



**HAL**  
open science

## Approche topographique historique de la notion d'artificialisation

Mathieu Fernandez, Philippe Branchu, Emmanuel Dumont, André Guillerme, Laurence Lestel, Edwige Pons-Branchu, David Ramier, Matthieu Roy-Barman

### ► To cite this version:

Mathieu Fernandez, Philippe Branchu, Emmanuel Dumont, André Guillerme, Laurence Lestel, et al.. Approche topographique historique de la notion d'artificialisation: Étude de deux zones d'urbanisation en mégapole parisienne (XIXe-XXIe siècles). Samuel Depraz. Cahiers ESPI2R - Qu'est-ce qu'artificialiser veut dire? Définitions comparées de l'artificialisation des sols en contexte de contrainte foncière forte, , 2023. halshs-04438769

**HAL Id: halshs-04438769**

**<https://shs.hal.science/halshs-04438769>**

Submitted on 5 Feb 2024

**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

## Cahiers ESPI2R

# Approche topographique historique de la notion d'artificialisation

Étude de deux zones d'urbanisation en mégapole parisienne (XIX<sup>e</sup>-XXI<sup>e</sup> siècles)

**Mathieu Fernandez, Philippe Branchu, Emmanuel Dumont, André Guillerme, Laurence Lestel, Edwige Pons-Branchu, David Ramier et Matthieu Roy-Barman†**

### Citer cet article

FERNANDEZ, M., BRANCHU, P., DUMONT, E., GUILLERME, A., LESTEL, L., PONS-BRANCHU, E., RAMIER, D., & ROY-BARMAN†, M. (2023). Approche topographique historique de la notion d'artificialisation. Dans S. DEPRAZ (dir.), *Qu'est-ce qu'artificialiser veut dire ? Définitions comparées de l'artificialisation des sols en contexte de contrainte foncière forte*. Mis en ligne le 22 décembre 2023, *Cahiers ESPI2R*, consulté le 05 février 2024. URL : <https://www.cahiers-espi2r.fr/1345> (<https://www.cahiers-espi2r.fr/1345>)

### RÉSUMÉ

Deux systèmes de drainage et d'adduction d'eau ont existé à Paris avant les systèmes contemporains mis en place à partir du XIX<sup>e</sup> siècle : le réseau des sources du Nord (XIII<sup>e</sup> siècle) et l'aqueduc Médicis (XVII<sup>e</sup> siècle). Ces systèmes, constitués notamment de pierrées, de conduites et d'aqueducs, ont drainé depuis le Moyen Âge et l'époque moderne deux nappes dites perchées, afin d'approvisionner des fontaines publiques et des bâtiments religieux ou royaux sur

les deux rives de la Seine. Un projet de recherche (<https://huniwers.cnrs.fr/> (<https://huniwers.cnrs.fr/>)) consiste à mieux comprendre les effets de l'urbanisation sur le drainage de ces nappes par modélisations de leur fonctionnement lié à l'hydrogéologie et tenant compte des données historiques archivées (topographie urbaine, plans, débits, etc.). Pour cela, une reconstitution fine de l'évolution de l'occupation du sol sur deux siècles a été entreprise dans deux zones au cœur de la ville dense actuelle, vastes de plusieurs dizaines d'hectares.

## INDEX

---

### MOTS-CLÉS

[cadastre](#), [MOS](#), [SIG](#), [urbanisation](#), [imperméabilisation](#), [artificialisation](#)

## PLAN

---

### Introduction

[Une problématique environnementale liée au fonctionnement de la nappe phréatique en milieu urbain](#)

[Hypothèses sur l'interpolation d'archives cartographiques urbaines](#)

[Résultats sur l'occupation du sol et l'imperméabilisation](#)

[Un autre paramètre de l'artificialisation lié à l'urbanisation : les remblais](#)

### Discussions

[Discussion sur la technique cartographique](#)

[Discussion sur les techniques de l'urbanisme](#)

[Discussion sur les approches contemporaines de la notion d'artificialisation](#)

## TEXTE INTÉGRAL

---

Le projet HUNIWERS (« Impact historique de l'urbanisation sur la qualité de l'eau : étude diachronique en région parisienne »), financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR 18-CE22-0009), a permis de mener à bien cette recherche.

# Introduction

1 Cet article contribue à la question de la mesure de l'occupation des

sols dans le but notamment d'affiner l'opposition entre artificiel et naturel. Il mobilise des méthodes topographiques historiques à partir de systèmes d'information géographique (SIG) et de diverses sources cartographiques sur deux terrains spécifiques à Paris et dans sa périphérie proche, couramment nommée petite couronne. La méthode se veut générique, étant liée à des productions cartographiques structurantes des deux derniers siècles.

- 2 Les réflexions primordiales proviennent de problématiques environnementales concernant la nappe phréatique en milieu urbain. À des fins de modélisation, les recherches portent notamment sur l'évolution de paramètres environnementaux dans la longue durée. L'occupation du sol est un paramètre essentiel si l'on considère par exemple la recharge des nappes phréatiques ou les potentielles contaminations des sols. Les sources historiques, en tant que jalons mesurés et archivés, permettent alors de fixer des états de référence dûment documentés.
- 3 Le renouvellement de l'exploitation des sources spatiales par les SIG permet d'élargir plusieurs échelles d'analyse – temporelles et spatiales – et justifie l'emploi de la formule « approche topographique historique ». Une synthèse des questions initiales ayant nécessité la création des outils – reconstitutions de cadastres et de modes d'occupation de sols diachroniques, évaluation des matériaux de construction urbains, évaluation de la démographie historique – précède la description détaillée de ces derniers. Enfin, les résultats sont présentés concernant deux zones urbaines à l'urbanisation décalée historiquement sur une plage temporelle de deux siècles et permettent enfin la discussion sur la notion d'artificialisation.

## Une problématique environnementale liée au fonctionnement de la nappe phréatique en milieu urbain

- 4 Le projet de recherches HUNIWERS (PONS-BRANCHU, 2018), qui sert de support à la présente étude, a pour objectif de mieux comprendre les effets de l'urbanisation sur le fonctionnement des nappes d'eau souterraines urbaines, tant sur le plan quantitatif que qualitatif. L'état actuel est ainsi comparé à l'état passé, en s'appuyant sur un certain nombre de données historiques archivées (plans topographiques, chroniques de débits, sondages géologiques, etc.), en simulant l'évolution des débits mesurés dans les réseaux de drainage à l'aide de modèles pluie-débit diachroniques et en utilisant des concrétions calcaires<sup>1</sup> comme archives environnementales pour étudier les variations au cours du temps d'espèces chimiques dans les nappes (figure 1).

**Figure 1. Deux lieux de prélèvement de concrétions calcaires : le regard Saint-Martin, appartenant au réseau des sources du Nord, et le regard XIII de l'aqueduc de Rungis**



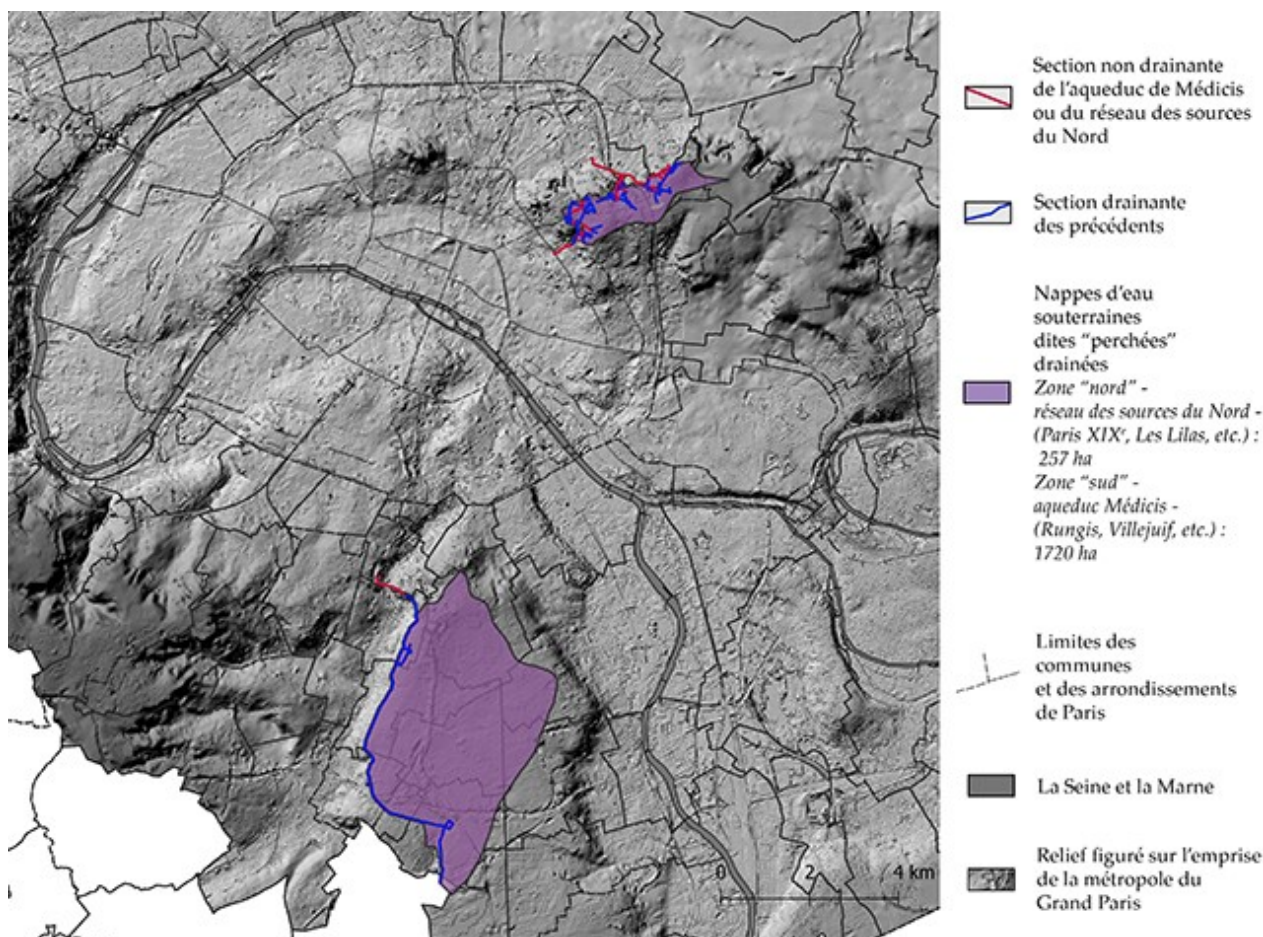
© Mathieu Fernandez

- 5 En entrée de tels modèles pluie-débit se trouvent des données issues d'archives urbaines : la température, la pluviométrie, les débits mesurés à certaines époques par les gestionnaires des réseaux ou encore l'occupation du sol supposée, qui engendre un certain taux d'imperméabilisation. Pour cela, une reconstitution fine de l'évolution de l'occupation du sol sur deux siècles a été entreprise dans deux zones actuellement intégrées à la ville dense, vastes de plusieurs centaines d'hectares. Elles sont comprises pour la première entre les

xix<sup>e</sup> et xx<sup>e</sup> arrondissements de Paris, les communes des Lilas, du Pré-Saint-Gervais et de Romainville tandis que la seconde concerne les communes de Rungis, Villejuif, Cachan, Fresnes, Chevilly-Larue, L'Haÿ-les-Roses, Villejuif, Thiais, Vitry-sur-Seine.

- 6 Il s'agit des zones de drainage des deux principaux systèmes d'alimentation en eau de la ville de Paris précédant la mise en place des systèmes contemporains à partir du xix<sup>e</sup> siècle : le réseau des sources du Nord (xiii<sup>e</sup> siècle) et l'aqueduc de Rungis, dit aussi « de Médicis » (xvii<sup>e</sup> siècle), notamment constitués de pierrées, de conduites et d'aqueducs. Ces équipements hydrauliques, fonctionnant encore partiellement, ont drainé depuis le Moyen Âge ou l'époque moderne deux nappes d'eau souterraines dites « perchées » afin d'approvisionner des fontaines publiques et des bâtiments religieux ou royaux sur les deux rives de la Seine (figure 2). Leur modélisation topographique, préalable à ce travail, fait appel à un travail de récolement et d'interpolations avec des outils SIG de données archivées (plans et parcellaire du xix<sup>e</sup> siècle, sondages géologiques et piézométrie) (FERNANDEZ *et al.*, 2022).

**Figure 2. Les nappes d'eau souterraine dites « perchées » drainées par le réseau des sources du Nord (zone « nord ») et par l'aqueduc de Rungis (zone « sud »)**



Communes, rivières, relief : Apur Open Data.

Réalisation : Mathieu Fernandez.

## Hypothèses sur l'interpolation d'archives cartographiques urbaines

- 7 La méthode, poursuivant certaines recherches sur cette problématique (FRANCK-NÉEL *et al.*, 2015), consiste à interpoler temporellement des catégories stables définissant l'occupation du sol au sein d'un nombre limité de mesures historiques. Ces mesures proviennent d'archives cartographiques de première main traitées sous SIG et dont le processus de création maîtrisé assure la possibilité de comparaisons.
- 8 Un détour chronologique est utile afin de montrer que la compréhension des modalités de production des données urbaines par diverses institutions est une porte d'entrée essentielle pour



orienter la stratégie générique de la recherche.

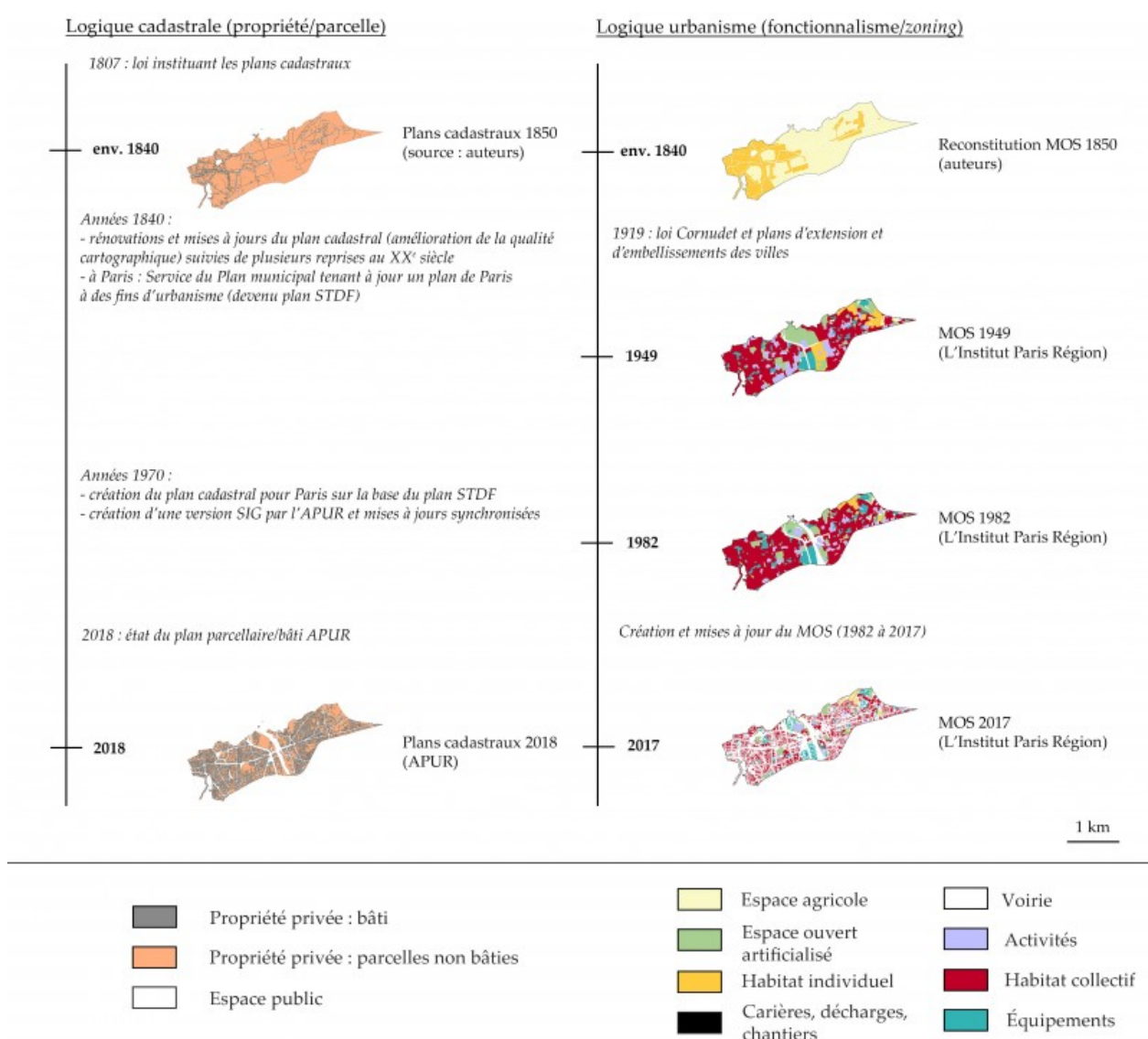
- 9 Le plan parcellaire cadastral est institué nationalement en 1807 et se perpétue jusqu'à aujourd'hui, entretenu par les services fiscaux (BOURILLON, 2007 ; FERNANDEZ & GRIBAUDI, 2021). Si des spécificités ont par exemple existé à Paris, où le plan du service technique de la documentation foncière (STDF) a été la base des travaux d'urbanisme jusqu'à la création tardive d'un plan cadastral au cours des années 1970, le cadastre fournit une donnée d'une grande stabilité dans le temps en cartographiant espaces publics, bâti et parcelles non bâties dont il est possible de fournir des surfaces après traitements géomatiques<sup>2</sup>. Si la voirie est assimilée à l'espace public, ce sont des éléments les plus structurants de l'occupation urbaine du sol qui deviennent quantifiables *a posteriori* et non la seule opposition propriété privée/propriété publique.
- 10 On peut trouver une version synchronisée avec le cadastre et mise à jour avec ce dernier dans les données libres de l'Atelier parisien d'urbanisme (APUR) sous un format compatible avec les SIG, c'est-à-dire propice à des études spatiales urbaines<sup>3</sup>. Il convient de noter que de nombreux plans urbains du XIX<sup>e</sup> siècle sont des émanations des plans cadastraux issus d'assemblages cartographiques et de réductions (par exemple, l'atlas communal du département de la Seine d'Onésime Théodore Lefèvre au 1/5 000<sup>e</sup> en 1874).
- 11 La naissance de l'urbanisme est généralement associée à loi Cornudet de 1919 qui, notamment, impose à toutes les communes du département de la Seine de réaliser un plan d'aménagement, d'embellissement et d'extension (CALABI, 1998). Il existe par exemple un plan de 1922 qui donne une première image d'un assemblage des *zonings* urbains (industrie, habitat, etc.) des communes entourant Paris (PRÉFECTURE DE LA SEINE, 1922). C'est cette même logique de typologie de zonage par masses plus ou moins affinées que l'on retrouve dans les modes d'occupation du sol (MOS)<sup>4</sup> déployés à partir de 1982 en Île-de-France. Visant à observer un état existant de l'occupation des sols par catégorie, ils sont mis à jour tous les quatre



à cinq ans par L'Institut Paris Region. Dans les MOS, nous trouvons des agglomérats reliés à une fonction urbaine nomenclaturée.

- 12 Pour chacune des zones étudiées, une partie des sources précitées est exploitée ou créée à des fins d'analyse spatiale. Les choix sont réalisés dans la mesure de la disponibilité des données libres et du temps disponible pour en produire de nouvelles. La figure 3 ci-dessous montre les sources brutes sélectionnées pour décrire la zone « nord » parmi les deux zones définies dans la figure 1.

**Figure 3. Sources topographiques historiques disponibles et reconstituées pour la zone « nord »**



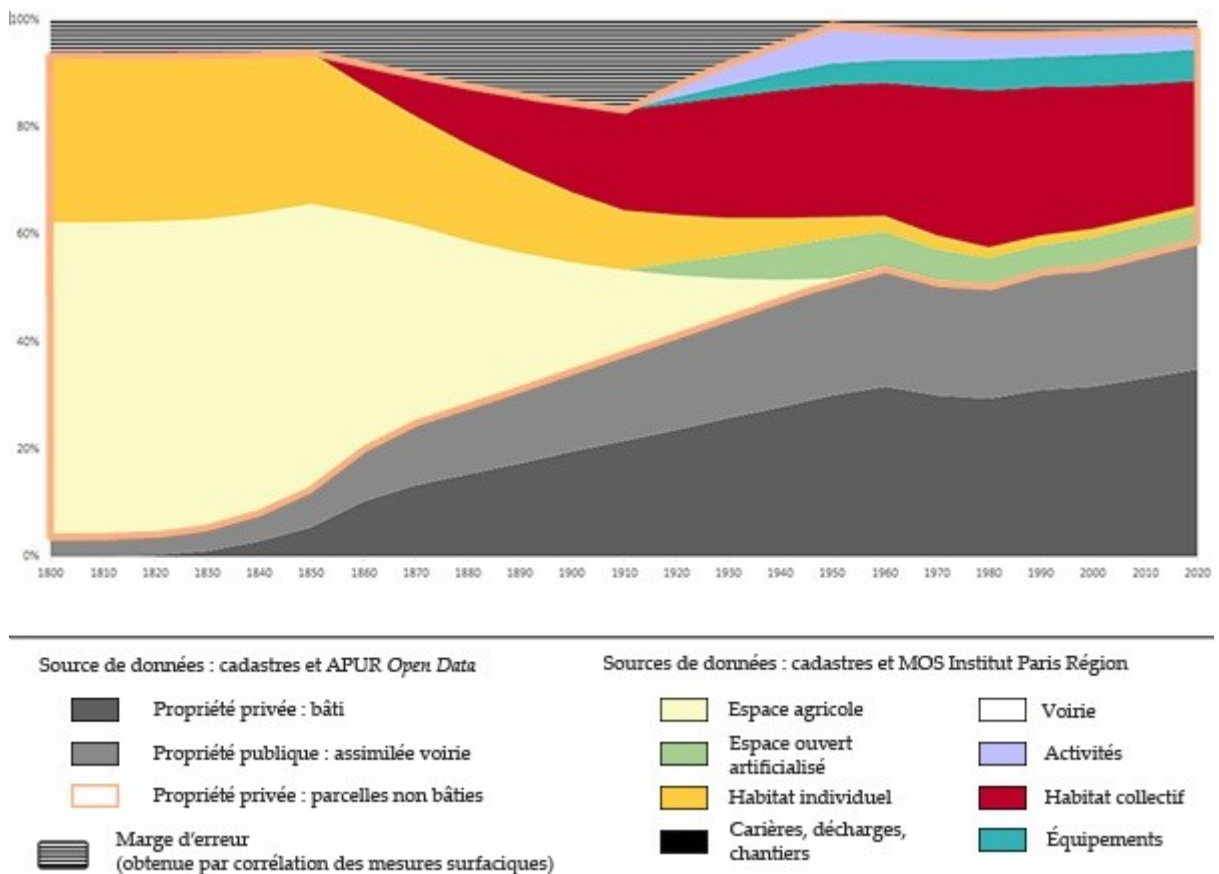
Réalisation : Mathieu Fernandez.

- 13 Sans nous attarder ici sur les opérations de géoréférencement et de vectorisation, pourtant essentielles afin d'assurer la comparaison possible entre les sources diachroniques par le contrôle des marges d'erreurs cartographiques, soulignons qu'elles sont à produire *ad hoc* lorsque les travaux de SIG historiques restent à réaliser. Il s'agit, dans la figure 3, des plans cadastraux des années 1810–1850 et du MOS associé. Les MOS de 1982 et de 2017 sont retenus ainsi que celui de 1949 réalisé récemment sur la base d'images aériennes par L'Institut Paris Region. Enfin, les données contemporaines issues de la mesure cadastrale, qui restent la donnée urbaine de référence depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, sont rendues disponibles par les données libres de l'APUR.

## Résultats sur l'occupation du sol et l'imperméabilisation

- 14 À l'issue de ce travail sur les sources, les huit catégories du MOS quantifiées et les trois catégories cadastrales – bâti, parcelle non bâtie, espace public – sont interpolables et agrégeables au cours du temps. Pour le bâti et la voirie, une interpolation est réalisée en pondérant par la population de la zone étudiée. Les parcelles non bâties sont discrétisées dans les catégories du MOS et interpolées linéairement dans le temps entre les points de mesures historiques. L'exactitude des mesures datées, atteinte par l'analyse spatiale SIG, permet de borner précisément l'interpolation entre les dates des sources et de limiter les marges d'erreur, elles-mêmes représentées dans la figure 4.

**Figure 4. Occupation du sol estimée au cours de plus de deux siècles sur la zone « nord » par interpolation de données historiques**



Réalisation : Mathieu Fernandez.

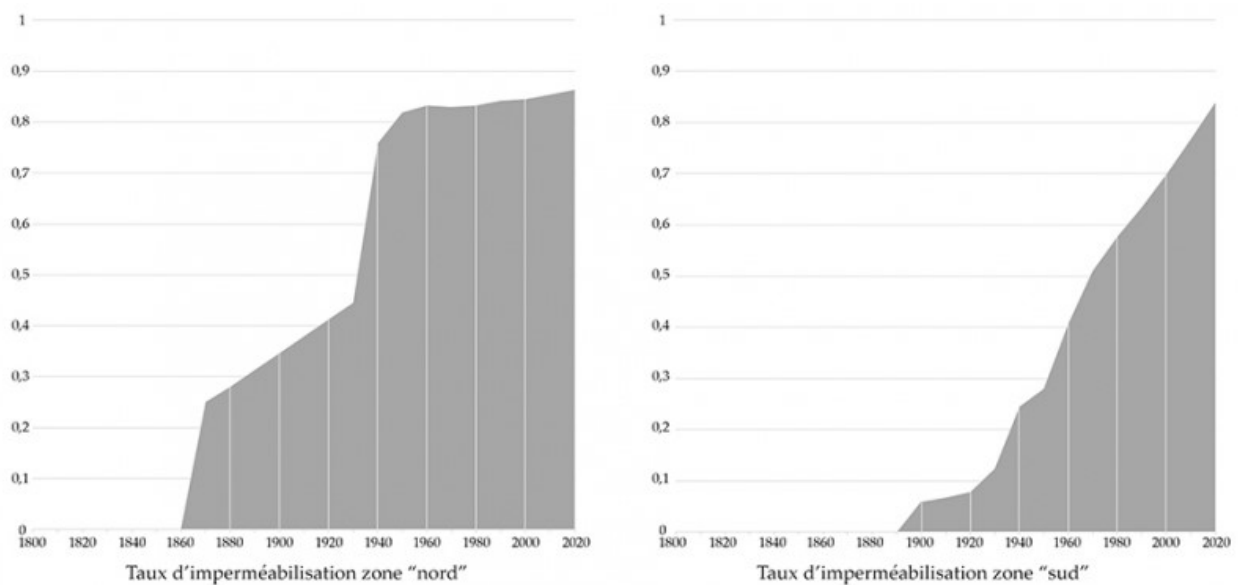
- 15 Un dernier travail consiste à transformer ces résultats surfaciques en résultats concernant l'imperméabilisation du sol. Certaines hypothèses complémentaires doivent être détaillées. Le raccord à l'égout est estimé, pour la zone « nord » (XIX<sup>e</sup> arrondissement de Paris, Les Lilas, etc.), en fonction des techniques de mises à l'égout, ici considérées comme en diffusion à partir des années 1870 dans la partie périphérique de Paris (dont les XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> arrondissements) et vers 1900-1920 dans la banlieue proche de Paris (dont Les Lilas, le Pré-Saint-Gervais et Romainville). Nous pouvons ici nous fonder sur la carte des égouts produite par Alphand (1889) pour Paris et sur *l'État des communes à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle* (DÉPARTEMENT DE LA SEINE, DIRECTION DES AFFAIRES DÉPARTEMENTALES, 1899 & 1900) qui fait état d'un système moyennement étendu aux Lilas et assez minimal à Romainville en 1900.
- 16 Les parties non bâties des zones d'activités (notamment industrielles et commerciales) et des équipements sont estimées bituminées et drainées par des systèmes d'évacuation d'eau pluviale à partir

de 1940. L'habitat collectif est considéré comme équipé de parkings imperméabilisés à partir de la même date ainsi qu'une partie de l'habitat individuel avec des aménagements de type parking individuel ou autre équipement de jardin. Ces quelques hypothèses liées à l'évolution des techniques urbaines permettent d'associer à chaque évolution surfacique observée dans la figure 4 un coefficient d'imperméabilisation arbitrairement fixé à 0, 0,25, 0,5, 0,75 ou 1. Le tableau 1 présente les taux choisis. Il convient de noter qu'une étude plus approfondie basée sur des photos historiques ou des documents d'archives ou de recherches précisant l'état des techniques urbaines aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles permettrait d'affiner ces critères et leurs datations.

**Tableau 1. Coefficients d'imperméabilisation affectés à l'occupation du sol des parcelles non bâties pour les zones « nord » et « sud » (analyse basée sur la connaissance topographique urbaine historique notamment les égouts)**

<b>Catégorie (voir figures 3 et 4)</b>	<b>Coefficient d'imperméabilisation affecté</b>
Bâti	0 de 1800 à 1860 ; 1 à partir de 1870 dans la zone « nord » et de 1900 pour la zone « sud »
Voirie	0 de 1800 à 1860 ; 1 à partir de 1870 dans la zone « nord » et de 1900 pour la zone « sud »
Agricole	0 de 1800 à 2020
Espace ouvert	0 de 1800 à 2020
Habitat individuel	0 de 1800 à 1930 ; 0,25 à partir de 1940
Habitat collectif	0 de 1800 à 1930 ; 0,75 à partir de 1940
Équipements	0 de 1800 à 1930 ; 1 à partir de 1940
Activités	0 de 1800 à 1930 ; 1 à partir de 1940
Carrières, décharges, chantiers	0 de 1800 à 1930 ; 1 à partir de 1940

**Figure 5. Évolution interpolée des taux d'imperméabilisation estimés sur deux siècles au sein des zones « nord » et « sud »**



Réalisation : Mathieu Fernandez.

- 17 Le résultat présenté dans la figure 5 ci-dessus est une estimation de l'évolution d'imperméabilisation des sols sur deux zones urbaines denses mais distinctes dans leur processus d'urbanisation. La zone « nord » fait partie de l'emprise urbaine de Paris ou en subit les effets dès l'extension des années 1860<sup>5</sup> tandis que la zone « sud » connaît une forte densification lors des opérations d'aménagement des années 1960 (flux routiers, logistique, aéroport, opérations de construction d'habitat collectif et individuel éloignées du centre-ville). Le taux d'imperméabilisation montre en toute logique des comportements différents, liés à la fois à l'âge de l'extension urbaine mais également en grande partie à l'évolution des techniques ayant globalement tendu vers davantage d'imperméabilisation. Le taux de 80 à 90 % d'imperméabilisation, qui semble être un palier, est atteint avec environ 70 ans d'écart.
- 18 La figure 5 permet également de mesurer l'intérêt du croisement des deux grands types de sources urbaines mis en évidence initialement. En effet, une occupation des sols mesurée sur la seule base de données agrégées, telles que celles de CORINE Land Cover (version européenne des modes d'occupation des sols à granulométrie très

large) ou des MOS<sup>6</sup>, donnerait des taux d'artificialisation du sol ne permettant pas d'observer finement l'évolution de l'imperméabilisation au cours du temps. Les zones totalement imperméables, telles que le bâti ou la voirie, sont en effet ramenées ici à leurs emprises réelles inférieures à celles issues des données agrégées qui reflètent, comme nous l'avons dit précédemment, la notion de fonction urbaine. Par exemple, une parcelle contenant un bâtiment d'habitat sera entièrement considérée comme bâti dans un MOS.

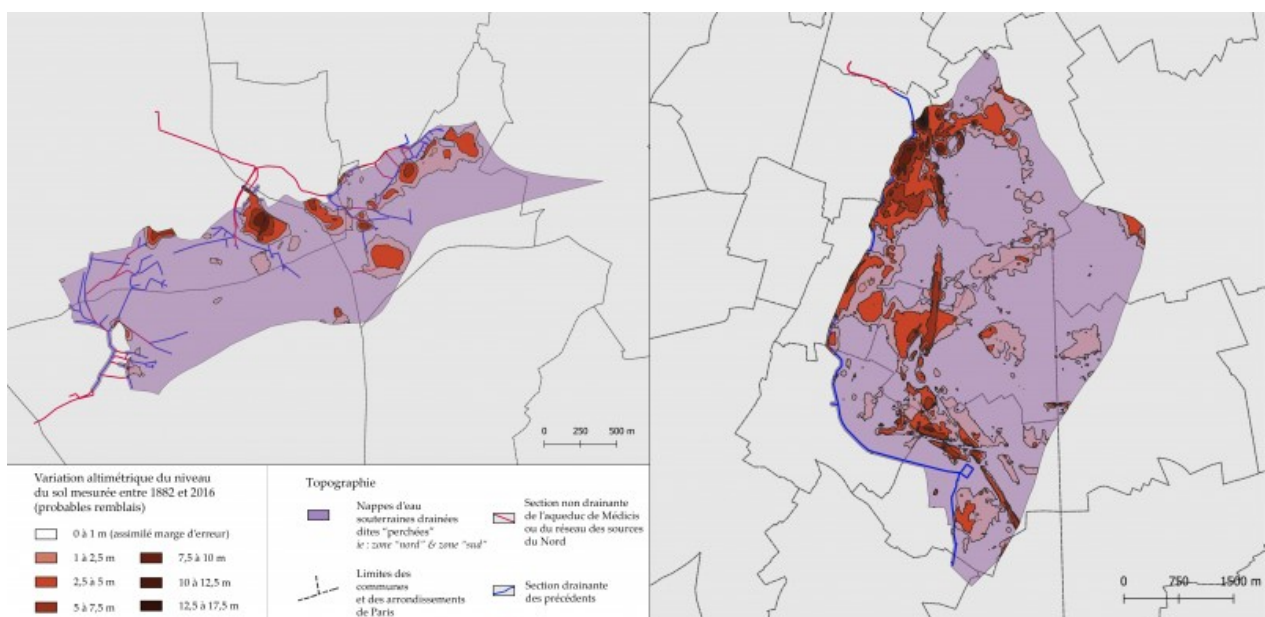
- 19 Notre méthode permet, au niveau de l'espace, de ramener le bâti à son emprise réelle et ainsi de mettre l'accent sur les parties non bâties des parcelles. Une fois cette question cartographique prise en compte, celle de l'imperméabilisation devient largement une problématique d'urbanisme et de techniques liées à des aménagements urbains. Elle apparaît en effet comme résultant de la morphologie urbaine d'une part et des choix d'aménagements liés aux sections non bâties des parcelles et à l'évacuation d'eaux pluviales d'autre part, qui peuvent être rejetées dans les réseaux d'assainissement ou infiltrées dans les sols.

## Un autre paramètre de l'artificialisation lié à l'urbanisation : les remblais

- 20 L'approche topographique historique tridimensionnelle permet de préciser une autre mesure liée à la notion d'artificialisation. Elle caractérise notamment la constitution de remblais au cours de l'urbanisation. Cette composante tridimensionnelle de l'artificialisation des sols, présente dans la majorité des secteurs urbanisés, recouvre le sol originel par une couche hétérogène tant en épaisseur qu'en composition physico-chimique. Il s'agit du « tout venant » couramment employé au cours des opérations d'aménagement jusqu'aux prises en compte récentes de l'économie circulaire (DIAB & FERNANDEZ, 2020).

- 21 Il convient de remarquer que, si sa matérialité ne fait aucun doute, cette strate n'apparaît pas dans les données cartographiques classiques et sur peu de cartes géologiques. Elle est « recouverte » par l'information parcellaire et fonctionnelle de l'urbanisme, faisant oublier cette artificialité de l'aménagement pourtant bien connue des archéologues, géologues ou ingénieurs en fondation. À titre d'exemple, nous nous bornerons à citer le parc départemental Georges-Valbon à La Courneuve qui est une décharge pour matériaux inertes du secteur du BTP dans les années 1960 à 1970 (FERNANDEZ, 2018) et qui est classé depuis 1982 dans la catégorie « espace ouvert artificialisé » du MOS contenant notamment les parcs urbains.
- 22 L'analyse spatiale des sources historiques par les outils SIG donne des résultats innovants qui permettent notamment de pallier l'absence de représentation de cette strate. Nous ne reviendrons pas ici sur la méthode qui a déjà été décrite dans de précédentes publications (FERNANDEZ, 2018). La figure 6 illustre la présence de remblais mesurée par comparaison des données spatiales historiques dans les zones étudiées.

**Figure 7. Mesure cartographique des remblais accumulés depuis le XIX<sup>e</sup> siècle dans les zones « nord » et « sud »**



Réalisation : Mathieu Fernandez.



- 23 Nous ne donnerons pas de mesures surfaciques exactes qui auraient tendance à masquer des marges d'erreur évidentes liées aux sources historiques. Néanmoins, c'est une surface d'environ 16 % pour la zone « nord » et 30 % pour la zone « sud » que la mesure cartographique montre recouverte d'une couche de remblais de plus d'un mètre d'épaisseur avec des *maxima* respectivement de 12,5 et 17,5 mètres.
- 24 Nous insistons ici sur les remblais car il s'agit de l'exutoire privilégié des déchets du secteur du BTP bien avant la médiatisation liée aux lois récentes sur l'économie circulaire. Leur composition hétéroclite contribue physiquement à l'artificialisation. Il convient enfin de remarquer que les déblais, observables avec la même méthode mais non représentés ici, amènent également une artificialisation au sens géologique en décaissant le sol naturel et les terres végétales et alluvionnaires. Pour donner ce seul exemple, le boulevard périphérique parisien entaille d'une dizaine de mètres le sol naturel entre les portes des Lilas et de Bagnolet.

## Discussions

- 25 Pour conclure, nous privilégions la discussion sur des thèmes qui nous paraissent particulièrement bien mis en lumière par les deux zones urbaines « nord » et « sud » explorées en détails (figure 2). Si les questions initiales traitées par la recherche sont bien spécifiques et concernent notamment la modélisation de l'imperméabilisation, la discussion est possible autour des thèmes plus larges qui font l'objet de la présente journée d'étude.
- 26 Nous n'avons abordé qu'une partie de la question de l'artificialisation en milieu urbain. Celle que nous avons décrite, qualifiable de statique, est liée au tissu urbain constitué au cours du temps et observé du point de vue topographique. Elle ne contient donc pas une description physico-chimique de l'état des sols, pourtant importante pour parler des effets de l'artificialisation sur l'écosystème urbain, ni une vision dynamique liée à l'extension urbaine pouvant être décrite par le métabolisme urbain et contenant par exemple les flux de

matière, d'énergie, les impacts délocalisés liés à l'extraction des matières premières ou à leur transformation sur des sites industriels, etc.

## Discussion sur la technique cartographique

- 27 Le travail présenté montre que la finesse de l'information topographique est importante et permet l'obtention de résultats que l'occupation du sol de type MOS seule n'aurait pas permise. La granularité la plus fine, et avec le pas de temps le plus large, est indispensable pour observer les dynamiques et les évolutions.
- 28 Nous avons démontré que la granulométrie plus large des données ne permettrait pas d'associer le degré d'imperméabilisation dans le temps à l'évolution des techniques urbaines, facteur qui nous semble déterminant une fois les problèmes d'agrégats cartographiques réglés. L'artificialisation au sens d'imperméabilisation est très liée ici au raccord au système d'assainissement des zones urbanisées. Il s'agit d'une technique urbaine évolutive et modulable<sup>7</sup>. L'imperméabilisation des zones urbanisées est bien massive mais repose davantage sur ce dernier facteur que sur une mauvaise granulométrie cartographique de la description urbaine.
- 29 Les données cadastrales et de l'occupation du sol, si elles sont agrégées de manière raisonnée en tenant compte de leur technique de constitution, engendrent ici la mesure de l'occupation du sol dans le temps la mieux sourcée qui soit. Une amélioration pourrait être apportée avec davantage de jalons historiques mesurés. Il s'agit d'un travail de fond pour les humanités numériques qui dépend bien sûr de l'énergie et du nombre de chercheurs ou d'institutions qui produisent des données SIG libres.

## Discussion sur les techniques de l'urbanisme

- 30 Cette expérience nous a permis d'étudier la part de réalité historique

de l'artificialisation liée aux sources primaires de l'évolution topographique urbaine.

- 31 La loi Climat et résilience (2021) porte le concept de zéro artificialisation nette (ZAN) et repose sur une hypothèse de fond qui est la fin progressive de l'extension urbaine. Il convient de signaler que les courbes tendent vers cette diminution depuis un pic atteint à la fin des années 1990 comme le montrent les travaux de Diab & Fernandez (2020) basés sur l'analyse spatiale des données du MOS entre 1982 et 2017. Dans une réflexion sur les formes urbaines, la même hypothèse tend logiquement à mettre l'accent sur le taux d'artificialisation de la ville déjà constituée, existante, notamment à travers son renouvellement, sa densification et sa morphologie.
- 32 Par conséquent, il semble d'autant plus nécessaire de parvenir à saisir les évolutions de la ville existante. Si les extensions urbaines massives contemporaines bien connues telles que l'aménagement en cours du plateau de Saclay ou le projet avorté du Triangle de Gonesse sont bien visibles avec une forte granulométrie cartographique, la désartificialisation ou la désimpermeabilisation des tissus urbains constitués nécessitent de prendre en compte la finesse du tissu : jardins, types de voirie, parkings, réseaux d'évacuation, etc., mais aussi les techniques urbaines, par exemple celles liées à l'affectation des parcelles non bâties (bitume, béton, drainage, remblaiements, etc.).
- 33 La troisième dimension cartographique introduite par la figure 6 tend à montrer que l'artificialisation est également liée aux sols anthropiques : les sols ne sont plus naturels et certains d'entre eux, contaminés, engendrent des choix techniques sur les sites confinés par des chapes d'imperméabilisation visant à respecter les normes sanitaires en vigueur. Le phénomène, ici exploré de manière « statique », est évidemment à raccorder à la question dynamique des impacts délocalisés (extraction de matières premières, sites de transformation, exutoires).
- 34 La notion d'artificialisation confrontée à des phénomènes

morphologiques aussi différents que l'extension massive du bâti, le renouvellement urbain ou l'adaptation de la ville existante engendre donc, au-delà de la cartographie, une problématique d'urbanisme qui sera certainement mise en valeur après la loi Climat et résilience et le concept de ZAN introduit.

## Discussion sur les approches contemporaines de la notion d'artificialisation

- 35 Un des bénéfices de l'approche historique n'est pas seulement d'observer un temps plus long que celui contenu dans les données contemporaines mais c'est également de percevoir les lignes de forces perpétuées dans le temps et pouvant alimenter le besoin de définition du concept d'artificialisation.
- 36 Le plan cadastral, institutionnalisé en 1807 en tant qu'outil de gestion fiscale de la propriété, ainsi que les réformes de l'urbanisme engendrant des plans d'aménagements urbains fonctionnalistes au début du xx<sup>e</sup> siècle, sont les sources les plus claires et stables temporellement pour saisir l'évolution de la forme urbaine. L'approche historique représente donc une source primaire et pérenne pour rechercher un état physique et documenté de l'artificialisation ou bien de l'imperméabilisation. Cette approche historique peut intégrer des données originales pour l'urbanisme comme la géologie ou la mesure tridimensionnelle permettant de dépasser les approches cadastrales – gestion des propriétés publique et privée – ou fonctionnalistes pour atteindre par exemple la physique d'un sol artificiel mais réglementairement désartificialisé en tant que parc urbain. L'artificialisation serait ici à saisir comme une contradiction à un état dit « naturel ».
- 37 Les contributions à la journée d'étude *Qu'est-ce qu'artificialiser veut dire ?* montrent bien que la définition même de l'artificialisation, encore floue derrière les injonctions législatives et politiques récentes, devient potentiellement calquée sur celle de l'imperméabilisation.

38 Au-delà des définitions juridiques, la grande stabilité des sources cartographiques observée dans le temps long montre qu'une refonte des productions cartographiques n'est pas nécessaire. La ville restant conçue et exploitée en tant qu'assemblage de parcelles dont l'urbanisme vise à orienter les fonctions en amont, la profonde inertie des sources liées permet de construire des méthodes d'observation de la réalité physique de l'artificialisation qui y est inscrite et de libérer la discussion du seul aspect technique de la mesure.

## ■ BIBLIOGRAPHIE

---

ALPHAND, A (<https://bibliotheques-specialisees.paris.fr/ark:/73873/pf0000858328/v0001.simple.selectedTab=thumbnail>). (1889). (<https://bibliotheques-specialisees.paris.fr/ark:/73873/pf0000858328/v0001.simple.selectedTab=thumbnail>) *Les travaux de Paris 1789-1889. Atlas. Dressé sous l'administration de M. E. Poubelle, préfet de la Seine sous la direction de M. A. Alphand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux de Paris* (<https://bibliotheques-specialisees.paris.fr/ark:/73873/pf0000858328/v0001.simple.selectedTab=thumbnail>). Imprimerie nationale. (<https://bibliotheques-specialisees.paris.fr/ark:/73873/pf0000858328/v0001.simple.selectedTab=thumbnail>)

ATELIER PARISIEN D'URBANISME – APUR (<https://www.apur.org/fr/nos-travaux/referentiel-une-gestion-source-eaux-pluviales-metropole>). (2018). (<https://www.apur.org/fr/nos-travaux/referentiel-une-gestion-source-eaux-pluviales-metropole>) *Référentiel pour une gestion à la source des eaux* (<https://www.apur.org/fr/nos-travaux/referentiel-une-gestion-source-eaux-pluviales-metropole>) (<https://www.apur.org/fr/nos-travaux/referentiel-une-gestion-source-eaux-pluviales-metropole>) *pluviales dans la métropole* (<https://www.apur.org/fr/nos-travaux/referentiel-une-gestion-source-eaux-pluviales-metropole>). Cahiers 1 à 4. (<https://www.apur.org/fr/nos-travaux/referentiel-une-gestion-source-eaux-pluviales-metropole>)

BOURILLON, F. (2007). 1807-1850, l'histoire des cadastres urbains. Dans P. Clergeot (coord.), *Cent millions de parcelles en France : 1807, un cadastre pour l'Empire* (p. 92-101). Publi-Topex.

CALABI, D. (1998). *Marcel Poëte et le Paris des années vingt : aux origines de « l'histoire des villes »*. L'Harmattan.

DÉPARTEMENT DE LA SEINE, DIRECTION DES AFFAIRES DÉPARTEMENTALES. (1899). *État des communes à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : Romainville*. Montévrain.

DÉPARTEMENT DE LA SEINE, DIRECTION DES AFFAIRES DÉPARTEMENTALES. (1900). *État des*

*communes à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : Les Lilas*. Montévrain.

DIAB, Y. & FERNANDEZ, M. (2020). Vers un projet urbain pour des terres urbaines ? Dans B. Landau & Y. Diab (dir.), *La terre dans tous ses états* (p. 97-110). Presses des Ponts et Chaussées.

FERNANDEZ, M. (<https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12016>). (2018). *La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène. Les couches issues des périodes préindustrielle et industrielle à Paris.* (<https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12016>) *Géocarrefour*, 92 (<https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12016>) (2). (<https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12016>)

FERNANDEZ, M., BLANQUART, C., & VERDEIL, É (<https://doi.org/10.4000/vertigo.23302>). (2018). *La terre et le béton : le projet d'urbanisme considéré sous l'angle du métabolisme territorial.* (<https://doi.org/10.4000/vertigo.23302>) *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 18 (<https://doi.org/10.4000/vertigo.23302>) (3). (<https://doi.org/10.4000/vertigo.23302>)

FERNANDEZ, M., & GRIBAUDI, M. (<https://doi.org/10.3917/rhu.061.0121>) (2021). *Les pièges du plan parcellaire Vasserot. Pour la reconstitution du bâti parisien de la première moitié du* (<https://doi.org/10.3917/rhu.061.0121>) *XIX* (<https://doi.org/10.3917/rhu.061.0121>)<sup>e</sup> (<https://doi.org/10.3917/rhu.061.0121>) *siècle.* (<https://doi.org/10.3917/rhu.061.0121>) *Histoire urbaine*, 61 (<https://doi.org/10.3917/rhu.061.0121>), 119-153. (<https://doi.org/10.3917/rhu.061.0121>)

FERNANDEZ, M., DUMONT, E, BRANCHU, P., GUILLERME, A., LESTEL, L., PONS-BRANCHU, E., RAMIER, D., & ROY-BARMAN, M (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>). (2022). (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>) *Amélioration de l'information spatiale concernant des infrastructures hydrauliques historiques de la Ville de Paris.* Dans (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>) C. Gauchon, S. Jaillet & Union internationale de spéléologie (coord), (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>) *Actes du 18* (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>)<sup>e</sup> (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>) *congrès international de spéléologie*, (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>) *Association française de karstologie*, (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>) (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>) *juillet 2022, Le Bourget Du Lac, France.* (<https://shs.hal.science/halshs-04085440v1>)

FRANCK-NÉEL, C., BORST, W., DIOME, C., & BRANCHU, P. (<https://doi.org/10.1007/s11368-014-1017-y>) (2015). *Mapping the land use history for protection of soils in urban planning: what reliable scales in time and space?* (<https://doi.org/10.1007/s11368-014-1017-y>) *Journal of Soils and Sediments*, 15, (<https://doi.org/10.1007/s11368-014-1017-y>) 1687-1704. (<https://doi.org/10.1007/s11368-014-1017-y>)

FRONDIZI, A. (2018). *Paris au-delà de Paris : urbanisation et révolution dans l'outre-  
octroi populaire, 1789-1860*. [Thèse de doctorat, Institut d'études politiques de  
Paris]

LECAT, P. (2021). *La fabrique d'un quartier ordinaire : le quartier de la Réunion entre  
Charonne et Paris des années 1830 aux années 1930*. [Thèse de doctorat,  
université Gustave-Eiffel].

LEFÈBVRE, O. T. (dir.). (1874). *Atlas communal du département de la Seine.  
Arrondissement de Saint-Denis. Canton de Pantin. Dressé en 1854, révisé en  
1868-1870*. Avril & Wuhrer.

LEFÈBVRE, O. T. (dir.). (1874). *Atlas communal du département de la Seine.  
Arrondissement de Sceaux. Canton de Villejuif. Dressé en 1854, révisé en  
1868-1870*. Avril & Wuhrer.

PONS-BRANCHU, É., ROY-BARMAN, M., JEAN-SORO, L., GUILLERME, A., BRANCHU, P., FERNANDEZ, M.,  
DUMONT, E., DOUVILLE, É., MICHELOT, J.-L., & PHILLIPS, A. M. ([https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/  
27866745](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27866745)) (2017). ([https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/  
27866745](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27866745)) *Urbanization impact on  
sulfur content of groundwater revealed by the study of urban speleothem-like de-  
posits: Case study in Paris, France*. ([https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/  
27866745](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27866745)) *Science of the Total Environment*, 579, ([https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/  
27866745](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27866745)) 124-132. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27866745>)

PONS-BRANCHU, (<https://huniwers.cnrs.fr/>)É (<https://huniwers.cnrs.fr/>). (<https://huniwers.cnrs.fr/>)  
(dir.). (2018). *Impact historique de l'urbanisation sur la qualité de l'eau : étude dia-  
chronique en région parisienne*. Agence nationale de la recherche – ANR. ([https://  
huniwers.cnrs.fr/](https://huniwers.cnrs.fr/))

PRÉFECTURE DE LA SEINE, DIRECTION DE L'EXTENSION DE PARIS, INSPECTION GÉNÉRALE DES SERVICES  
D'ARCHITECTURE ET D'ESTHÉTIQUE ET DE L'EXTENSION DE PARIS, BUREAU D'ÉTUDES. (1922). *Carte du  
département de la Seine au 1/20 000<sup>e</sup> (habitation, industrie, culture, espaces  
libres) dressée d'après une enquête faite en 1921 sous l'administration de  
M. Autrand, préfet de la Seine*.

## \* NOTES

1 Les concrétions calcaires sont formées par le ruissellement ou la percolation de l'eau, par exemple dans une conduite ou une cavité. Lorsque la conduite n'est pas curée ou que le spéléothème (autre nom donné) n'est pas modifié par une intervention extérieure, la stratification peut concerner une plage temporelle de plusieurs siècles.

2 Le terme « géomatique » (formé à partir de « géographique » et « informatique ») désigne



de manière générique le travail sous SIG, c'est-à-dire les logiciels utilisés (*Qgis* est le logiciel libre le plus populaire), les formats de gestion de données (vecteur, raster ou système de projection) ou encore les outils d'analyse spatiale dont le calcul de surfaces n'est qu'un exemple.

3 <https://opendata.apur.org/>

4 Le MOS produit par L'Institut Paris Region comporte 11 catégories (ou « postes ») dans sa version la plus agrégée : forêts ; milieux semi-naturels ; espaces agricoles ; eau ; espaces ouverts artificialisés ; habitat individuel ; habitat collectif ; activités ; équipements ; transports ; carrières, décharges, chantiers. Nous les avons ramenées à 10 dans le cadre de ce travail en fusionnant « forêts » et « milieux semi-naturels ». Par ailleurs, l'absence des catégories « forêts-milieux naturels » et « eau » dans les zones étudiées ainsi que le traitement spécifique donné à la voirie (voir ci-après), ramènent à seulement 8 le nombre de postes exprimés dans les légendes des figures 3 et 4.

5 L'ensemble des communes entourant la ville de Paris est annexé à la municipalité par une loi du 16 juin 1859. Ces communes, en forte poussée démographique liée au développement urbain dès les années 1840, deviennent gérées par l'administration parisienne elle-même dirigée par le préfet de la Seine Georges-Eugène Haussmann, tout particulièrement en ce qui concerne des compétences actuellement associées à l'urbanisme (plan, expropriations, percées et voirie, eau, déchets, espaces publics, etc.) (FRONDIZI, 2018 ; LECAT, 2021).

6 Voir CORINE Land Cover sur le site de Copernicus (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) et le MOS sur le site de L'Institut Paris Region (<https://www.institutparisregion.fr/mode-doccupation-du-sol-mos/>).

7 Qui est en voie d'évolution avec le développement de surfaces et de matériaux poreux tels que les noues urbaines visant à réduire les volumes du ruissellement évacué par les réseaux d'égouts. De manière plus générale, l'idée de « ville poreuse » ou de *sponge city* est développée (APUR, 2018).

## TABLE DES ILLUSTRATIONS



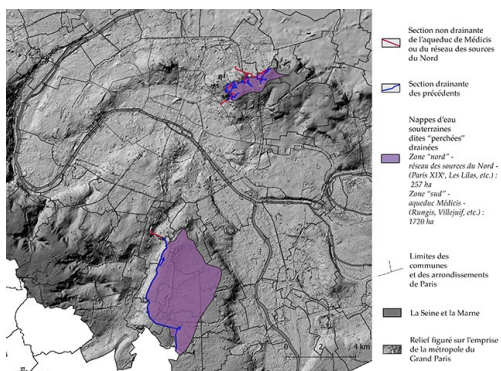
**Figure 1. Deux lieux de prélèvement de concrétions calcaires : le regard Saint-Martin, appartenant au réseau des sources du Nord, et le regard XIII de l'aqueduc de Rungis**

Crédits

© Mathieu Fernandez

URL

[docannexe/image/1345/img-1.jpg](https://docannexe/image/1345/img-1.jpg)



**Figure 2. Les nappes d'eau souterraine dites « perchées » drainées par le réseau des sources du Nord (zone « nord ») et par l'aqueduc de Rungis (zone « sud »)**

Légende

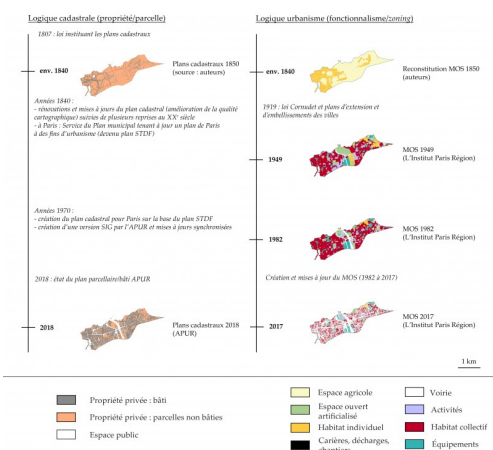
Communes, rivières, relief : Apur Open Data.

Crédits

Réalisation : Mathieu Fernandez.

URL

[docannexe/image/1345/img-2.jpg](https://docannexe/image/1345/img-2.jpg)



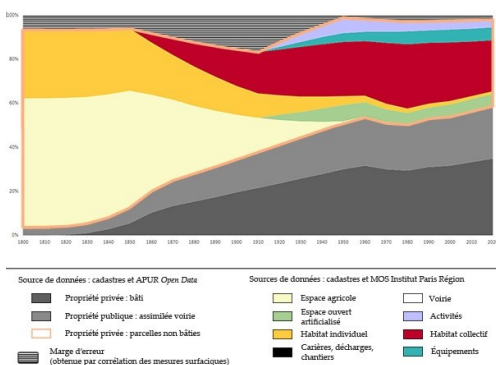
**Figure 3. Sources topographiques historiques disponibles et reconstituées pour la zone « nord »**

Crédits

Réalisation : Mathieu Fernandez.

URL

[docannexe/image/1345/img-3.jpg](https://docannexe/image/1345/img-3.jpg)



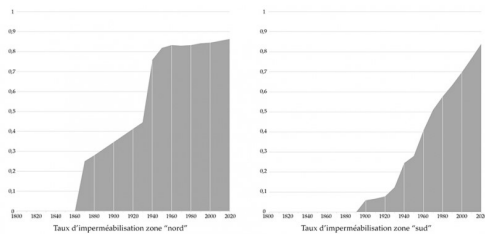
**Figure 4. Occupation du sol estimée au cours de plus de deux siècles sur la zone « nord » par interpolation de données historiques**

Crédits

Réalisation : Mathieu Fernandez.

URL

[docannexe/image/1345/img-4.jpg](https://docannexe/image/1345/img-4.jpg)



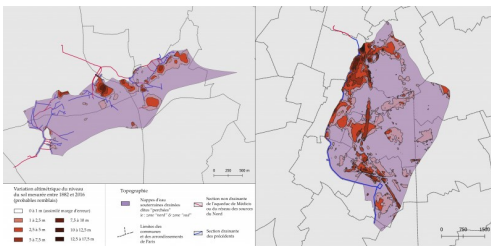
**Figure 5. Évolution interpolée des taux d'imperméabilisation estimés sur deux siècles au sein des zones « nord » et « sud »**

Crédits

Réalisation : Mathieu Fernandez.

URL

<docannexe/image/1345/img-5.jpg>



**Figure 7. Mesure cartographique des remblais accumulés depuis le XIX<sup>e</sup> siècle dans les zones « nord » et « sud »**

Crédits

Réalisation : Mathieu Fernandez.

URL

<docannexe/image/1345/img-6.jpg>

## AUTEURS

**Mathieu Fernandez**

Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE/ Institut Pierre-Simon-Laplace, CEA-CNRS-UVSQ), université Paris-Saclay  
Laboratoire Histoire des techno-sciences en société (CNAM-HT2S)

**Philippe Branchu**

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema)

**Emmanuel Dumont**

Cerema

**André Guillerme**

Laboratoire Histoire des techno-sciences en société (CNAM-HT2S)

## Laurence Lestel

Laboratoire Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols (CNRS-METIS)

## Edwige Pons-Branchu

Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE/ Institut Pierre-Simon-Laplace, CEA-CNRS-UVSQ), université Paris-Saclay

## David Ramier

Cerema

## Matthieu Roy-Barman†

Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE/ Institut Pierre-Simon-Laplace, CEA-CNRS-UVSQ), université Paris-Saclay

### © DROITS D'AUTEUR

---

CC BY-NC-ND 2.0 FR sauf pour les figures et les visuels, pour lesquels il est nécessaire d'obtenir une autorisation auprès des détenteurs des droits.