

L'imperméabilisation de sols dans le cadre de l'aménagement urbain: Dans quelles mesures l'imperméabilisation constitue une source de menaces impactant le fonctionnement naturel des sols?

Kaymak G., Louis H., Massé B., Miremont B.

1. Introduction : définition de la menace exercée sur le sol

Le sol constitue le support sur lequel repose toutes les activités économiques humaines ainsi que la plateforme qui fournit et assure de nombreux services écosystémiques (Torre, Morano, Tajani, 2017).

On peut notamment citer les rôles joués par le sol en terme d'épuration et d'infiltration des eaux dont l'importance est primordiale puisqu'ils assurent la protection sanitaire des personnes, la prévention des inondations et la protection de l'environnement (Bispo et al., 2016).

Cependant, on assiste de plus en plus souvent à une dégradation des sols qui est définie selon l'IPBES (plateforme intergouvernementale pour la biodiversité et les services écosystémiques) comme "un déclin à long terme de la fonction de la biodiversité ou des écosystèmes ou une perte de services écosystémiques dont les terres et les sols ne peuvent se remettre sans aide".

Cette dégradation est due à divers facteurs et, notamment, parmi les huit menaces les plus encourues par les sols, leur imperméabilisation due à l'urbanisation est un phénomène de plus en plus fréquent.

L'imperméabilisation du sol est définie par Oliveira, Tobias et Hersperger (2018) comme le processus qui consiste à recouvrir le sol d'immeubles, de constructions, d'infrastructures de transport et de couches de matériaux artificiels et imperméables. Ce processus est le plus

efficace en terme de dégradation des terres. En effet, selon le rapport de l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA 2006), l'urbanisation représente la cause majeure de la "consommation" des sols et des paysages ainsi que de la perte de biodiversité et de bio perméabilité (Barattucci, 2014). Ce grignotage se fait aux dépens de la qualité des sols puisque ce critère touche en premier lieu les sols ayant les meilleures potentialités (Commissariat général au développement durable, 2011).

D'autre part, l'imperméabilisation et la compaction qui en résultent (Li et al., 2015), empêchent le sol d'effectuer ses fonctions naturelles telles que la production de biomasse, son rôle de réservoir de matière organique, le stockage d'eau ainsi que sa filtration. Par conséquent, l'étalement urbain est la source de nombreuses autres menaces pour le sol et l'environnement. En effet, cela augmente les risques d'érosion des sols et les risques d'inondation, participe à un déstockage du carbone rapide contribuant au réchauffement climatique du fait, notamment, du retrait de la partie superficielle du sol. (Commissariat général au développement durable, 2011).

La menace que constitue l'imperméabilisation pour le sol semble donc engendrer une quantité importante de risques pour l'Homme en termes de services écosystémiques. Cependant nous allons focaliser nos propos au niveau des menaces encourues par le sol (tableau 1), en matière d'impacts sur la diffusion des gaz, sur les écosystèmes, sur les transferts d'énergie, ainsi que sur les mouvements de l'eau.

Tableau 1 : Composants affectés, effets, calendrier et conséquences de l'imperméabilisation des sols. Les symboles indiquent: à court terme (■); à moyen terme (■ ■); et les effets à long terme (■ ■ ■) (Scalenghe, Ajmone Marsan, 2009).

| | Effect | Time | Consequence |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Heat | Decreased radiation absorption | ■ | More reflective surfaces |
| | | ■ ■ | Heat island (HUI) |
| Water | Less infiltration | ■ ■ | Reduced chemical reactivity |
| | | ■ ■ ■ | Less filtering action |
| | | ■ ■ | Cracking |
| | | ■ | Loss of biomass |
| | | ■ ■ ■ | Diminishes the natural recharge of aquifers |
| | More runoff | ■ | Increased water through adjacent areas |
| | | ■ ■ | Increased ponding time |
| | | ■ ■ | Probability of anaerobiosis |
| | | ■ | Transfer of contaminants |
| | | ■ ■ ■ | Increased risk of flash-floods |
| Barrier for perched water table | ■ | Increased risk of anaerobiosis | |
| | ■ ■ | Release of contaminants | |
| Gas | Reduced/interrupted exchanges | ■ ■ ■ | Risk of anaerobiosis |
| | | ■ | Partial trapping |
| Biota | Loss of plant cover/biomass | ■ ■ | Reduced biodiversity |
| | | ■ ■ ■ | Reduced carbon sink |
| | HUI | ■ ■ | Thermal specialization |
| Landscape | Increased wind erosion | ■ ■ | Increased air-borne particulate |
| | Increased water erosion | ■ ■ | Increased erosion of adjacent areas |
| | Uniformity | ■ ■ ■ ■ | Reduced aesthetic appeal Reduced visual appearance Reduced attractiveness |

2. Expliciter les processus : conséquences

Le sol est un élément complexe dont le bon fonctionnement dépend d'un certain nombre de caractéristiques telles que sa texture, sa granulométrie, sa structure, sa porosité et sa capacité de rétention de l'eau.

L'imperméabilisation empêche le sol de réaliser ses fonctions naturelles que sont sa fonction d'habitat pour les organismes et

les écosystèmes, sa fonction de régulation des cycles de matières et d'énergie et sa fonction de production de biomasse (Office fédéral de l'environnement). Ces fonctions sont intimement liées aux quatre paramètres (gaz, biodiversité, énergie, eau) que nous avons choisi d'étudier, paramètres eux-mêmes liés par des relations interdépendantes.

2.1. Impacts sur les transferts de gaz

Les gaz contenus dans le sol (inorganiques, vapeurs, organiques volatils) sont tous les produits du métabolisme du sol et participent à la régulation et au transfert de signaux dans le sol (Smagin, 2006).

Leur consommation et leur génération sont contrôlées par l'activité biologique du sol et par des processus physico-chimique abiotiques. D'autre part, la solubilité des gaz dépend de la composition de la phase liquide du sol et de paramètres tels que la température et le pH (Smagin, 2006).

Par ailleurs, le sol joue un rôle dans la régulation de la composition de l'air atmosphérique via le processus d'émission (flux de gaz du sol vers l'atmosphère). En effet, il permet par convection naturelle le mouvement descendant de l'air enrichi et le mouvement ascendant de l'air appauvri. Ces transferts permettent donc une régénération de l'état de l'air du sol qui influence fortement sa fertilité et sa productivité (Smagin, 2006).

De fait, la stérilisation du sol résulte en une diminution des échanges de gaz par le milieu. Cette observation est appuyée par la figure 1 qui, grâce au suivi du ^{222}Rn (traceur naturel), permet de constater que les gaz se retrouvent piégés dans les premiers centimètres du sol et ce, de façon croissante avec le degré d'imperméabilisation.

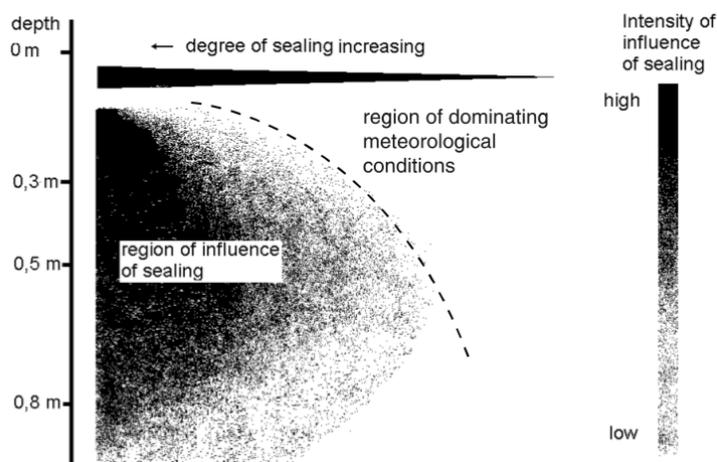


Figure 1: Influence de l'imperméabilisation du sol sur la migration des gaz dans le sol en fonction du degré d'imperméabilisation (Wiegand, Schott, 1999).

2.2. Impacts sur la biodiversité

Souvent situées à proximité des villes, les terres agricoles fertiles sont les premières terres touchées par l'imperméabilisation.

Les risques pour la biodiversité souterraine peuvent concerner la rupture des cycles biochimiques des organismes terrestres dont l'aboutissement se situe dans le sol. La biodiversité édaphique n'assure en effet plus le recyclage de la matière organique morte (Commission Européenne, 2012).

L'imperméabilisation des sols peut aussi provoquer la mort par asphyxie et sécheresse des écosystèmes en place, en les isolant des apports de surface. Bactéries, protozoaires et champignons tendent à entrer dans une phase de repos. Malgré une présence de microarthropodes (collembolés et nématodes), les vers de terre disparaissent dans les sols imperméabilisés (Commission Européenne, 2010). L'altération de la vie sous-terrainne a donc des conséquences sur la structure du sol, sa composition biochimique et sa fertilité.

L'imperméabilisation des sols entraîne également la modification des

propriétés physiques du sol, devenant ainsi un nouveau facteur de sélection des espèces. Les champignons n'ayant pas la capacité de réguler leur température, ils sont directement impactés par les températures extrêmes. La formation d'îlots de chaleur urbains participe à modifier la diversité fongique favorisant certaines espèces plus résistantes. Cette redistribution des espèces de champignons entraîne des modifications dans les chaînes trophiques du sous-sol, notamment auprès des nématodes phytophages et des microbes, consommateurs de champignons morts (McLean, 2005).

Les impacts de l'imperméabilisation sur le sol en tant qu'écosystème concernent la perte d'hétérogénéité qui entraîne à son tour, une homogénéisation de la faune et de la flore. L'imperméabilisation due à l'urbanisation, s'accompagne de l'implantation d'une biodiversité exogène au développement fortement concurrentiel (Pauchard et al., 2006). Étant donné son rôle de support pour le fonctionnement plus global des écosystèmes, l'imperméabilisation des sols modifie les chaînes trophiques dans leur ensemble (Tait, Daniels, Hill, 2005).

2.3. Impacts sur les flux de chaleur dans le sol

L'application d'une surface imperméable sur le sol empêche les échanges de chaleur avec l'atmosphère. Or, dans un sol non imperméabilisé ces échanges permettent de réguler la température du sol. En effet, on observe dans les sols non imperméabilisés une conduite lente de la chaleur, aussi, une augmentation de courte durée de la température de surface n'affecte pas les couches profondes car celle-ci est évacuée par échanges avec l'atmosphère. On observe donc généralement dans les sols imperméabilisés une augmentation de la température. Ce phénomène est renforcé par

le fait que l'albédo des surfaces imperméabilisées est souvent inférieur à celui d'un sol végétalisé ou nu, sauf si cette surface est peinte en blanc. La surface absorbe donc plus les rayons solaires. Par exemple, on peut relever l'albédo d'un sol nu, 0.25, et celui d'un sol recouvert d'un revêtement d'asphalte ou de goudron, 0.07 (Mazria, 1981).

Cette augmentation de température du sol a plusieurs conséquences sur son fonctionnement. Elle affecterait les processus de désorption des molécules organiques sur les surfaces minérales, réduirait la formation d'agrégats, ce qui rendrait les substrats plus accessibles et modifierait également la décomposition de la matière organique labile.

La température d'un sol imperméabilisé dépend de l'albédo, de l'émissivité et des propriétés thermiques du matériau imperméabilisant.

Cette absence de flux de chaleur possède également une autre conséquence, celle de la formation d'îlot de chaleur urbain. Le sol n'exerce plus son service de régulation. Il y a donc une augmentation des températures de l'air des villes (Scalenghe, Ajmone Marsan, 2009).

2.4. Impacts sur le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est un processus naturel qui se manifeste par des flux d'échanges entre les grands réservoirs terrestres d'eau liquide, solide ou gazeux. Lorsque les sols sont rendus imperméables, l'infiltration et l'épuration des eaux de pluie se réduisent et limitent la recharge des nappes phréatiques par l'augmentation des volumes de ruissellements superficiels (Haase, Nuissl, 2007). Ainsi, l'extension des zones imperméabilisées peut avoir comme incidences de changer les modes d'écoulement des eaux et d'engendrer des risques d'inondations (Natale, Savi, 2007).

De fait, si l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse d'infiltration de l'eau, le volume poral du sol se sature en eau, et le surplus stagne à la surface ou ruisselle si la pente est suffisante. En effet, la capacité d'infiltration de l'eau est beaucoup moins importante à la surface du sol (Bhaduri et al., 2001, Gaffield et al., 2003). Ainsi, on peut craindre une pollution des eaux de surface (Hope et al., 2004).

Communément, le captage des eaux de ruissellement est assuré par des réseaux d'égouts et d'assainissement, qui alimentent *in fine* les cours d'eau dans un laps de temps généralement très court. Par conséquent, les débits de ruissellements superficiels peuvent augmenter rapidement et provoquer des crues avec des risques d'inondations, mais aussi provoquer une diminution du temps de réponse des bassins-versants (Choi, Deal, 2007). On pourrait aussi remarquer que l'imperméabilisation, en cela qu'elle accompagne l'urbanisation, coïncide avec une augmentation de la densité de population. Elle s'accompagne donc d'une surconsommation d'eau potable, qui, combinée avec le déficit de la recharge des nappes, entraîne un abaissement sans précédent de leur niveau (Petit, 2004).

3. Alternatives à l'imperméabilisation

De manière non-exhaustive nous allons présenter dans cette partie quelques recommandations pour éviter, réduire ou compenser les effets de l'imperméabilisation des sols.

D'un point de vue administratif, il est conseillé de réexaminer les subventions «négatives» qui encourageraient indirectement l'imperméabilisation et d'inciter les initiatives et activités de sensibilisation par les autorités publiques, l'alliance européenne en faveur des terres et

du sol (ELSA) et le réseau européen d'information sur les sols (ENSA). En matière d'urbanisme, il faudrait utiliser des matériaux perméables au lieu de l'asphalte ou du ciment classique, favoriser les systèmes de récupération naturelle de l'eau par rapport à celui des systèmes d'égout classiques (noues, espaces verts inondables, parkings enherbés) ou bien avoir recours à des mesures compensatoires, financières ou de remise en état des sols imperméabilisés (Commission Européenne 2012).

Certaines lois peuvent également aider à réduire l'imperméabilisation comme la loi Alur de 2014 pouvant entraîner une fixation de règles dans le PLU imposant "*une part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables*", ou bien la loi pour la reconquête de la biodiversité de 2016, imposant la perméabilisation des parkings à construire (Desrousseaux, 2018).

4. Discussion sur les résultats

De manière générale, nous avons été confrontés à des difficultés pour trouver nos informations. Il s'agit en effet d'une problématique relativement récente et les travaux visant à caractériser les impacts tels que nous les avons abordés ne sont pas très nombreux, d'autant plus qu'une absence de connaissance des sols avant imperméabilisation permet difficilement d'observer une évolution. Notons aussi que nous n'avons donc pas pu prendre en compte des facteurs variables comme le type de sol ou le matériel imperméabilisant utilisé.

Par ailleurs, dans la majorité des sources que nous avons sollicitées, les problèmes causés par l'imperméabilisation des sols sont davantage évoqués en terme de risques pour l'Homme, dans le sens où de

nombreux services écosystémiques sont menacés, plutôt qu'en terme de menaces pour le fonctionnement du sol en lui-même.

Cette impression de flou relatif transparait parfois de manière plus nette, notamment à propos des impacts biotiques de l'imperméabilisation des sols.

Le terme de biodiversité du sol en lui-même, semble manquer de précision. Il peut englober ce qui vit dans et sur le sol, c'est à dire la faune et la flore édaphiques, autant que la diversité des espèces pour lesquelles le sol sert de support, à quelque moment de leur vie (Scalenghe, Ajmone Marsan, 2009). Dans ce cadre, même les oiseaux apparaissent dans les articles étudiés.

La méthodologie scientifique apparaît encore comme en construction. Deux articles emploient une approche naturaliste en se basant sur des relevés sur le terrain (Tait, Daniels, Hill, 2005), relevés ensuite être comparés à des relevés plus anciens (Pauchard et al., 2006). Dans le cas de l'étude de l'impact de l'imperméabilisation sur des populations de champignons, des relevés sont effectués sur sites puis étudiés en laboratoire. Selon les auteurs eux-mêmes, même si les sites choisis (un site urbain et un site forestier) ont été sélectionnés en fonction de leurs ressemblances, notamment en terme de pH du sol, d'une faune et d'une flore surfaciques équivalentes, ils se distinguent par des différences notables allant au-delà de la nature imperméable, ou perméable, de leur surface : densité de population, température de l'air et présence d'axes routiers (McLean, 2005).

Du fait de son apparition récente dans le champs des préoccupations scientifiques, la problématique de l'imperméabilisation semble pour le moment soulever plus de questions qu'elle n'en résout.

Bibliographie

Documents académiques

- Barattucci C., (2014).** Urbanisation et risques naturels : le cas de la Vénétie. *Métropolitiques*.
- Bhaduri B.,** Minner M., Tatalovich S., Harbor J., **(2001).** Long-Term Hydrologic Impact of Urbanization: A Tale of Two Models. *Journal of Water*. Volume 127, Issue 1.
- Bispo A.,** Guellier C., Martin E., Sapijanskas J., Soubelet H., Chenu C., Courtier P., **(2016).** Les sols : intégrer leur multifonctionnalité pour une gestion durable.
- Desrousseaux M.,** Schmitt B., **(2018).** Réduire l'impact de l'artificialisation des sols. *Alternative économique*. n°078.
- Gaffield S.J.,** Goo R.L., Richards L.A., Jackson R.J., **(2003).** Public Health Effects of Inadequately Managed Stormwater Runoff. *American Journal of Public Health*. Volume 93, number 9, 1527-1533.
- Haase D.,** Nuissl H., **(2007).** Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy?: The case of Leipzig (Germany) 1870–2003. *Landscape and Urban Planning*. Volume 80, Issues 1–2, 1-13.
- Hope D.,** Naegeli M.W., Chan A.H., Grimm N.B., **(2004).** Nutrients on Asphalt Parking Surfaces in an Urban Environment. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus* 4, 371–390.
- Li J.,** Deng J., Gu Q., Wang K., Ye F., Xu Z., Jin S., **(2015).** The Accelerated Urbanization Process: A Threat to Soil Resources in Eastern China. *Sustainability*. 7(6), 7137-7155.
- Mazria E., (1981).** Guide de l'énergie passive.
- McLean M.A., (2005).** If you can't stand the heat, stay out of the city: Thermal reaction norms of chitinolytic fungi in an urban heat island. *Journal of Thermal Biology*. Volume 30, Issues 5, 384-391.
- Natale L.,** Savi F., **(2007).** Monte Carlo analysis of probability of inundation of Rome. *Environmental Modelling & Software*. Volume 22, Issue 10, 1409-1416.
- Oliveira E.,** Tobias S., Hersperger A.M., **(2018).** Can Strategic Spatial Planning Contribute to Land Degradation Reduction in Urban Regions? State of the Art and Future Research. *Sustainability*. Volume 10, Issue 4.
- Pauchard A.,** Aguayo M., Peña E., Urrutia R., **(2006).** Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biological Conservation*. Volume 127, 272-281.
- Petit O., (2004).** La surexploitation des eaux souterraines : enjeux et gouvernance. *Natures Sciences Sociétés*. Volume 12, number 2, 146-156.
- Scalenghe R.,** Ajmone Marsan F., **(2009).** The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 90, Issues 1–2, 1-10.
- Smagin A.V., (2006).** Soils: Basic Concepts and Future Challenges. *Cambridge University Press*. Chapter 6 "Soil phases: the gaseous phase.", 75-90.
- Tait C.J.,** Daniels C.B., Hill R.S., **(2005).** Changes in species assemblages within the Adelaide Metropolitan area, Australia, 1836-2002. *Ecological Applications*, 15 (1), 346–359.
- Torre C.M.,** Morano P., Tajani F., **(2017).** Saving Soil for Sustainable Land Use. *Sustainability*. 9, 350.
- Wiegand J.,** Schott B., **(1999).** The sealing of soils and its effect on soil-gas migration. *IL NUOVO CIMENTO*. Volume 22 C, N. 3-4.

Documents techniques

- Commissariat général au développement durable (2011).**
- Commission Européenne,** Bio Intelligence Service, Institut de recherche pour le développement, Netherlands Institute of Ecology **(2010).** *Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers*.
- Commission Européenne, (2012).** Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols.