

Sols artificialisés

Déterminants, impacts et leviers d'action

M. Desrousseaux, B. Béchet, Y. Le Bissonais,
A. Ruas, B. Schmitt, coord.



Sols artificialisés

Déterminants, impacts
et leviers d'action

Maylis Desrousseaux, Béatrice Béchet, Yves Le Bissonais,
Anne Ruas, Bertrand Schmitt, coord.

Éditions Quæ

Le présent document constitue la synthèse du rapport de l'expertise scientifique collective sollicitée conjointement par le ministère en charge de l'Environnement, l'Ademe, et le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Le contenu du rapport et du document de synthèse n'engage que la responsabilité de leurs auteurs. Le rapport de l'expertise, source de cette synthèse, a été élaboré par les experts sans condition d'approbation préalable par les commanditaires, l'Ifsttar ou l'Inra. La synthèse a été validée par les auteurs du rapport.

Ces documents sont disponibles sur le site www.inra.fr.

Pour citer ce document :

Béchet B., Le Bissonnais Y., Ruas A. (pilotes), Aguilera A., Andrieu H., Barbe E., Billet P., Cavailhès J., Cohen M., Cornu S., Dablanc L., Delolme C., Géniaux G., Hedde M., Mering C., Musy M., Polèse M., Weber C., Frémont A., Le Perchec S., Schmitt B., Savini I., Desrousseaux M., 2019. *Sols artificialisés : déterminants, impacts et leviers d'action*, éditions Quæ, 182 p.

Photo de couverture : Zone périurbaine de l'agglomération de Chalon-sur-Saône, © Christian Slagmulder, Inra.

Contacts :

Béatrice Béchet : beatrice.bechet@ifsttar.fr

Yves Le Bissonnais : yves.le-bissonnais@inra.fr

Anne Ruas : anne.ruas@ifsttar.fr

Bertrand Schmitt : bertrand.schmitt@inra.fr

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex
www.quae.com
© Éditions Quæ, 2019

ISBN : 978-2-7592-3083-9 e-ISBN : 978-2-7592-3084-6 x-ISBN : 978-2-7592-3085-3

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Table des matières

Avant-propos	5
L'artificialisation des sols, un objet scientifiquement ambigu	7
1. Des méthodes de mesure à l'estimation de l'artificialisation des sols	17
Objets et méthodes de mesure des changements d'affectation des sols	17
Mesures et tendances de l'artificialisation des sols en France	24
Éléments de conclusion et leviers d'action	37
2. Les impacts de l'artificialisation sur les caractéristiques et propriétés des sols	39
Impacts de l'artificialisation sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols	39
Impacts de l'artificialisation sur les organismes et la biodiversité des sols	52
Leviers pour limiter les impacts de l'artificialisation sur les propriétés des sols	59
Limites des études disponibles et identification des besoins de recherche	63
3. Les impacts directs et indirects sur les caractéristiques et le fonctionnement des milieux artificialisés	65
Impacts de l'artificialisation sur les paysages, les habitats et les espèces végétales et animales	65
Impact de l'artificialisation des sols sur l'hydrologie urbaine et la gestion des eaux pluviales	76
Impacts de l'artificialisation des sols sur l'environnement physique urbain	84
4. Espace agricole, activité agricole et artificialisation des sols	99
Les impacts directs de l'artificialisation des sols sur la production agricole	99

La rente foncière agricole, vecteur des changements d'affectation des sols	103
Les facteurs locaux de conversion ou de résistance à l'artificialisation	107
5. Stratégies de localisation des ménages et construction de logements	113
Préférences des ménages, extension urbaine et périurbanisation	114
Politiques foncières et immobilières pour limiter l'extension urbaine et périurbaine	124
Conclusion et leviers d'action	127
6. Les déterminants de l'artificialisation des sols par les entreprises et les infrastructures de transport	129
Les stratégies de localisation des entreprises et des industries	130
Les infrastructures de transport en France	141
Conclusion et leviers d'action	145
7. Éviter l'artificialisation des sols ou réduire, voire compenser, ses effets	149
Les voies juridiques et fiscales de l'artificialisation des sols	150
Des leviers pour éviter ou maîtriser l'artificialisation des sols	155
Des leviers pour réduire les effets de l'artificialisation des sols	167
Des leviers pour compenser les effets de l'artificialisation des sols	171
Conclusion	173
Bibliographie	177
Liste des auteurs	181

Avant-propos

FORMIDABLE RÉSERVOIR DE BIODIVERSITÉ, les sols sont essentiels à de nombreux services écosystémiques tels que la production alimentaire ou la régulation du climat, des crues, de la qualité de l'eau ou de l'air. Face à des demandes croissantes et antagonistes en logement, zones d'activités économiques, infrastructures, nourriture, matières premières, énergie et espaces de nature, cette ressource limitée et non renouvelable aux échelles de temps humaines est soumise à une forte concurrence d'usage et à des pressions qui peuvent en dégrader la qualité ou en limiter la disponibilité. Dans ce contexte, l'« artificialisation des sols » est souvent considérée, voire dénoncée, comme un des principaux facteurs de dégradation des sols et de perte de terres agricoles mais aussi d'espaces naturels et forestiers.

C'est pourquoi les pouvoirs publics, qui tentent de réguler ce phénomène, ont sollicité l'Ifsttar et l'Inra pour une expertise scientifique collective (ESCo) destinée à proposer un état des connaissances scientifiques disponibles sur les déterminants et les conséquences de l'artificialisation des sols ainsi que sur les leviers d'action qui permettraient d'en limiter l'extension et/ou les impacts environnementaux. Portée par le ministère en charge de l'Environnement (Commissariat général au développement durable, CGDD, ministère de la Transition écologique et solidaire, MTES), l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) et le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises, DGPE), cette demande se décline en quatre temps.

Il s'agit tout d'abord de tenter d'évaluer l'ampleur de l'artificialisation à l'échelle du territoire français, en s'appuyant sur la littérature scientifique, les rapports et études statistiques qui s'y essaient, et de préciser la position de la France par rapport aux autres pays de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques).

Au-delà de ces éléments de mesure, la question des déterminants de l'artificialisation des sols et de leur éventuelle hiérarchie est centrale pour comprendre les évolutions de ce changement d'affectation des sols et voir se dessiner les tendances de l'artificialisation. Compte tenu des enjeux, il y a également lieu d'identifier au mieux les impacts du phénomène, tant sur l'environnement biotique et abiotique que sur les conditions de vie des populations et les dynamiques économiques et sociales, avec une focalisation spécifique sur les impacts agricoles.

Enfin, les leviers d'action qui permettraient de maîtriser l'artificialisation des sols et d'en limiter les impacts négatifs méritent un examen particulier, tant ils peuvent être nombreux et convergents ou divergents entre eux ou avec d'autres instruments de politiques publiques.

Pour répondre à ces questions, l'Ifsttar et l'Inra ont appliqué les principes classiques d'un dispositif d'ESCO (DEPE, 2018), qui se fonde sur des références scientifiques internationales certifiées relatives aux divers volets des questions posées. De ce fait, certains phénomènes, en particulier récents, ne peuvent être renseignés précisément, soit faute de travaux publiés, soit parce que les études disponibles ont été conduites dans des contextes trop éloignés des conditions observées en France. Ainsi, cette ESCo a été confrontée à une difficulté peu commune due à la polysémie de l'expression « artificialisation des sols ». L'artificialisation des sols (« *land take* », en anglais), telle qu'elle est entendue en France (et en Europe), est avant tout une notion statistique, utilisée en particulier au sein de la base de données *Corine Land Cover* (CLC), mais son appréhension par les différentes disciplines scientifiques mobilisées pour cette expertise a révélé que les notions d'urbanisation (*urbanization*) ou d'imperméabilisation (*soil sealing*) lui étaient souvent préférées. Or, ces trois notions, même si elles se recouvrent en partie, ne sont pas exactement synonymes, ce qui, tout en contribuant à la richesse du travail, en a accru la complexité. Par conséquent, la constitution du corpus bibliographique de cette expertise a nécessité de nombreux ajustements et plusieurs combinaisons de mots-clés afin que chaque discipline, approchant le phénomène au travers de concepts différents, puisse disposer d'une base fiable. En outre, les experts se sont livrés, selon les disciplines, à d'importants ajouts de références.

Cinquante-cinq experts francophones, d'origines institutionnelles diverses (Ifsttar, Inra, CNRS, université de Saint-Étienne, Paris-1, Brest, Montréal, etc.), ont été mobilisés. Certains d'entre eux ont assuré la coordination des volets de l'expertise et participé aux croisements des points de vue, d'autres ont plus spécifiquement contribué au(x) chapitre(s) relatif(s) à leur strict domaine de spécialité. Les compétences des experts sont, compte tenu de l'ampleur des questions, variées ; elles relèvent de l'économie, de la géographie, de l'écologie, de la pédologie, de l'hydrologie, de l'agronomie, du droit, etc. (cf. liste en fin d'ouvrage).

Les résultats de l'expertise sont étayés par un corpus bibliographique de plus de 2 500 références, constitué par deux professionnels de l'information scientifique et technique (Inra et Ifsttar), et composé essentiellement d'articles scientifiques auxquels se sont ajoutés quelques données statistiques, ouvrages et rapports techniques. Les experts en ont extrait et assemblé les éléments pertinents pour éclairer les questions posées.

L'ESCO ne fournit ni avis ni recommandation, et n'a pas vocation à proposer de réponses opérationnelles aux questions posées par les gestionnaires. Elle réalise un état des connaissances — le plus complet possible — des déterminants et impacts liés à l'artificialisation des sols en France et tâche d'en identifier les leviers d'action, à travers une approche pluridisciplinaire associant sciences du vivant et sciences économiques et sociales. Elle met en relief les problématiques spécifiques à ce phénomène. Les organismes de recherche, Ifsttar et Inra, s'engagent sur les conditions dans lesquelles s'est déroulé le processus d'expertise : qualité du travail documentaire, mise à jour des sources bibliographiques, transparence des discussions entre les experts, animation du groupe de travail et rédaction des documents de synthèse et de communication sous une forme qui concilie rigueur scientifique et lisibilité par un public plus large.

L'artificialisation des sols, un objet scientifiquement ambigu

Une notion dont la délimitation statistique reste peu précise...

LES NOTIONS DE « SOLS ARTIFICIALISÉS » et « d'artificialisation des sols » se réfèrent respectivement à des modes d'occupation et à des changements d'affectation des sols spécifiques. Elles ont été introduites initialement par les agronomes, qui cherchaient à appréhender les mutations du paysage français en repérant les diverses occupations des sols et leurs changements (Slak et Vidal, 1995a). La démarche visait alors à appuyer l'idée selon laquelle les mutations de l'agriculture « ont façonné le paysage rural » et à rechercher les causes des pertes de terres agricoles (Slak et Vidal, 1995b). En termes statistiques, cette démarche s'est traduite par la distinction de quatre grands types d'usage des sols : les usages agricoles, les usages forestiers et les espaces considérés comme « naturels », le solde constituant les « sols artificialisés ». Le terme d'artificialisation des sols a ainsi été construit pour désigner les surfaces retirées de leur état naturel (friche, prairie naturelle, zone humide, etc.), ou de leurs usages forestiers ou agricoles. Ces définitions, principalement formulées par la négative, recouvrent alors tout un ensemble d'usages, d'occupations ou de couvertures des sols aux impacts et déterminants potentiellement fort variés. S'y mélangent des espaces construits et non construits qui ont la caractéristique commune d'être fortement modelés par l'activité humaine (logements, bâtiments industriels mais aussi chantiers, carrières, mines, décharges, etc.) ; y sont également inclus les espaces verts associés à ces usages (parcs et jardins, équipements sportifs et de loisirs...).

En dépit de la simplicité toute relative du principe d'identification des « sols artificialisés » (tout ce qui n'est pas agricole, forestier ou « naturel »), on notera les écarts importants entre les évaluations qu'en font les principales sources statistiques. Ainsi, selon la source du ministère en charge de l'Agriculture (Teruti-Lucas), 9,3 % des sols français sont classés en 2014 dans la catégorie des « sols artificialisés », alors que la source européenne, privilégiée par le ministère en charge de l'Environnement (*Corine Land Cover*), évalue cette part à 5,3 % en 2012. Comme on le verra plus loin, ces écarts s'expliquent relativement aisément par les caractéristiques des méthodes et techniques d'identification de l'occupation des sols. Il n'empêche que l'importance des écarts, associée à des

classifications internes à la catégorie qui ne se recouvrent pas, rend malaisée la manipulation des données relatives à l'artificialisation et donc l'interprétation et la hiérarchisation des causes de l'artificialisation.

... mais d'un usage croissant dans le débat public

EN DÉPIT DE SON FLOU STATISTIQUE, la notion « d'artificialisation des sols » fait florès dans les débats publics et les discours politiques. Du fait des importantes perturbations que les interventions humaines font subir à ces sols et à leur environnement et du fait de leur extension continue au détriment le plus souvent de terres agricoles, l'artificialisation des sols est vue aujourd'hui comme une des principales causes de l'érosion de la biodiversité. Elle apparaît, à ce titre, depuis 2015, parmi les dix « nouveaux indicateurs de richesse » dressés par le Service d'information du Gouvernement, définis à la suite des travaux de la commission Stiglitz (2009) : elle y figure aux côtés des indicateurs de croissance, d'emploi, de capital humain, d'inégalités sociales, etc., comme l'un des deux indicateurs à suivre en matière d'impact environnemental de la société française, au même titre que l'empreinte carbone (mesurée par les émissions de gaz à effet de serre). Elle était déjà présente parmi les enjeux de la Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020 et elle faisait partie des sept indicateurs proposés en 2014 par France-Stratégie pour mesurer la « qualité de la croissance » (Ducos et Barreau, 2014). Il est donc logique de retrouver trace de cette préoccupation dans la feuille de route adressée en 2017 par le Premier ministre à son ministre de la Transition écologique et solidaire d'alors. Il y était demandé à Nicolas Hulot de faire « des propositions avant mi-2018 pour lutter contre l'artificialisation des sols et l'appauvrissement des sols qui sont l'une des principales menaces pour la biodiversité ». Dans la continuité de cette démarche, le plan Biodiversité rendu public en juillet 2018 comporte l'objectif d'atteindre à l'horizon 2050 un taux de « zéro artificialisation nette » des sols et le Gouvernement travaille actuellement aux modalités de sa mise en œuvre¹.

Le plus souvent, la référence dans le débat public au poids et au rôle de l'artificialisation des sols est justifiée par le fait que l'artificialisation du territoire engendre une perte de ressource en sol pour l'usage agricole et pour les espaces naturels, et suggère de considérer conjointement son rôle dans la dégradation de la biodiversité et dans la perte des terres agricoles. Ce double objectif peut sembler ambigu dans la mesure où la préservation des terres agricoles et celle de la biodiversité ne sont pas nécessairement convergentes : s'il est légitime de chercher à limiter les impacts environnementaux de l'artificialisation des sols, comme de toutes les activités humaines, cet objectif ne passe pas nécessairement et exclusivement par la régulation de l'extension de ces types d'usage.

1. Plan biodiversité, Axe 1.3, juillet 2018.

Quoi qu'il en soit, l'importance prise dans le débat public et les enjeux qui la sous-tendent, confrontés aux difficultés de définir ce qu'est l'artificialisation des sols, nous imposent de tenter de préciser dès à présent ce que peut recouvrir cette notion et d'examiner les objets qu'elle englobe. En effet, l'artificialisation renvoie implicitement ou explicitement à deux autres notions : l'imperméabilisation et l'urbanisation. Aucune de ces deux notions, bien que plus proches des concepts mobilisés par les scientifiques, ne recouvre cependant l'ensemble des composantes que la définition statistique cherche à intégrer.

L'imperméabilisation est-elle synonyme d'artificialisation des sols ?

COMME TOUS LES SOLS ARTIFICIALISÉS ONT SUBI DE FORTES PERTURBATIONS de leurs caractéristiques biophysiques par l'extraction ou l'apport de matériaux, souvent minéraux, par le mélange des différents horizons de sols, par la nature de leur couverture, etc., c'est avant tout le sol, en tant que milieu naturel, qui va être touché par le changement d'usage. Sa structure, sa chimie et sa biologie sont modifiées avec plus ou moins d'intensité. Ces modifications, associées aux activités qui se développent sur ces sols (que les pédologues classent sous le nom de *Suitma*, *Soils of Urban Industrial Traffic and Military Areas*), se répercutent également sur la biodiversité (terrestre et aquatique), l'air, l'eau et le cadre de vie humain, tous compartiments susceptibles d'être impactés.

Mais tous ces sols ne subissent pas une imperméabilisation de leur surface au sens où des surfaces importantes de sols dits « artificialisés » ne sont pas recouvertes d'une couverture minérale hermétique, ne sont pas « scellés », ne sont pas « minéralisés » pour reprendre la traduction littérale des notions anglo-saxonnes. Ainsi, si on en croit les données de Teruti-Lucas, et en dépit des limitations de ces données qui seront examinées en détail par la suite, plus de 30 % des sols artificialisés étaient en 2014 des « sols enherbés artificialisés ». Ces surfaces importantes (1,6 million d'hectares) correspondent principalement aux espaces verts, aux zones récréatives et de loisirs et aux jardins particuliers associés à l'habitat individuel. On peut sans difficulté supposer que les impacts environnementaux de ces couvertures végétales ne seront pas de même nature que ceux dus à des couvertures minérales de type « sols bâtis » (moins d'un million d'hectares en 2014) ou de la partie imperméabilisée ou « macadamisée » des 2,5 millions d'hectares de « sols revêtus ou stabilisés », qu'ils soient de forme linéaire (voiries et infrastructures de transport) ou de forme aréolaire (parkings, cours d'immeubles, etc.).

Cette clé d'entrée par le degré d'imperméabilisation des sols ou, plus généralement, par le niveau des perturbations subies par le sol, est celle qui est privilégiée par les pédologues et la plupart des biologistes. Compte tenu des effets que chaque type de couverture ou de perturbations peut avoir, la façon dont ils se combinent pour former un « paysage » ou une « mosaïque paysagère » constitue également une clé de lecture importante des impacts notamment environnementaux.

L'urbanisation, facteur d'une artificialisation des sols... qui ne s'arrête pas aux frontières de la ville

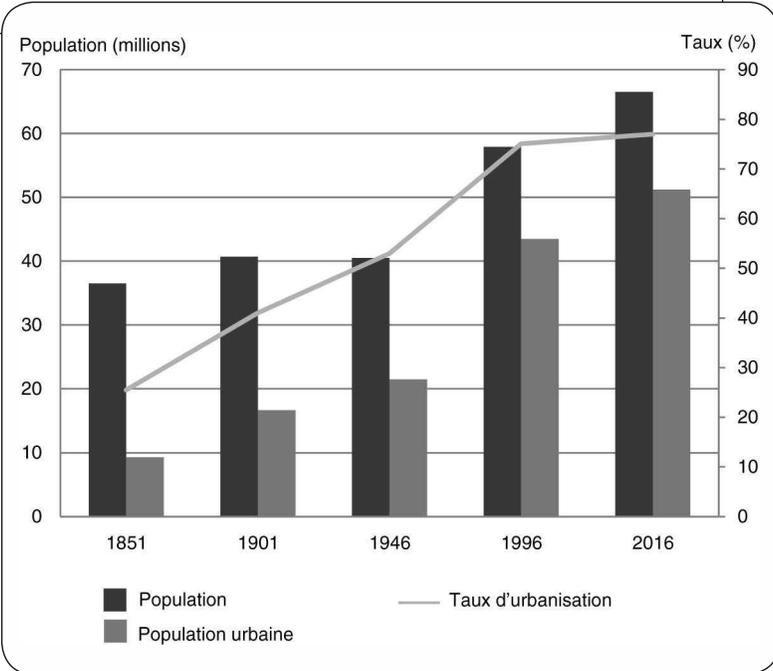
FAIT MAJEUR DE NOS SOCIÉTÉS CONTEMPORAINES, L'URBANISATION concerne une part importante des sols artificialisés et est bien sûr un moteur central du processus d'artificialisation et des changements d'affectation des sols qui y sont liés. Néanmoins, même une source comme *Corine Land Cover*, dont on verra plus loin qu'elle prend incomplètement en compte les surfaces artificialisées en zones peu denses (*i.e.*, en zones rurales), met en lumière l'importance des sols artificialisés hors tissus urbains : en effet, cette source considère qu'en 2012, 75 % des sols artificialisés sont localisés en « tissu urbain » continu ou discontinu (soit 2,3 millions d'hectares), le reste étant constitué de zones industrielles ou commerciales, de réseaux routiers et ferroviaires, d'extraction de matériaux, de décharges, de chantiers, d'équipement sportifs et de loisirs, etc., probablement plus dispersés sur le territoire. Par ailleurs, les dynamiques urbaines contemporaines, qui associent concentration urbaine, étalement urbain et développement du périurbain, amènent à repenser les liens entre urbanisation et artificialisation.

■ L'urbanisation, un fait social incontournable

Dans l'histoire de l'humanité, l'urbanisation est un évènement à la fois récent et inévitable. Le taux d'urbanisation de la population mondiale vient de passer le cap des 50 %, tandis qu'en France, il frôle aujourd'hui les 80 % d'habitants, qui vivent dans une ville ou « unité urbaine » (fig. 1), un niveau comparable à celui d'autres pays industrialisés. Pour certains pays européens comme la Belgique ou le Danemark, ce taux approche les 90 %. Aucun des pays développés d'aujourd'hui n'a pu échapper à l'urbanisation, quels que furent leurs régimes politiques ou économiques. Et tous les pays émergents ou en développement voient aujourd'hui leur population urbaine et leur taux d'urbanisation s'accroître très rapidement. Le lien entre urbanisation et développement, mesuré habituellement par la croissance, sur longue période, du produit intérieur brut (PIB) réel par habitant, fait largement consensus. Historiquement, c'est l'accroissement de la productivité agricole et l'apparition d'un surplus agricole qui permettent aux villes de se développer. Les populations qui peuvent s'affranchir de l'agriculture s'implantent à la jonction de voies de communication (le plus souvent fluviales) et de territoires agricoles suffisamment bien pourvus pour dégager le surplus de production nécessaire à la ville. À l'aube de la révolution industrielle, se met en place le processus de causalité circulaire et cumulative à la base du processus de l'urbanisation contemporaine : les économies d'échelle (internes aux firmes) et les économies d'agglomération (marchandes et non marchandes), dont les entreprises peuvent bénéficier en se rapprochant les unes des autres, amènent les firmes industrielles à se concentrer géographiquement soit dans des villes déjà existantes, soit aux abords des ressources naturelles dont elles ont besoin. Ces concentrations attirent alors les populations que les gains de productivité agricole chassent de ce secteur et à la recherche d'emplois. À son tour, l'afflux de nouvelles populations accroît

la taille des marchés locaux à la fois de biens et services et du travail, ce qui amène de nouvelles firmes à rejoindre l'agglomération.

Figure 1. Population, population urbaine et taux d'urbanisation, de 1851 à 2016.



Source : Insee.

Néanmoins, l'agglomération des populations et des activités économiques en un nombre restreint de lieux a une contrepartie : elle se traduit par un renchérissement des prix fonciers. Cette augmentation des prix fonciers agit, dans un premier temps, sur les populations pour qui le logement pèse lourd au regard de leur budget. De ce fait, les villes auront tendance à s'étaler à mesure de la croissance de leur taille, ce qui, d'une part, accroît leur consommation de sols et, d'autre part, fait évoluer leurs formes qui ne se réduisent pas à un point dans l'espace.

■ L'Europe dans le processus mondial d'urbanisation

D'un point de vue mondial, l'Europe est une région de petites villes, espacées en moyenne d'une quinzaine de kilomètres. Près de la moitié de sa population vit dans

des agglomérations de moins de 500 000 habitants, ce qui la différencie nettement des autres continents. Corollairement, la part de population vivant dans les grandes villes de plus de 5 millions d'habitants y est assez faible (inférieure à 5 % contre 10 à 15 % dans d'autres régions du monde ayant des taux d'urbanisation comparables). Même si Paris appartient à la catégorie des mégapoles par sa taille, ni la France ni l'Europe n'ont à gérer de gigantesques concentrations humaines telles que celles qui se sont développées ou se développent dans le Nord-Est américain, au Japon, ou dans les grands deltas chinois.

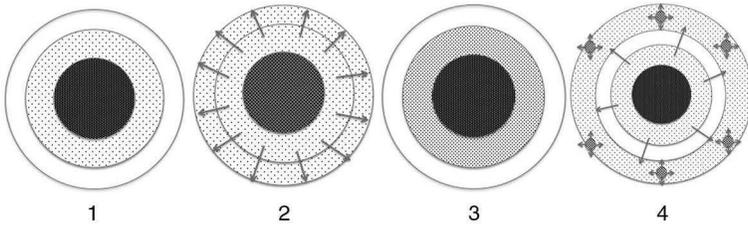
L'Europe se distingue également par ses densités urbaines moyennes : par rapport aux autres continents, celles-ci se trouvent en position intermédiaire entre l'extrême dilution des villes nord-américaines et les fortes densités des villes asiatiques. L'ordre de grandeur de ces densités moyennes est ainsi d'environ 2 000 habitants au km² pour les villes d'Amérique du Nord, de 10 000 à 40 000 hab./km² pour les villes asiatiques, et de 4 000 hab./km² pour les villes européennes.

I L'étalement urbain, corollaire de la métropolisation

L'expansion des villes s'effectue selon deux processus contradictoires en fonction de l'échelle géographique d'observation. À l'échelle nationale ou continentale, la métropolisation dessine une concentration relative des formes sociales et productives dans les plus grandes villes. À l'échelon local, la dominante est à l'étalement du fait de l'accroissement du prix du foncier qu'engendre la concentration. Deux grandes formes d'étalement urbain peuvent être distinguées. Dans la première, la ville s'étend en repoussant plus loin ses propres frontières urbaines, les nouvelles constructions s'inscrivant dans la continuité des constructions préexistantes. Dans la seconde, l'étalement se fait en discontinuité, les populations ou les entreprises allant résider dans des villages assez proches de la ville (pour pouvoir aller y travailler) mais assez lointains pour ne pas entrer en continuité avec la ville (fig. 2). C'est ce double phénomène d'étalement urbain qui, en France, a amené l'Insee à élaborer son zonage en aires urbaines (ZAU) en complément de sa distinction unités urbaines / communes rurales (Brutel et Levy, 2011). En s'appuyant sur les mobilités domicile-travail et leur orientation, on peut distinguer ainsi des ensembles de communes placées sous une influence des pôles plus ou moins prononcée (fig. 3). Dans un second temps, le prolongement du mouvement de métropolisation peut également induire une extension des aires d'étalement urbain autour de centres périphériques secondaires qui étaient anciennement « autonomes » (fig. 2).

La première forme d'étalement urbain agrandit donc la surface de la ville et étend ses frontières : l'artificialisation des sols qui s'y produit est clairement inscrite dans l'urbanisation. La seconde densifie les espaces périphériques qui, sans devenir urbains, n'en restent pas pour autant ruraux mais deviennent périurbains. Dans ce cas, l'artificialisation des sols qui en découle est bien liée au processus d'urbanisation mais elle se déroule sur des communes externes à la ville, vue comme un espace de continuité de bâti.

Figure 2. Illustration du phénomène de *Leapfrog*, littéralement « dépasser » en français, qui schématise les formes d'étalement urbain.



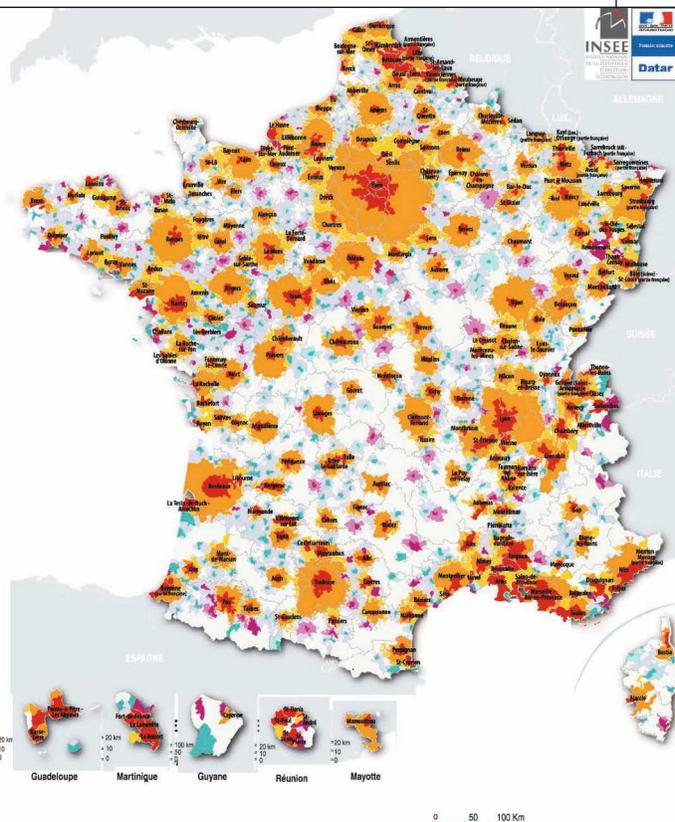
Les gammes de gris, du plus foncé au plus clair, correspondent à la densité de population, de la plus haute à la plus basse. 1. Situation de départ. 2. Étalement par extension urbaine. 3. Étalement par densification de la périphérie. 4. Étalement par extension des bourgs secondaires.

© Gilli, 2017.

Ce processus de desserrement urbain par périurbanisation est intervenu, en France et en Europe, à une date relativement tardive (les années 1960). Il semble en cours de ralentissement, le paroxysme du mouvement étant intervenu avant les années 2000. En une trentaine d'années, entre le début des années 1970 et la fin du xx^e siècle, il a transformé les équilibres démographiques entre zones urbaines et périurbaines, ainsi que les paysages français, notamment périurbains. Le territoire aujourd'hui placé sous influence urbaine couvre une large part du territoire national (seules 7 400 des 36 700 communes françaises en sont exclues) et accueille 95 % de la population métropolitaine (fig. 3). Si près de 50 millions des Français vivent aujourd'hui dans un pôle, ils sont près de 22 millions à résider dans une commune périurbaine, placée le plus souvent sous l'influence d'un (ou de plusieurs) des 241 grands pôles urbains. L'écart de densité démographique entre les pôles et les couronnes vers lesquelles ils s'étendent est conséquent : de 820 hab./ km^2 dans les grands pôles urbains, la densité de population passe à 72 hab./ km^2 dans les couronnes de ces mêmes pôles, posant très vraisemblablement en termes différents les questions de l'artificialisation des sols qui s'y déroule.

Concernant initialement les populations qui cherchaient résidence en dehors des villes tout en continuant à travailler dans celles-ci, le mouvement d'étalement urbain s'est progressivement propagé aux entreprises (commerciales d'abord, logistiques ensuite, puis industrielles), qui aujourd'hui tendent à repositionner leurs implantations nouvelles dans les espaces périurbains.

Figure 3. Le zonage en aires urbaines de l'Insee, version 2010.



- Grands pôles - 3 257 communes
- Couronnes des grands pôles - 12 305 communes
- Communes multipolarisées des grandes aires urbaines
3 980 communes
- Pôles moyens - 447 communes
- Couronnes des pôles moyens - 803 communes
- Petits pôles - 873 communes
- Couronnes des petits pôles - 587 communes
- Autres communes multipolarisées
- Communes isolées, hors influence des pôles

© Insee - Datar - IGN, 2011. Réalisation : Datar - Observatoire des territoires, 2011.

En outre, entre les villes et au sein de leurs aires, s'est développé un réseau d'infrastructures de transport (ferroviaire et routier) dense qui vise tant l'amélioration de la desserte des espaces périurbains que les liaisons interurbaines. L'artificialisation qui en est issue touche donc également des espaces ruraux plus lointains (*i.e.* non périurbains), et s'associe alors à d'autres types d'artificialisation, liés au développement d'activités touristiques et de loisirs, de résidences secondaires qui en dépendent, d'entreprises industrielles et commerciales qui y trouvent certains avantages.

Ainsi, l'artificialisation des sols n'est réductible ni à l'imperméabilisation d'une partie de ceux-ci, ni à l'urbanisation au sens strict du terme. Aucune de ces deux approximations ne permet de prendre en compte toutes les dimensions que recouvre la définition statistique de cette notion. Ses composantes sont multiples et complexes ; l'analyse de ses causes et conséquences le seront alors tout autant. Pour tenter d'y voir clair, il apparaît nécessaire de se doter d'une grille d'analyse qui peut servir de grille d'interprétation des résultats scientifiques ou peut permettre de les repositionner dans le(s) contexte(s) concret(s) de la France. De l'analyse qui précède, il ressort que les causes et conséquences de l'artificialisation, les leviers d'action qui pourraient en limiter les impacts négatifs et/ou l'extension, doivent être appréhendés selon les trois grandes dimensions suivantes :

- la nature des perturbations subies et de couverture du sol après son « artificialisation » (imperméabilisation, minéralisation, couverts végétaux, etc.), à laquelle il convient d'associer la façon dont un sol donné s'agence localement avec des sols artificialisés de couverture différente, c'est-à-dire la mosaïque paysagère dans laquelle il s'inscrit ;
- son positionnement dans la trame urbaine (centre de villes denses, banlieues, zones d'extension des frontières de la ville, communes périurbaines, communes hors des influences urbaines) ;
- le type d'activités qui s'y déploient (habitat individuel ou collectif, activités industrielles et leur nature, activités tertiaires, activités commerciales et logistiques, infrastructures de transport, etc.).

C'est en prenant simultanément en compte ces trois dimensions que doivent être lus les résultats scientifiques qui suivent, sachant que, pour évaluer les impacts du changement d'affectation du sol vers l'artificialisation, il y a lieu de tenir également compte des caractéristiques du sol avant son artificialisation.

En vue de s'appuyer plus directement sur les termes dans lesquels est actuellement posé le débat sur l'artificialisation des sols, la présente synthèse a pris le parti d'une structure fortement inspirée de ses enjeux. Après un examen critique des méthodes de mesure de l'artificialisation des sols et des résultats qui en sont issus dans le cas français (chap. 1), on se concentrera tout d'abord sur ses impacts environnementaux, en tentant de se limiter aux effets les plus directs sur l'environnement. En effet, les sols artificialisés supportant l'ensemble des activités économiques et sociales, non agricoles et non forestières, il y a lieu d'éviter d'attribuer à la seule artificialisation des sols *tous* les impacts de *toutes* les activités humaines (non agricoles et non forestières) dont ces sols sont simplement le support. Un premier focus portera sur les effets très directs de l'artificialisation sur les

sols eux-mêmes tant du point de vue de leurs propriétés physicochimiques que de leur biologie (chap. 2). L'attention sera ensuite portée sur les impacts des milieux artificialisés sur leur environnement, en abordant successivement les effets directs sur la biodiversité terrestre, la fragmentation des paysages et l'hydrologie urbaine, puis quelques-uns des effets indirects sur le climat urbain et sur ses pollutions atmosphériques (chap. 3). La considération de ces quelques effets indirects, inscrite au cahier des charges de l'ESCO, peut être vue ici comme une manière d'explorer certains des effets négatifs de l'urbanisation que les ménages cherchent le cas échéant à éviter en se « périurbanisant », accentuant ainsi les changements d'usage des sols dans les espaces périurbains. Un intérêt particulier sera porté aux effets directs et spécifiques de l'artificialisation des sols sur le secteur et l'activité agricoles, notamment dans les franges urbaines et les espaces périurbains : perte de terres agricoles, réduction des capacités productives, pression foncière et conditions d'exercice de l'activité agricole (chap. 4). Les déterminants et impacts économiques et sociaux de l'artificialisation ne seront examinés que dans un second temps et s'organiseront autour des stratégies de localisation résidentielle des ménages et de la demande en construction de logements qui en découle (chap. 5), puis des stratégies de localisation des activités économiques avec deux illustrations spécifiques : l'une relative à la construction d'entrepôts et plateformes logistiques ; l'autre aux infrastructures de transport (chap. 6). Enfin, seront étudiées les réponses que les politiques publiques peuvent apporter à l'artificialisation des sols (chap. 7).

1. Des méthodes de mesure à l'estimation de l'artificialisation des sols

COMPTE TENU DES ÉCARTS D'UNE SOURCE FRANÇAISE À L'AUTRE sur les surfaces artificialisées et sur leurs évolutions récentes, il est nécessaire, en tout premier lieu, de faire le point sur les approches et les méthodes qui permettent ce type de mesure, et sur la façon dont elles sont mobilisées par la statistique publique pour en comprendre les incertitudes et les limites. C'est sur ces bases que l'on pourra comprendre les écarts relevés entre les sources au niveau français et être en mesure d'analyser le poids et la nature des sols artificialisés ainsi que les tendances d'évolution de l'artificialisation en France, tout en replaçant ces tendances dans un contexte européen. Une chose est sûre, en dépit des écarts sur l'évaluation du taux d'artificialisation, toutes les sources convergent pour conclure à une tendance à l'augmentation de l'artificialisation, tant en France que sur le territoire européen.

Objets et méthodes de mesure des changements d'affectation des sols

AUCUNE DES MÉTHODES QUI PERMETTENT D'IDENTIFIER les sols artificialisés et d'appréhender cette artificialisation ne vise directement cet unique objectif. Toutes ont, par essence, vocation à appréhender l'ensemble d'un territoire et d'y examiner les différents types d'affectation des sols qui le composent et les changements d'affectation de ces sols. C'est donc par une adaptation de la catégorisation des affectations des sols que sera repérée leur artificialisation, qui apparaîtra comme catégorie d'une typologie des usages, elle-même composée d'éventuelles sous-catégories. C'est sur ces méthodes d'analyse de l'affectation des sols et sur leur capacité à cerner les sols artificialisés que nous nous penchons ici, après avoir précisé les objets qui concernent plus particulièrement l'artificialisation.

I Objet de la mesure

Les « objets » mesurés sont associés à plusieurs échelles spatiales qui se focalisent sur plusieurs types d'éléments allant du bâtiment à la parcelle, à l'îlot, au quartier, à l'agglomération voire à la tache urbaine. La mesure de l'artificialisation renvoie à trois objets : les surfaces, la tache urbaine et le changement d'affectation des sols.

Les surfaces

Par définition, les surfaces artificialisées sont des surfaces retirées de leur état « naturel », forestier ou agricole, qu'elles soient bâties, revêtues ou non. Elles incluent les sols bâtis à usage d'habitation ou à usage industriel ou commercial (bureaux, usines, etc.), les sols revêtus ou stabilisés (routes, voies ferrées, aires de stationnement, ronds-points, etc.), et d'autres espaces non construits mais fortement perturbés par l'activité humaine (chantiers, carrières, mines, décharges, etc.). Cette catégorie inclut également des espaces verts artificialisés (parcs et jardins urbains, équipements sportifs et de loisirs, etc.). Les surfaces artificialisées se distinguent, entre elles, par leur degré d'imperméabilisation et la nature des perturbations que leurs sols ont subies.

On notera bien toutefois que certaines zones dites non artificielles peuvent tout à fait être imperméables et des zones dites artificielles être parfaitement perméables.

La tache urbaine

La tache urbaine désigne le contour de l'expansion urbaine. Le large recours à cette notion, notamment dans les approches mobilisant la télédétection, s'explique par sa facilité de calcul, souvent à partir d'images Landsat gratuites. Grâce à la disponibilité d'images à haute résolution Spot avec un capteur panchromatique à 10 m, la limite de cette tache urbaine a fait l'objet d'une série d'analyses afin de mieux rapprocher les définitions statistique et satellitaire. La tache urbaine — terme à connotation négative mais qui renvoie bien à la technique du traitement d'image où l'on perçoit une tache grisâtre — est une composante majeure de la couverture du sol et un indicateur de son utilisation. Elle est retenue comme une variable importante dans de nombreuses études urbaines ou environnementales.

La tache urbaine ne décrit pas la totalité de l'artificialisation puisqu'elle se focalise sur l'espace urbanisé, et omet, par exemple, les nombreuses infrastructures de transport qui relient les taches urbaines.

Le changement d'affectation des sols, l'artificialisation

L'artificialisation considère les modifications des surfaces initiales en espaces artificialisés (transformés pour un usage non agricole), sur un pas de temps donné. Plusieurs éléments peuvent être observés : la localisation, le type et les rythmes de ces changements. Au vu de la littérature scientifique, relativement peu d'exemples se fondent sur une comparaison de plus de deux dates, alors que cela permettrait d'observer des trajectoires et des rythmes de croissance. Les limites de telles approches sont autant méthodologiques que techniques et financières, bien que l'ouverture récente d'images d'archives gratuites a créé un réel engouement pour des travaux sur séries temporelles.

■ Méthodes de mesure

Parmi les différentes méthodes mobilisables pour repérer les sols artificialisés et étudier l'artificialisation des sols, le traitement d'images satellitaires est largement utilisé.