante centrale de ces écosystèmes, sont assez peu étudiés dans leur contribution à ces services. Lorsque c'est le cas, les services concernés sont généralement peu diversifiés. Beaucoup de services rendus à l'aide des sols urbains sont donc mal connus. Ainsi, plusieurs questions scientifiques émergent. La première

pourrait être : « quelle est la liste exhaustive de services écosystémiques qui permet d'étudier le fonctionnement complet de l'écosystème urbain, y compris le compartiment sol ? ». De ce questionnement en découlent de nombreux autres, relatifs au fonctionnement complexe de l'écosystème urbain et aux approches à mettre en œuvre pour l'étudier et le gérer efficacement. Dans un premier temps, il est donc indispensable de dresser une liste de services écosystémiques pertinents au regard des enjeux spécifiques de l'espace urbain et à celui des fonctions du sol. Ces enjeux se traduisent dans la conception de projets d'aménagement qui concilient notamment volonté politique, renouvellement urbain sur des terrains ayant connu des successions d'usages, intégration des objectifs réglementaires en termes de trames verte et bleue et bien-être social dans des environnements densément peuplés. Pour construire cette liste de services, il apparaît ainsi pertinent de croiser l'approche écosystémique, en tenant compte du compartiment sol, avec celle de la culture et des attentes en matière d'urbanisme et d'aménagement. Dans un second temps, il semble indispensable d'engager un travail exhaustif de recensement des fonctions assurées par le maillon essentiel des écosystèmes urbains qu'est le sol. Il s'agira alors de mettre en évidence les éventuelles spécificités des sols urbains et surtout d'identifier les liens entre les fonctions propres du sol, les fonctions de l'écosystème et les services écosystémiques. Malgré les travaux sur ce sujet, il semble qu'il n'existe pas de référentiel exhaustif et adapté aux objectifs de relier les indicateurs de qualité des sols urbains aux fonctions de ces sols et des écosystèmes urbains. Pour répondre à ce questionnement, une double approche de recensement des indicateurs existants puis de test en conditions réelles sur des sites existants semble alors adaptée.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Ademe pour son soutien dans le cadre du programme de recherche Destisol - Mise au point d'une méthodologie améliorant la prise en compte des potentialités des sols dans la définition de programme d'urbanisation (coordination SCE). Toute notre gratitude va également à l'Ademe et à la Région Lorraine pour le co-financement de la Thèse de Doctorat d'Anne Blanchart.

Références bibliographiques

- Allag-Dhuisme F., Amsallem J., Barthod C., Deshayes M., Graffin V., Lefeuvre C., Salles E., Barnetche C., Brouard-Masson J., Delaunay A., Garnier C.C., Trouvilliez J., 2010. Choix stratégiques de nature à contribuer à la préservation et à la remise en bon état discontinuités écologiques – premier document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France, Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue, Paris, édition du MEEDDM
- Barles S., Guillerme A., 1995. L'urbanisme souterrain, PUF, collection Que-sais-je ?, 128 p.
- Baumgartl Th., 1998. Physical soil properties in specific fields of application especially in anthropogenic soils. *Soil & Tillage Research* 47, 51-59.
- Béchet B., Carré F., Florentin L., Leyval C., Montanarella L., Morel J.L., Raimbault G., Rodriguez F., Rossignol J.P., Schwartz C., 2009. Caractéristiques et fonctionnement des sols urbains. In : Cheverry C. et Gascuel C. (Eds.), *Sous les pavés la terre*, Omniscience, Montreuil, 45-74.
- Blanc N., Glatron S., Schmitt G., 2012. Trames Vertes Urbaines. *Développement Durable et Territoires* 3, 2
- Bolund P., Hunhammar S., 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29, 293-301.
- Clergeau P., Blanc N., 2013. Trames vertes urbaines - De la recherche scientifique au projet urbain. Editions le Moniteur, 339 p.
- Craul P.J., 1992. *Urban soil in landscape design*. John Wiley & Sons
- Darmendrail D., 1998. Typologie des sites pollués. *Géologues* 128, 12-14.

- De Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393-408.
- De Kimpe C.R., Morel J.L., 2000. Urban soil management: A growing concern. *Soil Science* 165 (1), 31-40.
- Dobbs C., Escobedo F.J., Zipperer W., 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning* 99, 196-206.
- Delgado R., Martin-Garcia J.M., Calero J., Casares-Porcel M., Tito-Rojo J., Delgado G., 2007. The historic man-made soils of the Generalife garden (La Alhambra, Granada, Spain). *European Journal of Soil Science* 58, 215-228.
- El Khalil H., Schwartz C., El Hamiani O., Kubiniok J., Morel J.L., Boularbah A., 2013. Distribution of major elements and trace metals as indicators of technosolisation of urban and suburban soils. *Journal of Soils and Sediments* 13 (3), 519 - 530.
- El Khalil H., Schwartz C., El Hamiani O., Kubiniok J., Morel J.L., Boularbah A., 2008. Contribution of technic materials to the mobile fraction of metals in urban soils in Marrakech (Morocco). *Journal of Soils and Sediments* 8 (1), 17-22.
- Evans E.J., Leitch M.H., Fairley R.I., King J.A., 1986. Comparative studies on the growth of winter wheat on restored opencast and undisturbed land. *Reclamation and Revegetation Research* 4, 223-243.
- Farouki O.T., 1986. Thermal properties of soils. *Trans Tech Publications* 11, 136 p.
- Fondrillon M., 2007. La formation du sol urbain : étude archéologique des terres noires à Tours (4e-12e siècle). Thèse de doctorat, 539 p.
- Gomez-Baggethun E., Barton D.N., 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics* 86, 235-245.
- Haase D., Larondelle N., Andersson E., Artmann M., Borgström S., Breuste J., Gomez-Baggethun E., Gren A., Hamstead Z., Hansen R., Kabisch N., Kremer P., Langemeyer J., Lorange Rall E., McPhearson T., Pauleit S., Qureshi S., Schwarz N., Voigt A., Wurster D., Elmqvist T., 2014. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *Ambio* 43, 413-433.
- IUSS Working Group, 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports* No. 106. FAO, Rome
- Joimel S., 2015. Biodiversité et caractéristiques physicochimiques des sols de jardins associatifs urbains français. Thèse de Doctorat de l'Université de Lorraine, 293 p.
- Lambert-Habib M.L., 2006. Le nouveau droit des sols pollués. *Revue de France nature environnement*, 4-5.
- Lauf S., Haase D., Kleinschmit B., 2014. Linkages between ecosystem services provisioning, urban growth and shrinkage - A modelling approach assessing ecosystem service trade-offs. *Ecological indicators* 42, 73-94.
- Lorenz K., Kandeler E., 2005. Biochemical characterization of urban soil profiles from Stuttgart, Germany. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 1373-1385.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C
- Morel J.L., Schwartz C, 1999. Qualité et gestion des sols de jardins familiaux. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture* 85, 2, 103-114
- Morel J.L., Schwartz C., Florentin L., de Kimpe C., 2005. Urban soils. In: D. Hillel (ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier Ltd., Academic Press, London, pp. 202-208.
- Morel J.L., Chenu C., Lorenz K., 2015. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of Soils and Sediments* 15, 1659-1666.
- Nehls T., Rokia S., Mekiffer B., Schwartz C., Wessolek G., 2013. Contribution of bricks to urban soil properties. *Journal of Soils and Sediments* 13 (3), 575 - 584.

- Robert S., 2012. Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine – application du bassin minier de Provence, rapport final programme Gessol, 99 p.
- Rossignol J.P., Baize D., Schwartz C., Florentin L., 2008. Anthrosols. In : Baize D. et Girard M.C. (Eds.), Référentiel pédologique français, Quae Edition, Versailles, pp. 88-98
- Schwartz C. et al. (coord.), Jardins potagers : terres inconnues ? Éditions EDP Sciences, 2013, 174 p.
- Schwartz C., 2009. Sols urbains et péri-urbains. In Le Sol, Bruckler L., Balesdent J., Stengel P. Eds, Editions Quae, pp. 142-145. ISBN 978-2-7592-0301-7
- Schleuss U., Wu Q., Blume H-P, 1998. Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany. *Catena* 33, 255-270.
- Selmi W., Weber C., Mehdi L., 2013. Multifonctionnalité des espaces végétalisés urbains. *Vertigo* 13, 2, DOI : 10.4000/vertigo.14133
- Séré G., 2007. Fonctionnement et évolution pédogénétique de Technosols issus d'un procédé de construction de sol. Mémoire de Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, 227 p.
- Séré G., Schwartz C., Ouvrard S., Renat J.C., Watteau F., Villemin G., Morel J.L., 2010. Early pedogenic evolution of constructed Technosols. *Journal of Soils and Sediments* 10, 1246-1254.
- TEEB (2011), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Edited by Patrick ten Brink. Earthscan, London and Washington
- Vetterlein D., Hüttl R.F., 1999. Can applied organic matter fulfil similar functions as soil organic matter? Risk-benefit analysis for organic matter application as a potential strategy for rehabilitation of disturbed ecosystems. *Plant and Soil* 213, 1-10.
- Walter C., Bispo A., Chenu C., Langlais-Hesse A., Schwartz C., 2015. Les services écosystémiques des sols : du concept à sa valorisation. *Cahier Demeter* 15, 73-90.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)