



Géocarrefour

92/2 | 2018

Visibilité et invisibilité de la pollution des sols dans les territoires (post)industriels : de nouvelles perspectives sur la résilience et la justice environnementale ?

La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène

Les couches issues des périodes préindustrielle et industrielle à Paris

A megacity soil's layer: localised observations about the Anthropocene
The strata from preindustrial and industrial eras in Paris

Mathieu Fernandez



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/geocarrefour/12016>

DOI : 10.4000/geocarrefour.12016

ISSN : 1960-601X

Éditeur

Association des amis de la Revue de géographie de Lyon

Ce document vous est offert par Université Paris Diderot - Paris 7



Référence électronique

Mathieu Fernandez, « La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène », *Géocarrefour* [En ligne], 92/2 | 2018, mis en ligne le 28 décembre 2018, consulté le 08 janvier 2019.

URL : <http://journals.openedition.org/geocarrefour/12016> ; DOI : 10.4000/geocarrefour.12016

Ce document a été généré automatiquement le 8 janvier 2019.

© Géocarrefour

La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène

Les couches issues des périodes préindustrielle et industrielle à Paris

A megacity soil's layer: localised observations about the Anthropocene
The strata from preindustrial and industrial eras in Paris

Mathieu Fernandez

Ce travail a bénéficié du soutien du Labex Futurs Urbains de l'université Paris-Est Marne-la-Vallée dont le financement d'un post-doctorat a contribué à la finalisation. Il se base sur une thèse, financée par l'État et par la Ville de Paris, soutenue au Conservatoire National des Arts et Métiers en 2014.

Introduction : De l'hypothèse de l'Anthropocène au sol urbain

- 1 Les villes seraient un « *morceau de géologie* » dont nous pourrions considérer qu'elles seraient appelées à former un jour de « *gigantesques et spectaculaires fossiles* » : telle est l'hypothèse récemment posée par trois géologues du Groupe de Travail sur l'Anthropocène¹ (Zalasiewicz *et al.*, 2017, p. 329-330). L'Anthropocène reste la principale hypothèse défendue visant à désigner une nouvelle époque géologique au sein de l'ère du quaternaire, contemporaine à l'activité humaine et majoritairement déterminée par elle (Crutzen, Stoermer, 2000). La sous-commission de la stratigraphie du quaternaire, branche de l'*International Commission of Stratigraphy* chargée d'analyser les arguments des chercheurs vis-à-vis de l'Anthropocène, a remis durant l'été 2016 un rapport favorable à l'emploi de ce terme dans la stratigraphie (*Les Annales*, 2017).
- 2 Depuis son apparition aux alentours de 3 300 avant notre ère dans la vallée du Jourdain, suivie d'un développement en Mésopotamie (Mumford, 2011) et qu'elle soit morte ou

vivante, une constante de la ville est de reposer sur un substrat anthropique lentement accumulé. Si celui-ci n'a pas de place dans la stratigraphie géologique, on peut toutefois caractériser son volume comme un terrain archéologique dont la stratigraphie spécifique est à même de fournir des informations concernant les humanités de certaines périodes historiques sous-documentées ; comme un poubélien, terrain peu noble à la géotechnique complexe pour l'ingénieur ou encore comme celui du rehaussement urbain identifié comme une riche source d'informations, notamment environnementales, mais à l'épaisseur non cartographiée. « *On sait que l'ordre de grandeur est de [...] huit à douze mètres en deux mille ans, mais aussi que le rythme de la production du sol n'est pas uniforme dans le temps et selon les lieux* » (Barles et al., 1999, p. 267) : en ce sens, la couche du sol urbain semble bel et bien mieux connue dans le temps par les archéologues que dans l'espace par les urbanistes (Guillerme, 2010).

- 3 L'article propose de rendre visible cette couche vers laquelle convergent plusieurs interrogations contemporaines sur le terrain de la mégapole de Paris. La méthode consiste à cerner par une approche interdisciplinaire les origines de l'invisibilité topographique caractérisant les sols anthropisés puis à trouver des sources à même d'y remédier. L'évolution juridique récente, l'approche du métabolisme urbain et la construction historique des connaissances topographiques en milieu urbain sont mobilisées. Des données sont produites sur la base des sources identifiées, fournissant des résultats volumétriques et cartographiques. Ces derniers permettent la mise en évidence de pistes pour une analyse morphologique concernant l'évolution de la strate urbaine du sol anthropisé. Une logique spatiale et une logique temporelle apparaissent dont nous posons finalement l'hypothèse qu'elles contribuent à une reconnaissance temporalisée et localisée en milieu urbain de la strate correspondant à l'Anthropocène.

Recherches autour d'un volume

Des connaissances parcellaires de la pollution des sols

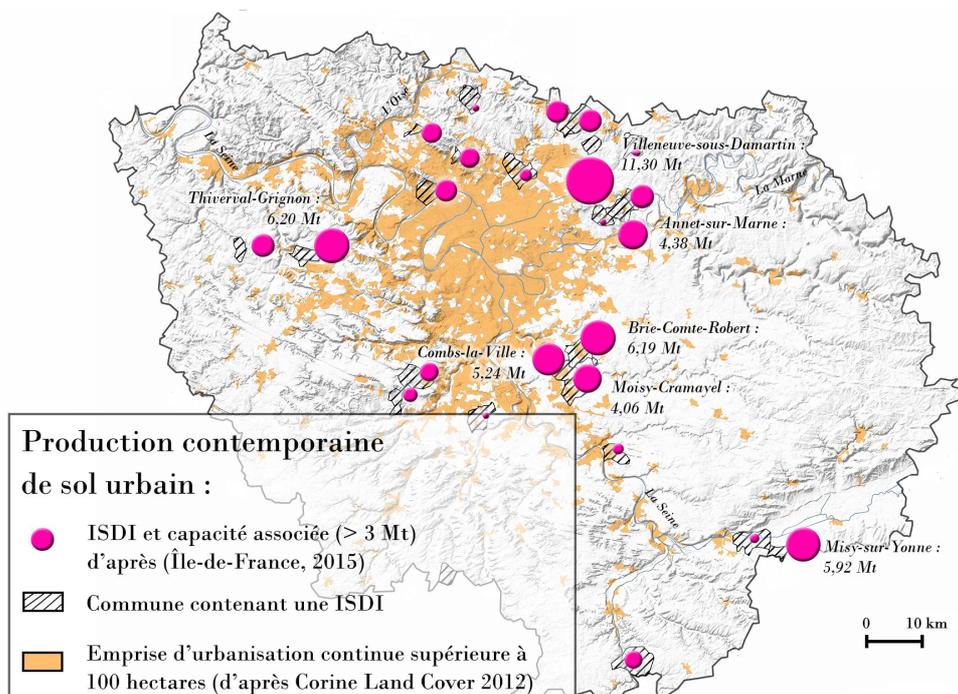
- 4 La branche praticienne de l'étude des sols urbains se rapproche, dans son échelle d'action spatiale, de celle des archéologues préventifs : ponctuelle et guidée par les travaux urbains. Les études analytiques de la pollution des sols sont en effet liées à une commande émanant d'un maître d'ouvrage – afin d'assurer la viabilité d'une parcelle – ou d'un maître d'œuvre – afin de s'assurer de la viabilité de l'artefact construit. Si la présence de contaminations est avérée – selon les normes sanitaires en vigueur –, un protocole de dépollution ou de confinement des sols pollués est mis en place. De telles études exploratoires suivent généralement deux étapes. Une analyse historique est d'abord conduite, permettant de connaître le passé du lieu. Elle est suivie de prélèvements des sols et d'analyses physico-chimiques selon un maillage et une profondeur correspondant à la méthode mise en œuvre par le bureau d'étude répondant à la commande.
- 5 Il en résulte une connaissance précise mais extrêmement parcellaire de la qualité des sols urbains, atteignant le plus couramment la parcelle et tout au plus la zone d'aménagement, c'est-à-dire au maximum quelques hectares. La mise en commun des informations recueillies au cours du temps n'en est qu'à un stade balbutiant. La *loi pour l'accès à un logement et un urbanisme rénové* prend en compte cet état de fait en 2014 en proposant la mise en place d'une annexe des plans locaux d'urbanisme (PLU) sous la forme de secteurs d'information sur les sols (SIS) (*Code de l'environnement*, article L. 125-6).

Cependant, du fait des pratiques existantes, ces derniers sont pensés dans une logique parcellaire renseignée lorsque des informations sont disponibles. Au final, la perspective d'une lecture spatiale élargie du passé et du devenir des sols, par exemple urbaine et dynamique, semble rester éloignée. À ce titre, une parallèle semble pouvoir être tracée avec le développement de l'archéologie au XIX^e siècle qui a nécessité un travail de longue haleine avant de proposer des données sur le contenu du sol à une échelle urbaine, tout particulièrement dans certaines zones à forte densité historique (Fernandez, 2014). Afin de préciser la mécanique guidant la formation de la strate spécifique du sol urbain, il convient en premier lieu d'identifier les modes actuels de sa production, ce en quoi peuvent aider les études de métabolisme territorial.

Observation de la production du sol dans le métabolisme urbain

- 6 Le métabolisme, lorsqu'il est appliqué au territoire urbain, propose une lecture matérielle ou énergétique liée au fonctionnement d'une ville (Commissariat général au développement durable, 2014). La branche matérielle du métabolisme base sa compréhension du système socio-économique sur une quantification des flux et des stocks de matières le caractérisant. À travers ce type d'études, il est possible de lire des valeurs agrégées entrant dans le système telles que les extractions directes opérées sur le territoire, les importations de marchandises ou encore la consommation de dioxygène. En sortie de ce même système, on trouve par exemple l'exportation marchande, les émissions gazeuses, le rejet de déchets sur place ou exportés vers d'autres territoires. Une des méthodes disponibles consiste à transcrire en masse de matières un certain nombre de données issues de l'observation de l'activité prenant place sur le territoire. On lie alors formellement l'activité socio-économique à son effet sur les mouvements de matières (Eurostat, 2001).
- 7 Une étude de métabolisme territorial concernant Paris et son premier territoire administratif englobant, l'Île-de-France, a pu montrer que les extractions franciliennes vis-à-vis du système naturel sont, pour ce qui concerne la matière solide, en majorité (72 %) constituées de minéraux visant à alimenter le secteur économique de la construction. De même, la plus grande partie (86 %) des rejets solides mis en décharge est constituée de matériaux issus des secteurs de la construction et de la déconstruction (Barles, 2007). Il semble possible d'attribuer ces phénomènes au fait que le secteur du BTP soit la première industrie de l'économie tertiaire qui extrait par ailleurs plutôt localement ses ressources. Il convient de signaler qu'actuellement la grande masse des flux entrants est constituée de marchandises qui ont provoqué des extractions et des mises en décharge de manière délocalisée. De même, si les déchets produits restent localisés car gérés de manière régionale (Région Île-de-France, 2015), les flux sortants sont majoritairement composés de marchandises. Les notions territorialisées d'extractions et de rejets entretiennent un lien étroit avec la structure économique.
- 8 Il résulte donc que la majeure partie du sol produit, en masse et par là en volumes, est rattachable aux déchets solides urbains, eux-mêmes majoritairement issus des déchets de la construction et de la déconstruction. La figure 1 présente les « installations de stockage des déchets inertes » (ISDI) d'Île-de-France en 2015, où sont majoritairement déchargés les déchets qui n'ont pas fait l'objet de valorisation. Ces zones sont un important lieu contemporain de production de sol d'origine anthropique.

Figure 1 : Carte des installations de stockage des déchets inertes (ISDI) et capacités associées en Île-de-France en 2015



Source : M. Fernandez, d'après Île-de-France, 2015

- 9 De telles observations ont justifié de réaliser une recherche spécifique concernant l'effet d'un projet d'urbanisme sur le métabolisme urbain à travers l'exemple d'une zone d'aménagement concerté (ZAC) (Fernandez et al., 2017). Cette étude, qualifiable de micro-échelle par rapport aux approches plus courantes basées sur les données économiques issues de territoires administratifs, a permis de cerner les effets d'un projet d'urbanisme de type « grand projet ». Les résultats confirment que les importations et exportations de béton et de terres caractérisent majoritairement les flux. La terre et le béton apparaissent comme des enjeux de première importance dans le cas d'une approche métabolique selon les caractéristiques locales et contemporaines caractérisant Paris. Deux sujets d'interrogations courants dans les études de métabolisme permettent de préciser l'approche vers le sol anthropique.
- 10 D'une part, un suivi des marchandises dans une économie favorisant les flux massifs issus de territoires de production moins accessibles impliquerait de saisir les effets liés aux extractions, par exemple sur les sols. L'estimation quantitative de ces extractions est contenue dans les flux qualifiés d'« indirects » ou de « cachés » dans les études de métabolisme. Ils sont en pratique difficiles à quantifier.
- 11 D'autre part, à l'autre bout de l'échelle et concernant le projet d'urbanisme, un résultat important concernant le sol est obtenu dans l'étude précitée. Alors que les consommations des intrants du béton sont comptabilisées dans les données économiques, le statut de la terre apparaît comme beaucoup moins clair alors même qu'elle représente presque la moitié du million de tonnes de matière mû dans les prochaines années pour la ZAC étudiée. Ce résultat confirme des incertitudes reconnues quant au devenir des terres lors des chantiers d'aménagements. Une partie de celles-ci est traitée comme déchet et dès lors intégrée au tableau économique en tant que déchet inertes pouvant faire l'objet de

valorisations ou de stockage. Une autre partie échappe à la comptabilité en appartenant à la catégorie du réemploi qui permet les opérations de déblais et de remblais sur la zone d'un chantier ou ailleurs dans la mesure où le détenteur des déchets ne se défait pas de la matière qu'il déplace (Région Île-de-France, 2015). Alors que les volumes traités en tant que déchets sont déjà très importants – 18,5 millions de tonnes par an en 2013 pour l'Île-de-France –, Vincent Augiseau montre dans sa thèse que d'importantes incertitudes concernent les volumes réemployés, entre quelques millions et plusieurs dizaines de millions de tonnes par an (Augiseau, 2017).

- 12 Quant à la pollution des sols, les terres sont estimées comme probablement contaminées à 98% sur l'emprise du projet étudié, caractérisé par son emplacement sur une ancienne zone industrielle développée durant la première moitié du XX^e siècle. Les taux de pollution sont néanmoins variables. Les normes sanitaires en vigueur permettent à une partie majoritaire de rester sur site à certaines conditions liées au confinement sous des surfaces plus ou moins perméables – béton, bitume, couche de terre non contaminée. Il en résulte que des mouvements importants de sols, bien que physiques et prenant place dans une couche anthropique profondément modifiée ne sont pas archivés. Dans l'objectif de saisir les mécaniques de la modification récurrente de la couche du sol urbain, il peut y avoir intérêt à transformer de tels mouvements en volumes. Le cas du projet d'urbanisme, lié à une industrie extractive locale, montre l'importance de l'étude de tels flux. Il s'agit d'une deuxième échelle spatiale mise en exergue par le métabolisme nécessitant de dépasser les seules données disponibles.
- 13 La cartographie de la strate du sol anthropique peut permettre de mieux cerner les effets du fonctionnement du système socio-économique vis-à-vis du système naturel. Les activités économiques contemporaines semblent par ailleurs extrapolables sur un temps plus long. Plus prosaïquement, la vérification de cette hypothèse implique d'atteindre des données sur un sol stocké de manière récurrente sous la forme de tas lors d'activités urbaines et revenant par la suite à la forme de sol. De manière plus théorique, c'est l'ambivalence du statut du sol qu'il s'agit d'éclaircir. Il apparaît à la fois comme intégré au système socio-économique – lorsqu'il s'agit de dépolluer un site pour augmenter sa valeur économique ou sociale – mais aussi au système naturel – dès lors qu'il est extrait puis redéposé « sous » le système-socio-économique, que ce soit sous la forme de réemploi, de valorisation ou de stockage définitif, pour reprendre les actuelles définitions juridiques. Historiquement, de telles catégories prennent des formes équivalentes mais juridiquement moins compartimentées – réutilisation ou réemplois plus ou moins lointains, stockage sous la forme de décharge non réglementée, normes sanitaires inexistantes ou évolutives. Cette ambivalence, perceptible *via* l'analyse métabolique, confirme la complexité d'une observation de la strate du sol anthropique à l'échelle urbaine sur la base de données qui seraient seulement contemporaines.

Pister historiquement le volume

- 14 Dès lors l'enquête concerne la recherche de sources renseignant le sol urbain en tant que strate. À l'instar de certains géographes, il nous apparaît qu'une question épistémologique assez générale est en jeu. Elle concerne la reconnaissance des volumes non seulement en tant qu'extension des surfaces mais également des volumétries. Nous avons pu voir que les études rendant compte des processus matériels à l'œuvre en milieu urbain mesuraient des quantités de matière ou d'énergie comptabilisées en stocks ou en

flux en se fixant des limites spatiales et temporelles. Pour ce qui concerne la matière, il est aisé d'entrevoir des volumétries en affectant par exemple des masses volumiques aux quantités concernées. Or, celles-ci ne sont pas des volumes, mais en sont une vision quantifiée abstraite. À ce propos, plusieurs auteurs encouragent, au sujet du cadre analytique à adopter pour scruter la confrontation au changement climatique, à observer les volumes autrement que par leur volumétrie. Ceci contribuerait d'une part à éviter d'entrer dans les logiques calculatoires propices à la financiarisation, d'autre part à saisir des dimensions de phénomènes non nécessairement clôturés (Lehman, 2013 ; Grundy-Warr *et al.*, 2015). Les nouveaux matérialismes inciteraient donc à ne pas observer seulement des surfaces, des représentations numériques ou même linguistiques pour comprendre les enjeux concernant la matière ou plus généralement le « *pouvoir du volume* » (Elden, 2013, p. 49). De telles réflexions incitent à rechercher une éventuelle strate de l'Anthropocène ailleurs qu'au sein de logiques planimétrique ou calculatoire.

- 15 Depuis l'apparition pratique de l'urbanisme au sens de projet visant à transformer le territoire urbain à une large échelle, l'espace semble avoir été davantage représenté en deux dimensions qu'en trois. Les praticiens qui ont développé les modes de représentation – architectes, topographes, ingénieurs, administrations spécialisées, bureaux d'études – ont en effet répondu à des nécessités ou à des commandes liées à la parcelle ou à ses assemblages. Ils ont basé *in fine* les représentations courantes sur la propriété du sol, publique ou privée. Cette propriété est inscrite dès le Code Civil de 1804 comme comprenant le dessus et le dessous. Dès lors, il apparaît qu'il n'est pas nécessaire de représenter un volume lorsque l'objet d'un plan est de représenter la propriété du sol. Les expropriations constitutives aux percées du cycle haussmannien à Paris tout autant qu'un plan de ZAC contemporain se basent sur un fond de travail parcellaire. Par conséquent, les variations de volumes du sol n'ont jamais été un phénomène aisé à suivre au sein des représentations courantes, et ce jusqu'à ce que des réglementations environnementales ne rattrapent les pratiques. Toutefois, au-delà de ces représentations courantes et dès le début du XIX^e siècle, des données tridimensionnelles ont été développées par des branches du savoir urbain agissant en parallèle à la conceptualisation parcellaire.
- 16 Le propos devient ici lié au terrain de recherche. Du fait de productions savantes précoces, Paris est un territoire historique qui dispose de spécificités du point de vue des connaissances du sol. L'innovation topographique essentielle consistant à maîtriser finement le relief urbain précède d'une cinquantaine d'années le début du cycle haussmannien et suit de près un aboutissement essentiel concernant la planimétrie de haute précision. Il s'agit du plan parachevé en 1791 par l'architecte et topographe Edme Verniquet après une quinzaine d'années de travail ayant donné lieu à plus de 5000 relevés trigonométriques des rues (Verniquet, 1793-1799 ; Pronteau, 1966). Sur cette base, une méthode topo-historique peut par exemple permettre de réaliser la cartographie des variations d'épaisseurs du sol urbain entre 1807 et 2016 (Fernandez, 2018).
- 17 Pierre-Simon Girard, ingénieur en chef chargé des travaux du canal de l'Ourcq décide, en 1805, d'organiser le relevé de cote altimétrique de la totalité des dénivellations d'un mètre le long du linéaire des rues et d'un certain nombre d'objets topographiques (ruptures de pentes, points de contrôle et bouches d'égout issues des périodes médiévale et moderne). Pierre Égault des Noës est chargé des relevés et de l'opération graphique de report sur un exemplaire du plan Verniquet, « *qui a duré plusieurs années* » (Girard, Verniquet, 1810, [n. p.]). Les deux ingénieurs produisent les bases informationnelles d'une

réticulation en milieu urbain en estimant qu'« un système quelconque de distribution d'eau dans l'intérieur de Paris doit avoir pour base la connaissance exacte de la configuration du sol de la capitale » (*id.*). Environ 9 000 relevés topographiques sont cartographiés créant ainsi un modèle très précis de la surface tridimensionnelle du sol. Les auteurs en tirent par ailleurs des réflexions neuves sur la constitution du sol urbain, par exemple qu'« il est facile de concevoir que le sol de Paris a été exhausé » ou encore que « la butte de Bonne-Nouvelle, entièrement composée de décombres, à 14 mètres au-dessus du sol primitif » (Égault, 1814, p. 3).

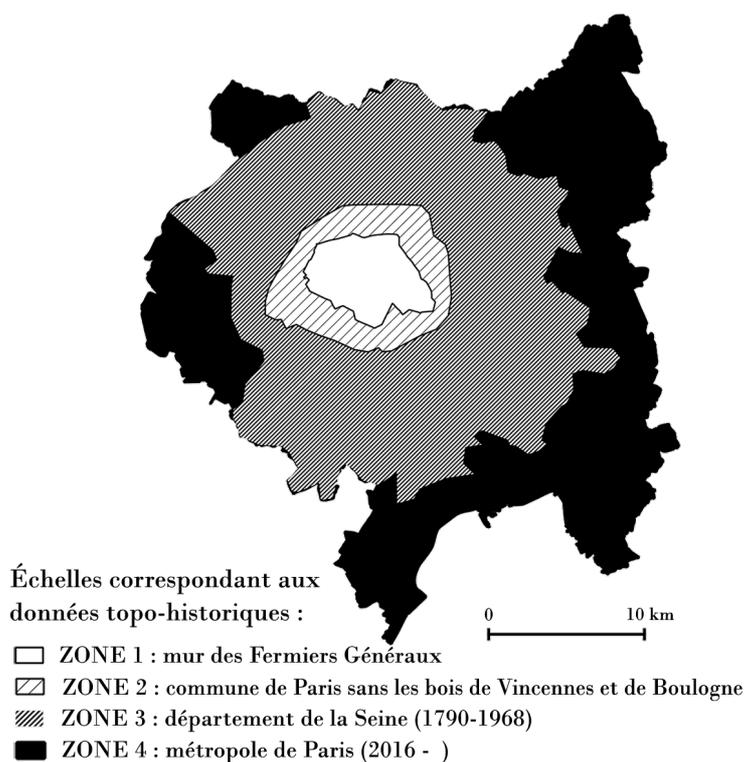
- 18 L'acte n'est pas isolé et s'inscrit dans un mouvement plus général dans des champs savants variés. En 1804, le mathématicien Lacroix théorise et diffuse le procédé de la ligne de niveau proposé par Marcellin Ducarla en 1782 (Ducarla, 1782 ; Lacroix, 1804 ; Dupain-Triel, 1805). En 1810, la géologie devient une discipline spatiale grâce à la carte de Georges Cuviers et d'Alexandre Brongniart². La décennie 1800 semble clé pour la reconnaissance volumique – ou épaisse – du territoire. C'est en pratique autour du sol que les recherches se concentrent. Par la suite, des ingénieurs des corps des Ponts et des Mines produisent des données dans leurs domaines topographiques respectifs. Les uns couvrent les espaces de lignes de niveau en visant le déploiement de réseaux, les autres visent la maîtrise de la profondeur avec les cartes géologiques dont la première proposition à l'échelle du pays est réalisée en 1841. Les nivellements quotidiens participent de la reconnaissance du territoire, de son contrôle et de son exploitation que ce soit par la surface réticulée ou par le sous-sol. À ce titre Achille Delesse, chargé pendant une vingtaine d'années du service d'ingénieur des Mines du département de la Seine propose, de 1858 à 1880, une cartographie fine des lignes de niveau du sol pour Paris de la Seine. Il se base sur les côtes relevées pendant plusieurs décennies par les deux corps d'ingénieurs précités.
- 19 Il nous semble justifié de relier à ce mouvement une archéologie innovante menée de 1845 à 1899 à Paris par Théodore Vacquer. Il s'agit d'une archéologie fondée sur la mesure et tout particulièrement celle du nivellement, longtemps restée confidentielle comme son initiateur. Vacquer suit notamment les grands travaux de transformation de Paris en relevant systématiquement les cotes des couches archéologiques et des artefacts qu'elles contiennent. Des outils maîtrisés en milieu urbain par les ingénieurs sont appliqués à une discipline qui était alors plus volontiers centrée sur le texte. Un des principaux résultats de Vacquer est une carte du sol naturel de Paris qui paraît à travers la publication d'un collègue en 1896 (Villain, 1896). Il s'agit de la forme du sol d'origine géologique, c'est-à-dire en dessous du sol modelé par la ville. Par conséquent, en mobilisant l'hypothèse de l'Anthropocène, il s'agit de la carte du sommet de l'Holocène en milieu urbain. L'inspection générale des carrières fait paraître à partir de 1925 une carte géologique de Paris qui est une version cartographique affinée de l'invention de Cuviers et Brongniart, amenée à haute précision par Delesse qui incorpore par ailleurs graphiquement les points des forages signalant le niveau du sol naturel. Ce travail cumule les informations de la carte géologique et celles de la carte archéologique et fait partie des sources que nous exposons par la suite.

Données, méthode et résultats

Strates archivées en mégapole parisienne

- 20 Au-delà de l'intérêt historique résidant dans la chronologie précédemment esquissée, ce socle contextuel permet de trouver des sources susceptibles de renseigner les strates du sol urbain dans le cas de Paris. Quatre sources sont mobilisées.
- 21 L'*Atlas géologique de la Ville de Paris* (Inspection générale des carrières, 1994) poursuit et affine les travaux de la géologie et de l'archéologie initiés au XIX^e siècle en offrant, en plus du dessin des masses géologiques, l'archive d'un nombre important de sondages réalisés dans la ville. Les cotes accompagnant les points symbolisant ces sondages indiquent par ailleurs celle de la première couche géologique rencontrée.
- 22 Le *Plan de nivellement général de la ville de Paris rapporté sur l'Atlas du plan général de la ville de Paris de Verniquet* fournit les points dont le nivellement est relevé par Girard et Égault entre 1805 et 1807³ au sein de l'emprise du mur des Fermiers Généraux, limite administrative de Paris avant l'annexion des communes périphériques de 1860 (Girard, Verniquet, 1810).
- 23 La *Carte géologique cotée du département de la Seine*, figurant le relief par des lignes de niveau est initiée et tenue à jour par Delesse de 1858 à 1880 (Delesse, 1858, 1880). Les commanditaires de ces travaux cartographiques sont les préfets de la Seine, Georges-Eugène Haussmann pour 1858 et 1862 puis Ferdinand Hérold pour 1880. Le travail de cartographie est réalisé par le service de l'inspection générale des carrières où Delesse est ingénieur en chef du corps des Mines.
- 24 Le Modèle numérique de terrain « RGE ALTI[®] » est une source contemporaine exprimant les détails de l'état du sol de manière pixellisée. Il s'agit de la cartographie numérique du relief produite à la résolution 5*5 mètres par l'Institut géographique national à la suite de relevés aériens (Institut géographique national, 2016).
- 25 Afin d'améliorer la clarté de l'exploitation issue de ces sources, quatre zones de travail sont formalisées. Elles correspondent aux emprises des sources précitées, dont la conception répond ou a répondu avant tout à des logiques administratives et sont lisibles dans la figure 2. La Zone 1 correspond au mur des Fermiers Généraux. La Zone 2 correspond à l'extension administrative de Paris réalisée en 1860 sans les bois de Boulogne et de Vincennes. La Zone 3 est l'ancien département de la Seine – qui a existé de 1789 à 1968 – sans Paris et comprenant les deux bois. La Zone 4 est la Métropole de Paris telle que constituée le 1^{er} janvier 2016. Il s'agit de l'entité administrative la plus récente comprenant plus de 7 millions d'habitants qui a la qualité d'avoir des limites assez proches de celles de l'ancien département de la Seine.

Figure 2 : Les quatre zones formalisées en vue de l'analyse



Source : M. Fernandez.

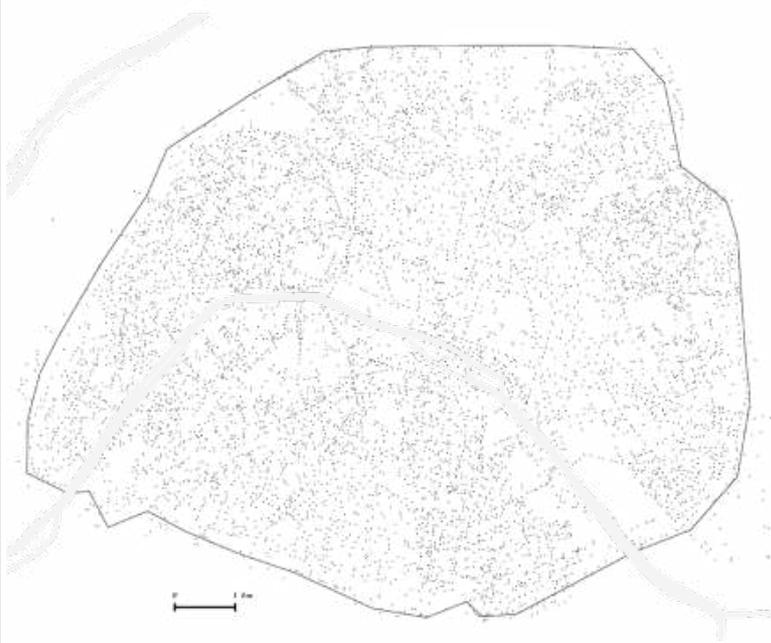
- 26 Des bornes chronologiques caractérisent également les sources. Elles correspondent aux dates fournies par les archives ou aux phénomènes représentés. La première borne correspond au niveau de la première couche géologique rencontrée. Il s'agit du début du processus d'urbanisation sauf si des excavations ultérieures ont eu lieu, auquel cas le sommet géologique se situe en dessous du niveau du sol précédant la transformation anthropique. La seconde borne correspond aux débuts de la cartographie tridimensionnelle en milieu urbain c'est-à-dire 1807 dans la Zone 1 ou bien *a minima* 1862 à 1880 pour les Zones 2 et 3. La dernière borne correspond à 2016 correspondant aux données contemporaines.
- 27 Deux tranches historiques sont déductibles de ces bornes, paraissant se prêter à une analyse historique cohérente. Il s'agit des périodes préindustrielle et industrielle. La première s'échelonne entre les débuts de l'urbanisation – aux alentours de la conquête romaine à Paris – et le XIX^e siècle. La seconde amène jusqu'à l'époque actuelle. La date séparant les périodes est flexible pour deux raisons. D'une part car les sources ne sont pas produites à la même date – 1805-1807 pour l'emprise du mur des Fermiers Généraux et 1862-1880 pour le département de la Seine –, d'autre part et surtout car la notion d'industrialisation d'un territoire n'obéit pas à une date unique, y compris à l'échelle d'une ville. Par exemple, le cœur de Paris s'industrialise dès la fin du XVIII^e siècle (Guillaume, 2007) alors que le département de la Seine ne s'industrialise que très progressivement entre la seconde moitié du XIX^e siècle et le début du XX^e siècle (Daumas, Payen, 1976) avec une accélération marquée lors de la première Guerre Mondiale. Il apparaît donc cohérent vis-à-vis du phénomène étudié et des sources de considérer une

période préindustrielle et une période industrielle, en gardant à l'esprit que la date les séparant localement reste discutable.

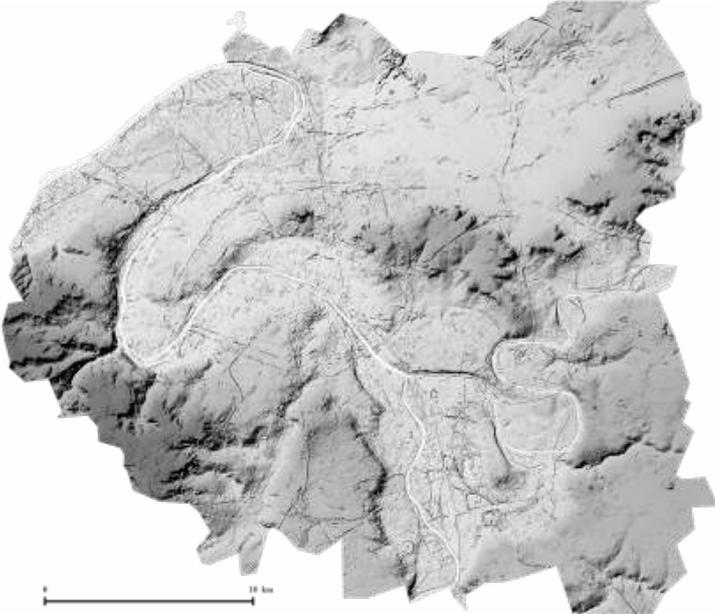
Méthode et traitement des sources

- 28 Les cartographies contenues dans les sources historiques sont exploitables grâce aux systèmes d'information géographique (SIG). De manière plus générale, il est possible de rattacher ce type d'exploitations au développement récent des SIG historiques et plus généralement avec celui des humanités numériques (Noizet *et al.*, 2013 ; Perret *et al.*, 2015). Ici, les sources historiques sont d'abord replacées dans l'espace actuel, c'est-à-dire géoréférencées. Les entités spatiales représentées sur les sources sont numérisées et leurs valeurs saisies. Le tableau 1 fournit un descriptif synthétique de la forme numérique des quatre sources précitées. Trois sont créées spécifiquement pour ce travail et en cours d'incorporation à des plateformes de diffusion en ligne de données SIG historiques sous licence libre⁴. La quatrième est commercialisée par l'Institut géographique national (IGN).

Tableau 1 Présentation des données numériques

Source	Géométrie des entités spatiales	Nombre d'entités	Zone renseignée	Forme
(IGC, 1994)	Points	7 288 (après nettoyage de « points anomalies » ; nombre de points initial 7657)	ZONES 1 et 2	

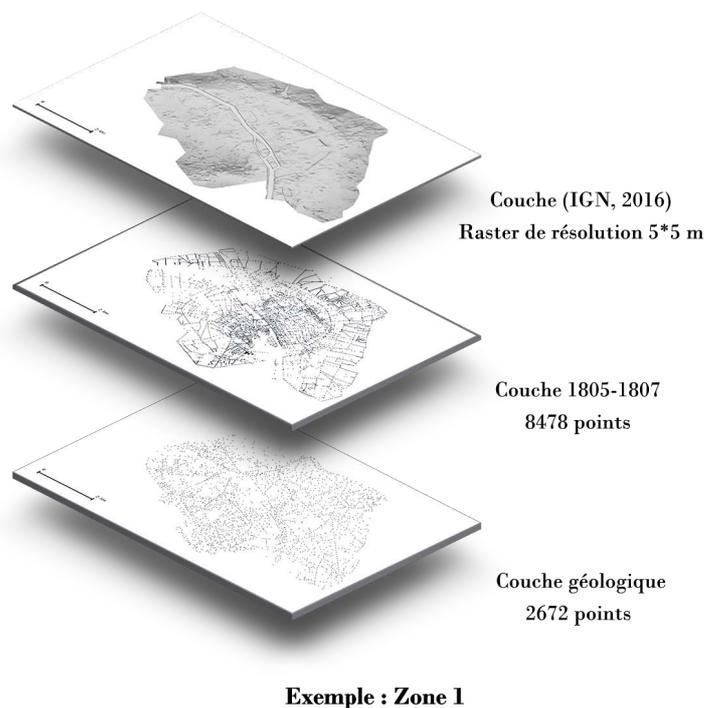
<p>(Girard, Verniquet, 1810)</p>	<p>Points</p>	<p>8 478</p>	<p>ZONE 1</p>	
<p>(Delesse, 1880)</p>	<p>Lignes</p>	<p>44 lignes à valeurs entières, reliant 77 405 nœuds</p>	<p>ZONES 1, 2 et 3</p>	

(IGN, 2016)	Pixels	Raster (ie.: surface pixellisée) de résolution 5*5 m	ZONES 1, 2, 3 et 4	
-------------	--------	---	--------------------	--

Source : M. Fernandez., d'après sources primaires (colonne de gauche du tableau).

- 29 Par la suite, la méthode SIG mise en place consiste à transformer, lorsque nécessaire, les valeurs historiques des saisies en système du nivellement général français (NGF) puis à en interpoler les données afin d'obtenir un modèle numérique de terrain (MNT) correspondant à l'emprise de la source. Les transformations des valeurs altimétriques des sources Girard, Égault et Delesse sont réalisées grâce au repère du pont de la Tournelle à Paris, stable depuis 1719⁵. L'interpolation surfacique, opération consistant à relier des entités ponctuelles ou linéaires selon une surface approchante, est réalisée à l'aide d'un algorithme hydrologiquement cohérent préservant le ruissellement de l'eau^{6,7}.
- 30 Enfin, les soustractions opérées entre les modèles numériques de terrain mettent en évidence la variation de niveau du sol par zone entre deux bornes chronologiques, comme représenté dans la figure 3. Les pas de temps permettent de caractériser la période d'accumulation, en pratique qualifiée de préindustrielle ou d'industrielle.

Figure 3 Procédé de soustraction altimétrique des couches en une zone donnée



Source : M. Fernandez.

Résultats volumétriques et cartographiques

- 31 Le tableau 2 présente de manière quantitative, par des volumes, trois principaux résultats concernant l'évolution du sol urbain au sein des zones de travail. Les périodes préindustrielle et industrielle ainsi que la superposition des deux constituent les trois entrées du tableau. Un degré d'analyse supplémentaire est incorporé pour deux des trois entrées principales. Il s'agit de la surface de l'emprise bâtie, prise en compte ou non pour les cas de la période industrielle ainsi que pour la superposition des périodes préindustrielle et industrielle. Ce paramètre semble nécessaire à la discussion du fait qu'une meilleure connaissance du sous-sol bâti soit utile à une quantification fine. Concernant par exemple les caves des immeubles, il est courant de trouver deux à trois niveaux de sous-sols dans les maisons à substructure médiévale du centre de Paris. Or, aucun récolement du sous-sol bâti n'existe, que ce soit à destination des urbanistes, des architectes, de la collectivité, des chercheurs ou des archéologues (Perrault, 2017). Cet état de fait implique d'isoler par précaution ces volumes méconnus des résultats à l'aide de la couche vectorielle du bâti. Celle de l'atelier parisien d'urbanisme en 2016 pour Paris et la petite couronne est utilisée à cette fin (Atelier parisien d'urbanisme, 2016). La couche vectorielle du bâti urbain à l'orée de la période industrielle, chantier en cours chez les historiens, n'est pas disponible au format libre et ce paramètre n'est donc pas appliqué ici aux résultats correspondant à la période préindustrielle.

Tableau 2 : Volumes, épaisseur moyenne et points culminants des strates préindustrielle et industrielle

Période	Zones	Remblai	Épaisseur moyenne remblai	Déblai	Point culminant remblai	Point culminant déblai
Préindustrielle	1 et 2	228 M. m ³ [Zone 1 : 93 M. m ³ ; Zone 2 : 135 M. m ³]	2,6 m [Zone 1 : 2,9 m ; Zone 2 : 2,5 m]	-	Zone 2 : 32,4 m : rue Caulaincourt, Paris Zone 1 : 20,1 m, ancienne butte des Copeaux, dans le Jardin des Plantes, Paris	-
Industrielle	1, 2 et 3	709 M. m ³	1,3 m	1. M. m ³	32,4 m : parc Georges Valbon, La Courneuve	- 31,2 m : parc Henri Sellier, Le Plessis- Robinson
Industrielle [hors emprise bâtie]	1, 2 et 3	477 M. m ³	1,8 m	177 M. m ³	Id.	Id.
Préindustrielle et industrielle	1 et 2	295 M. m ³	3,4 m	-	32,7 m : « Butte Bergeyre », rue Edgar Poe, Paris	-
Préindustrielle et industrielle [hors emprise bâtie]	1 et 2	133 M. m ³	2,5 m	-	Id.	Id.

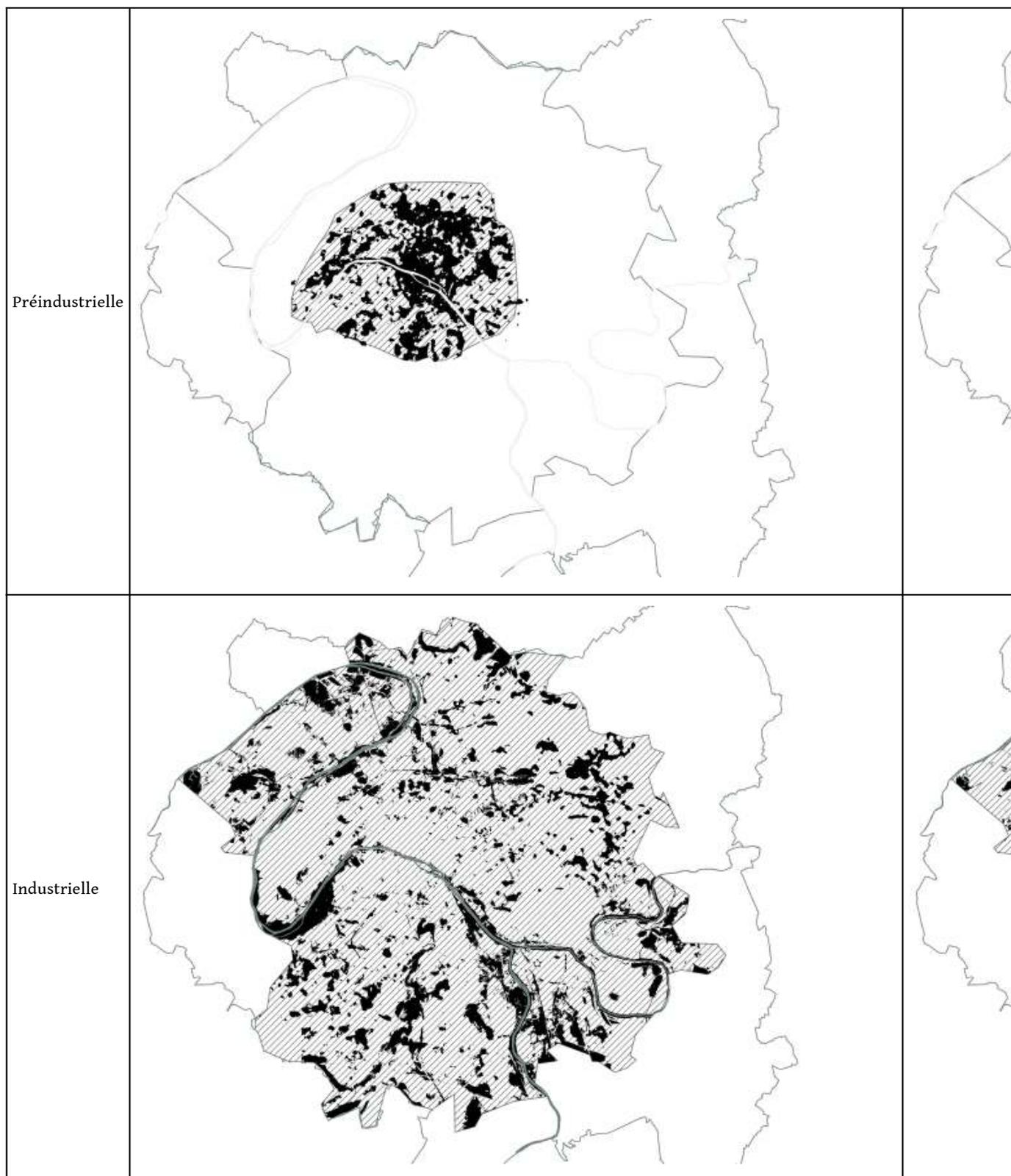
Source : M. Fernandez.

- 32 Le tableau 3 présente les résultats de manière cartographique. Par souci de clarté graphique, seul le phénomène d'exhaussement est représenté par un aplatissement de couleur pour les couches 2,5 mètres et 5 mètres. La somme des périodes préindustrielle et industrielle, si elle est utile aux résultats quantitatifs concernant le sol accumulé, le semble moins pour une analyse morphologique. Par conséquent, le tableau ne dispose que de deux entrées correspondant aux périodes préindustrielle et industrielle.

Tableau 3 : Cartographie des strates de remblais accumulés 2,5 m et 5 m

exhaussement urbain – pour les périodes préindustrielle et industrielle

Période	Strate 2,5 m	Strate 5 m
---------	--------------	------------



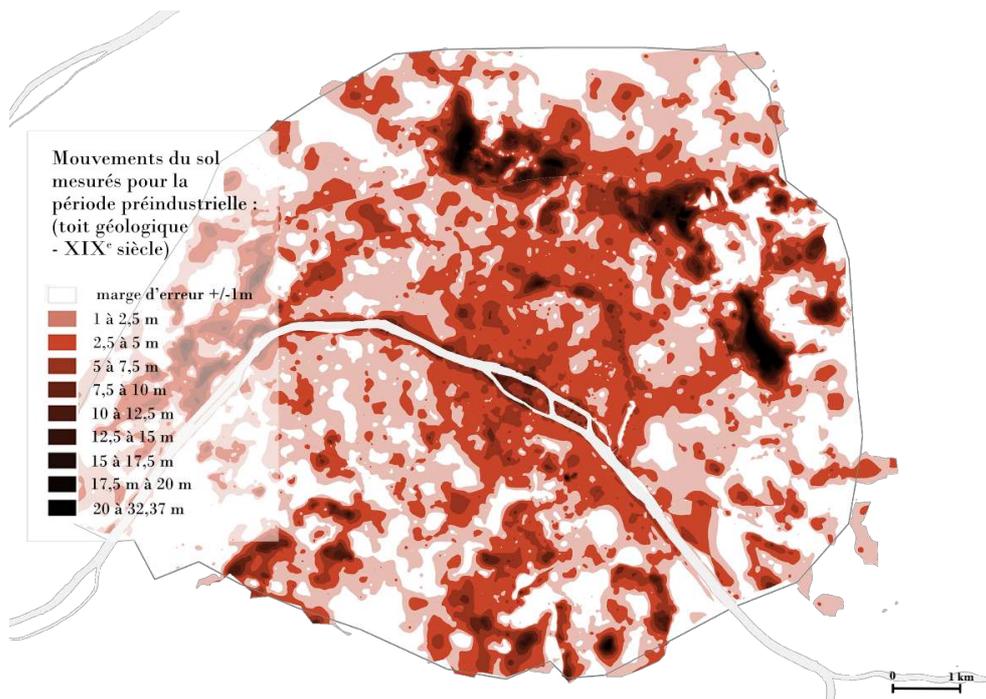
Source : M. Fernandez.

- 33 Enfin, les figures 4 et 5 représentent les strates associées aux périodes préindustrielle et industrielle de manière détaillée autour du centre de la mégapole. Des dégradés de couleurs proportionnels correspondent à l'épaisseur de sol accumulé ou excavé depuis un

mètre - marge d'erreur estimée lors du traitement des sources - jusqu'aux points culminants détectés retranscrits dans le tableau 2.

Figure 4 : Période préindustrielle

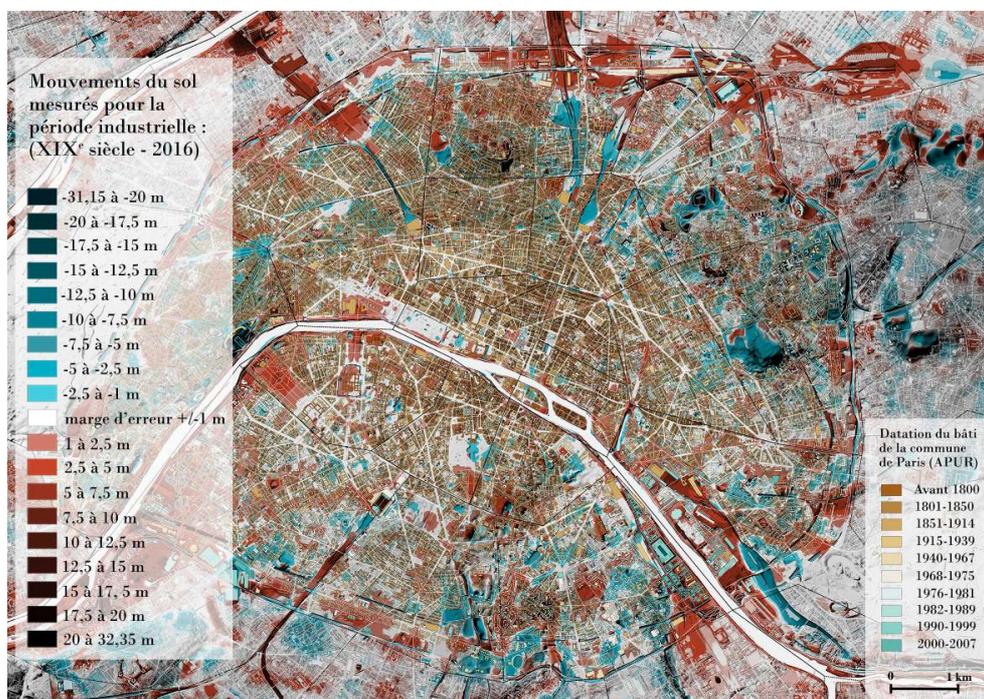
carte détaillée des remblais accumulés en 1807 (Zone 1) et en 1880 (Zone 2)



Source : M. Fernandez.

Figure 5 : Période industrielle

carte détaillée des remblais accumulés et des déblais excavés entre 1807 et 2016 (Zone 1) et entre 1880 et 2016 (Zones 2 et 3).



Source : M. Fernandez.

Pistes d'analyse morphologique

Logique spatiale : la forme du fossile

- 34 La zone 1, correspondant aux limites de Paris à la fin du XVIII^e siècle, repose sur une couche de sol anthropique dont l'épaisseur est, en grande majorité, déterminée lors de la période préindustrielle. Le volume ramené à la surface y est en moyenne de quasiment trois mètres d'épaisseur. Les travaux d'urbanisme de la période industrielle – mesurés après 1807 –, meuvent en moyenne une couche d'un mètre en exhaussement et d'environ d'un tiers en déblaiement. La zone 2, correspondant à l'extension de Paris opérée en 1860, est quasiment autant affectée que la zone 1 en termes de volumes d'origine anthropique, ce qui constitue une des surprises de cette étude. Avant 1880, la couche exhaussee y est en moyenne de plus de 2,5 mètres avec toutefois de fortes disparités spatiales. La couche atteint en moyenne quatre mètres dans les arrondissements les plus affectés, les 18^e, 19^e et 20^e. La zone de plus forte accumulation rive gauche est également corrélée à la topographie, le long des coteaux de la Bièvre et du 15^e arrondissement. La dynamique des sols apparaît donc par ailleurs comme importante dans la zone 2 lors du réaménagement urbain notamment opéré à la fin du XIX^e siècle avec, pour donner ce seul exemple, le comblement de la vallée de la Bièvre qui atteint plus de quinze mètres sous l'église Sainte-Anne dans le 13^e arrondissement. La couche de remblaiement constituée lors des réaménagements est épaisse en moyenne de plus d'un mètre. La zone 3 couvrant une emprise proche de celle de la Métropole de Paris est assez faiblement urbanisée et industrialisée en 1880 avant que ne s'y constitue la couche de la période industrielle lisible au sein du tableau 3 et de la figure 5. Cette couche de sol anthropique est globalement moins épaisse que dans le centre de la mégapole mais concerne une étendue beaucoup plus vaste et avec de fortes inégalités en épaisseur. Celle-ci est d'un mètre

cinquante en moyenne pour l'exhaussement. Le volume excavé est important, représentant environ la moitié du volume exhausé qui connaît un *minimum* à 31 mètres dans le parc Henri Sellier au Plessis-Robinson.

Logique temporelle : l'urbanisme et les strates entremêlées du fossile

- 35 La morphologie associée à la période préindustrielle évoque un paysage urbain marqué par un exhaussement régulier du sol. Dans la zone 1, la ville apparaît comme un important lieu de stockage tandis que des marges proches situées dans la zone 2 sont à la fois des lieux d'extractions de matériaux et de dépôt de déchets. Ces deux dynamiques créent d'épaisses couches artificielles assez proches, séparées dans le cas de Paris par la zone du grand égout – ancien ruisseau de Ménilmontant. Au sein de la ville médiévale, la couche d'accumulation est issue de plusieurs siècles d'additions aux stocks suivies d'exportations régulières vers le sol. L'origine du phénomène est civile, liée aux pratiques vernaculaires, mais aussi militaire avec l'enceinte bastionnée de Charles V construite au XIV^e siècle qui surgit de manière marquée au sein de la figure 4.
- 36 Dans la zone 2, sur les collines de Belleville, de Ménilmontant et de Montmartre, l'épaisse couche de sol anthropique existant dès le XIX^e siècle est notamment issue des résidus de la transformation du gypse. Ces collines sont alors d'importantes zones d'extractions de matériaux de construction. La transformation du gypse en plâtre est réalisée sur place dans des fours alimentés par du bois, activité recensée jusqu'à la moitié du XIX^e siècle environ. Les déchets liés à ces extractions forment une couche anthropique qui culmine à plus de trente mètres rue de Caulaincourt. La décharge de Montfaucon recueillant une importante partie des déchets produits dans la ville au XVIII^e siècle prend également place dans la zone 2. Sur la rive gauche, les activités extractives laissent une trace importante dès la fin de la période préindustrielle. Ces lieux, qualifiables de marges métaboliques, sont séparés de la couche prenant place dans la ville *intra-muros* par une zone tampon de quelques centaines de mètres.
- 37 La morphologie associée à la période industrielle, ici lisible à l'échelle de l'ancien département de la Seine, montre une dynamique différente. Constituée au cours des XIX^e et XX^e siècles, elle est moins régulière mais comporte d'importants points culminants de remblais, de déblais et des zones vierges de mouvements altimétriques.
- 38 Une hypothèse basée sur l'observation du mode contemporain de production du sol peut être réalisée sur un lien existant entre la morphologie de la strate du sol anthropique et celle des travaux d'aménagements urbains. La forme associée à la strate constituée lors de la période industrielle pourrait consister en un résultat étalé dans le temps du type d'effets des installations de stockage de déchets inertes (ISDI) cartographiées dans la figure 1 ou des phénomènes de réemploi de terres entre zones de chantiers. Production du sol et aménagements sont nécessairement liés si l'on considère par exemple les excavations engendrées par le développement des travaux d'urbanisme au cours des XIX^e et XX^e siècles – réseaux d'adductions, d'égouts, de transport en public souterrain, parkings. Ceux-ci ont produit des quantités importantes de remblais redéposés en des lieux certainement proches des lieux d'extraction. Les zones 2 et 3 ont la propriété commune d'avoir été les banlieues successives de Paris et donc potentiellement à la fois zones d'aménagements et marges de dépôts de déchets.

- 39 Certains résultats monographiques vont dans le même sens. Par exemple, le parc départemental Georges Valbon à La Courneuve est le point culminant de la couche industrielle dans la zone 3 visible au nord de la strate industrielle du tableau 3. Mélanie Legrand confirme cette importance dans sa thèse en nous apprenant que le Département a financé la constitution du parc en optant pour un système de « décharge contrôlée » dans les années 1960 : « *Le financement du chantier passe donc par l'accueil de déchets en provenance des chantiers parisiens comme La Défense et le Forum des Halles. Les chiffres reviennent comme des refrains dans les discours de ceux qui connaissent l'histoire du parc, qu'ils soient employés du Conseil général ou visiteurs réguliers : 13 millions de m³ de remblais, soit plusieurs camions par jour pendant quinze ans* » (Legrand, 2015, p. 105)⁸.
- 40 Le mécanisme, massif et lié à la pratique contemporaine de l'urbanisme, n'a toutefois pas fait l'objet du suivi et des archivages concernant les terres prescrits par les réglementations récentes. Les voies de chemin de fer provoquent également d'importants remblais lors de la période industrielle, constituant les forts différentiels que la *figure 5* exprime le long des faisceaux ferroviaires parisiens. Ces faisceaux ont-ils pu être des lieux privilégiés de réutilisation de sols excavés ?
- 41 Plus récemment dans le Grand Paris, les projections des valeurs actuelles montrent qu'environ 400 millions de m³ de terres prendront le statut de déchet au cours des vingt prochaines années du fait des aménagements urbains dont plus de 40 millions pour le seul métro du Grand Paris Express. De telles valeurs prennent leur place au sein du processus historique précédemment décrit (Société du Grand Paris, 2012 ; Région Île-de-France, 2015). Elles peuvent alors illustrer l'idée de grande accélération désormais classiquement portée par l'Anthropocène, perçue ici localement à travers les mouvements de sols de la mégapole, mais aussi la préciser dans la mesure où une hétérogénéité spatiale est analysable.

Conclusion : La strate du sol dans une ville de l'Anthropocène

- 42 L'observation initiale constate l'absence de référentiel permettant la mise en évidence d'une morphologie du sol d'origine anthropique à une échelle urbaine. Les études de métabolisme urbain montrent pourtant que l'extraction de matériaux et la production de déchets sont majoritairement liées à la déconstruction et de la construction de la ville, c'est-à-dire massives et quotidiennes. Cette observation nous conduit à poursuivre l'hypothèse posée par Zalasiewicz *et al.*, postulant que « *[les villes] représentent clairement une part de l'Anthropocène en expansion rapide, dont elles sont en effet la figure emblématique* » (op. cit., p. 335). Les villes seraient donc, en plus de contributrices à un Anthropocène global, parmi les traces de l'Anthropocène lui-même accepté dans son inspiration géologique initiale, c'est-à-dire en tant que strate en cours de formation. Dès lors, est-il possible de quantifier une telle expansion urbaine, *a priori* accessible localement et de lui fournir un cadre d'analyse spatial ?
- 43 Ce type d'interrogations rejoint la question de la reconnaissance des sols pollués. L'analyse métabolique montre également que la plus grande part des déchets solides urbains prennent *in fine* la forme de sol, pour partie réagencé lors d'opérations d'urbanisme et pour partie stocké à la périphérie de la ville sous la forme de monticules. Le phénomène explique, en lien étroit avec l'histoire industrielle, une première esquisse

qualitative de forme historique et future des sols pollués : anthropisés ou contaminés par certaines activités, puis déplacés notamment lors du processus d'urbanisme. À ce propos, l'histoire des mouvements des sols reste *terra incognita*, moins bien saisie que l'adresse que peut prendre la forme ponctuelle d'une activité industrielle. Les législations commencent à prendre en compte la nécessité de suivre de tels mouvements alors même que, depuis les débuts de l'activité urbaine, le sol bouge.

- 44 La suite de l'enquête s'est consacrée au problème d'absence de traces pour le cas de Paris, ville ancienne mais aussi l'une des 33 mégapoles répertoriées dans le monde en 2018. Les sources ont été retenues en réinterrogeant l'histoire de la représentation urbaine qui apparaît comme largement bidimensionnelle. La saisie d'un certain nombre de données issues de branches agissant traditionnellement au second plan des savoirs urbains permet de répondre à cette lacune. Des conjectures morphologiques peuvent être esquissées grâce à l'observation des résultats. Par exemple, les zones de forte épaisseur de sol anthropique sont régulièrement corrélées aux lieux d'extractions et de décharges, aux parcs, aux zones industrielles ou encore aux opérations contemporaines de renouvellement urbain.
- 45 L'urbanisation est caractérisée par plusieurs strates de sol. Le volume qu'elles occupent possède une dynamique morphologique observée pour deux périodes ici qualifiées de préindustrielle et d'industrielle. Leurs formes diffèrent. La phase actuelle, qualifiable de post-industrielle car associée à une économie majoritairement tertiaire, participe à cette dynamique par une augmentation des volumes déplacés concernant notamment les terres et les intrants du béton. La morphologie associée aux remblais accumulés peut donc constituer une source d'informations sur les sols et leur anthropisation potentielle. Elle complète les données issues de l'archéologie industrielle qui n'intègrent pas les mouvements volumétriques concernant les sols (Le Corfec, 2011).
- 46 Enfin, si l'article ne prend pas part au débat sur la datation d'une initialisation de l'Anthropocène, il propose une ouverture à ce sujet en accord avec la nécessité d'un « changement de cadrage », considéré comme « libérateur », entre périodisation historique et périodisation géologique (Quenet, 2017). Il apparaît que les méthodes historiques consistant à travailler sur une base archivistique datée et localisée, celles du métabolisme brossant une image du fonctionnement matériel des villes, ou encore certaines hypothèses géographiques incitant à accorder davantage d'importance aux volumes, indiquent ensemble que la compréhension des mécaniques constituant une strate de l'Anthropocène puisse être améliorée par une reconnaissance topographique locale. Plusieurs outils visant à celle-ci peuvent alors se déployer sans dépendre exclusivement d'une définition stratigraphique attendue dans le cadre méthodologique traditionnel des sciences naturelles.

BIBLIOGRAPHIE

ATELIER PARISIEN D'URBANISME (APUR), 2016, *Données de référence. Fiche descriptive : Emprise bâtie Petite Couronne*, édition électronique, 5 p. URL (20-10-2018) : https://www.apur.org/open_data/EMPRISE_BATIE_PC_OD.pdf

AUGISEAU V., 2017, *La dimension matérielle de l'urbanisation. Flux et stocks de matériaux de construction en Île-de-France*, thèse de l'Université Paris I Panthéon-Sorbonne sous la direction de Sabine Barles, 554 p.

BARLES S., GALINIÉ H., GUILLERME A., 1999, Évolution temporelle des sols urbains, in BARLES S., BREYSSE D., GUILLERME A., LEYVAL C. (dir.), *Le Sol urbain*, Anthropos, Paris, 278 p., p. 261-275

BARLES S., 2007, *Mesurer la performance écologique des villes et des territoires : le métabolisme de Paris et de l'Île-de-France*, Rapport de recherche final pour le compte de la ville de Paris, édition électronique, 98 p. URL (20-10-2018) : <http://metabolisme.paris.fr/data/pdf/Barles-EI-Paris.pdf>

BUREAU DE LA RECHERCHE GÉOLOGIQUE ET MINIÈRE (BRGM), 1973, *Influences piézométriques possibles des crues de la Seine sur les ouvrages envisagés en sous-sol. Étude hydrogéologique documentaire*, édition électronique, 24 p. URL : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/73-SGN-029-BDP.pdf>

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (CGDD), 2014, *Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements*, édition électronique, 116 p. URL (20-10-2018) : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/References/2014/guide-methodologique-references-flux-de-matiere-juin2014.pdf

CRUTZEN P. J., STOERMER E. F., 2000, "The Anthropocène", *IGBP Newsletter*, n° 41, p. 17-18

CUVIER G., BRONGNIART A., 1811, *Éssai sur la géographie minéralogique des environs de Paris*, Baudouin, Paris, 278 p.

DAUMAS M., PAYEN J. (dir.), JIGAUDON G. (cartographie), 1976, *Évolution de la géographie industrielle de Paris et sa proche banlieue au XIX^e siècle. Volume 3. Atlas*, Centre de documentation d'histoire des techniques, Paris, 55 Pl.

DELESSE A., 1858, *Carte hydrologique de la ville de Paris : 1858. Publiée d'après les ordres de M^r le baron G. E. Haussmann, préfet de la Seine et exécutée par M^r Delesse ; dessinée par Al. Babinski, F. Savy*, Paris, 1 Pl.

DELESSE A., 1880, *Carte géologique cotée du département de la Seine représentant le gypse, le calcaire grossier et la craie, d'après les ordres de M. Hérold, sénateur, préfet de la Seine, conformément à la décision du conseil général*, L. Wuhrer, Paris, 1 Pl.

D'OMALIUS D'HALLOY J.-J., 1816, « Mémoire sur l'étendue géographique du terrain des environs de Paris, lu à l'Institut, le 16 août 1813 » suivi de « Esquisse d'une carte géologique du bassin de Paris et de quelques contrées voisine », *Annales des Mines*, T. 1, Paris, p. 231-266, Pl. III

DUCARLA M., 1782, *Expression des nivellemens ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain*, Dupain-Triel, Paris, 111 p.

DUPAIN-TRIEL J.-L., 1805, *Mémoire explicatif des méthodes nouvelles de nivellement d'après Du Carla ; pour le perfectionnement de la géographie et applicables aux ponts et chaussées et à la navigation*, Dupain Triel, Paris, 32 p.

- ELLENBERGER F., 1982, Les premières cartes géologiques en France : projets et réalisations. Communication présentée le 9 Juin 1982 au Comité français d'Histoire de la Géologie, in *Travaux du comité français d'histoire de la géologie*, première série, n° 1, p. 45-65
- ÉGAULT P., 1814, *Mémoire sur les inondations de Paris*, Firmin Didot, Paris, 24 p.
- ELDEN S., 2013, Secure the volume: Vertical geopolitics and the depth of power, *Political Geography*, n° 34, p. 35-51
- EUROSTAT, 2001, *Economy-wide material flow accounts and derived indicators A methodological guide*, édition électronique, 92 p. URL (20-10-2018) : <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5855237/KS-34-00-536-FR.PDF/b038be52-8317-4e3c-8cbc-44296b1b15a4>
- FERNANDEZ M., 2014, *Approche topographique historique du sous-sol parisien : 1800-2000. La ville épaisse : genèse et évolutions morphologiques*, thèse du Conservatoire national des Arts et Métiers sous la direction d'André Guillerme, édition électronique, Vol. 1, 414 p. URL (20-10-2018) : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01223241/document>
- FERNANDEZ M., BLANQUART C., VERDEIL É., 2017, Impact sur le métabolisme urbain d'une opération d'urbanisme projetée par l'Etat à Vitry-sur-Seine de 2007 à 2017 : circularité de la matière et spatialisation des impacts, *Actes du colloque ASRDLF 2017*, édition électronique. URL (20-10-2018) : http://asrdlf2017.com/asrdlf2017_com/envoiertextefinal/auteur/textedef/215.pdf
- FERNANDEZ M., 2018, Variations d'épaisseur du sol urbain à Paris entre 1807 et 2016 : méthode topo-historique et cartographie, *Flux*, 2018/1, n° 111/112, p. 94-103
- GIRARD P.-S., VERNIQUET E., 1810, *Plan de nivellement général de la ville de Paris rapporté sur l'Atlas du plan général de la ville de Paris de Verniquet*, [s. é.], Paris. Manuscrit : BHVP FOL AT 157
- GRUNDY-WARR C., SITHIRITH M., MING LI Y., 2015, Volumes, fluidity and flows: Rethinking the nature of political geography, *Political Geography*, n° 45, p. 93-95
- GUILLEME A., 2007, *La naissance de l'industrie à Paris : 1770-1830. Entre sueurs et vapeurs*, Champ Vallon, Seyssel, 432 p.
- GUILLEME A., 2010, Historiographie de l'environnement urbain, in COUTARD O., LEVY J-P. (sous la direction de), *Écologies urbaines*, Paris, Anthropos, 371 p., p. 39-57
- HUTCHINSON M. F., GALLANT J. C., 2000, Digital elevation models and representation of terrain shape, in WILSON J. P., GALLANT J. C. (eds), *Terrain analysis: principles and applications*, Wiley, New York, 479 p., p. 29-50
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL (IGN), 2017, *RGE ALTI[®] Version 2.0, descriptif de contenu*, janvier 2017, édition électronique, 43 p. URL (20/10/2018) : <http://professionnels.ign.fr/rgealti>
- INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES (IGC), 1994, *Atlas géologique de la Ville de Paris au 1/5000^e*, Mairie de Paris, Paris
- LACROIX S.-F., 1804, Introduction à la géographie mathématique et critique, in PINKERTON J., *Géographie moderne*, Dentu, Paris, T.1, (CCXIV + 229) p.
- LE CORFEC Y., 2011, *Sites et sols pollués. Gestion des passifs environnementaux*, Dunod, Paris, 407 p.
- LEGRAND M., 2015, *La mise en ordre écologique des parcs urbains. Savoirs, pratiques et paysages*, thèse du Muséum national d'histoire naturelle sous la direction d'Anne-Caroline Prévot et d'Anne Sourdril, 417 p., édition électronique. URL (20-10-2018) : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01310791/document>
- LEHMAN J., 2013, Volumes beyonds volumetrics: A response to Simon Dalby's 'The Geopolitics of Climate Change', *Political Geography*, n° 37, p. 51-52

- LES ANNALES, 2017, Éditorial, *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 2017/2 (72^e année), p. 263-265
- MUMFORD L., 2011 (éd. or. 1964), *La cité à travers l'histoire*, Agone, Marseille, 922 p.
- NOIZET H., BOVE B., COSTA L., 2013, *Paris : de parcelles en pixels*, Presses Universitaires de Vincennes, Comité d'histoire de la Ville de Paris, Saint-Denis, Paris, 343 p.
- PERRAULT D., 2017, *Groundscapes: autres topographies*, HYX éditions, Orléans, 207 p.
- PERRET J., GRIBAUDI M., BARTHELEMY M., 2015, « Roads and cities of 18th century France », in *Scientific Data - Nature*, n°150048, édition électronique. URL (20-10-2018) : <https://www.nature.com/articles/sdata201548.pdf>
- PRONTEAU J., 1986, *Edme Verniquet. 1727-1804*, Commission des travaux historiques, Paris, 652 p.
- QUENET G., 2017, L'Anthropocène et le temps des historiens, *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 72^e année, n°2, p. 267-299
- RÉGION ÎLE-DE-FRANCE, 2015, *Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics (PREDEC)*, édition électronique, 256 p. URL (20-10-2018) : https://www.iledefrance.fr/sites/default/files/predec_adopte_avec_couverture.pdf
- RUDWICK M., 1996, Cuvier and Brongniart, William Smith, and the reconstruction of geohistory, *Earth Science History*, v. 15, n°1, p. 25-36
- SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS (SGP), 2012, *Dossier d'enquête préalable à utilité publique. Tronçon Pont-de-Sèvres Noisy-Champs (ligne rouge - 15 sud). Pièce G.6.3 : schéma d'évacuation des déblais*, édition électronique, 164 p. URL (20-10-2018) : http://www.enquetepublique.lignerouge15sud.fr/dossier-enquete-publique/Document_G-63/
- VERNIQUET E., 1793-1799, *Atlas du plan de la ville de Paris, dessiné et gravé par les C^{ens} P. T. Bartholomé et A. J. Mathieu, Écrit par Bellanger*, Paris, 72 Pl.
- VILLAIN G., *Rapport au nom de la 2^e commission sur une demande de crédits supplémentaires pour la reconstruction de la mairie du X^e arrondissement*, Imprimerie Municipale, Paris, 1896, 448 p.
- ZALASIEWICZ J., WATERS C., WILLIAMS M., MILON A.-S. (ill.), BERTHÉ F. (trad.), 2017, Les strates de la ville de l'Anthropocène, *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 2017/2 (72^e année), p. 329-351

NOTES

1. Groupe de travail formé en 2008 regroupant des chercheurs d'horizons disciplinaires variés et visant à argumenter la pertinence de l'intégration de l'Anthropocène à la classification des temps géologiques. Selon Grégory Quenet qui esquisse une sociologie des institutions ayant porté successivement l'émergence du concept, l'Anthropocène résulterait d'une rencontre entre la « mobilisation académique planétaire inventée par les climatologues » et le modèle historiographique des *turns* dont une des caractéristiques est d'être marqué par la recherche de « tournants épistémologiques » (Quenet, 2017).

2. Le terme « carte géologique » fait son apparition en 1816 en France dans le titre d'une carte proposée par Jean-Baptiste-Julien d'Omalius d'Halloy (d'Omalius d'Halloy, 1816). Elle fait notamment suite aux travaux de Georges Cuvier et d'Alexandre Brongniart qui produisent une « carte géognostique » des environs de Paris en 1810. Ces deux cartes sont reconnues comme étant les premières cartes géologiques de type contemporain produites en France, très certainement inspirées par les travaux de l'ingénieur William Smith en Angleterre. Il convient de noter que toutes les deux représentent les alentours de Paris (Cuviers, Brongniart, 1811 ; Ellenberger, 1982 ; Rudwick, 1996).

3. Deux des mesures concernant la hauteur des eaux du fleuve en face du Jardin des Plantes et de la pompe à feu de Chaillot fournissent la date du 5 prairial an XIII (25 mai 1805) (Girard, Verniquet, 1810). Les *Mémoires* de Girard confirment que la campagne de mesures a lieu entre 1805 et 1807.
4. La mise à disposition de ces données est opérée sur les plateformes de diffusion de données géomatiques <http://alpage.huma-num.fr/fr/> et <http://geohistoricaldata.org>. Ces deux plateformes sont hébergées en 2018 au sein de l'infrastructure de recherche *Humanum*.
5. En notant 'x' les cotes mesurées par Girard et Égault entre 1805 et 1807 et 'NGF' les côtes du système de nivellement actuel (Nivellement général de la France) assimilable à celui fixé en 1969, la transformation d'un système de nivellement à l'autre est donnée pour les mesures centimétriques par la formule : $NGF = 100,86 - x$. Cette conversion est réalisée grâce au zéro du pont de la Tournelle qui est l'un des 559 points de contrôle mesurés à la précision millimétrique par Girard et Égault à la cote 75,239 tandis que sa cote actuelle est estimée à 75,62 m (BRGM, 1973, p. 7). Une opération équivalente réalisée sur le corpus des cartes de Delesse (1858, 1862, 1880) fournit, en notant 'y' les cotes mesurées, la formule de conversion : $NGF = y - 100,63$ (Fernandez, 2014, p. 83).
6. Il s'agit de l'algorithme ANUDEM développé par des chercheurs australiens depuis 1988 qui est fourni parmi les outils d'interpolation du logiciel de SIG *ArcGis*[®] - non libre - (Hutchinson, Gallant, 2000).
7. Il convient ici de signaler que les données issues de l'*Atlas géologique de Paris* ont été nettoyées de points considérés en anomalie au moment de leur transformation en surface. Un algorithme manuel a consisté à appliquer la règle suivante : dès lors qu'un point est le seul à justifier la présence d'une cuvette ou d'un monticule de plus de deux mètres, il est considéré comme une anomalie potentielle (pouvant être due à une erreur de saisie des cartographes, à un artefact historique exceptionnel tel qu'un pieu, un fossé, etc.) pouvant déformer de manière trop peu justifiée la surface générale la plus probable que nous recherchons. Ces points, qui ont été déterminés au fil de dix applications manuelles de l'algorithme ainsi ceux dont la valeur altimétrique de la première couche géologique rencontrée n'était pas indiquée sur la source se sont avérés au nombre de 369 sur 7 657. Cette opération explique le nombre final de points indiqué dans le *tableau 1*.
8. Le paysagiste Provost confirme en 2015 dans le *Journal de La Courneuve*, n°432, p.7 : « *Le terrain était complètement plat ici. Nous avons créé des buttes, des belvédères, un lac, un étang à grenouilles... Il aura fallu 16 millions de m³ de remblais pour sculpter les reliefs, c'est six fois la pyramide de Kheops !* ».

RÉSUMÉS

Cet article expose une méthode topo-historique et cartographique permettant l'observation dans la longue durée de la dynamique volumique du sol urbain. D'un point de vue théorique, le sol urbain est ici décrit au carrefour de deux grilles d'analyse. D'une part celle du métabolisme territorial qui permet de saisir la matérialité liée au fonctionnement d'un territoire, par exemple une ville, observée à travers les stocks ou les flux. Cette approche nous permet de saisir la contemporanéité du phénomène produisant de manière récurrente la couche du sol anthropique. D'autre part celle de la topographie du sol urbain observé en tant que couche anthropisée

existant dans toutes les villes et contenant pour partie les sols pollués, objets de ce dossier spécial. Cette couche est un objet volumique, chroniquement sous-représenté et peu accessible à l'analyse morphologique. De telles caractéristiques font écho à plusieurs remarques d'ordre épistémologique concernant la sous-représentation de la verticalité des espaces et au faible degré d'attention porté aux volumes dans l'analyse géographique ou topographique historique. Les sols anthropisés sont soumis à ces remarques, pouvant dès lors être qualifiés d'invisibles. Afin de dépasser un tel constat, il apparaît nécessaire de rompre avec certaines habitudes de représentations en faisant appel à des sources historiques urbaines issues de branches savantes agissant traditionnellement en second plan. L'article propose d'observer l'existence de telles sources dans le cas de Paris, de les exploiter, puis d'interpréter les résultats obtenus. L'interprétation cherche à percevoir l'intérêt, à travers l'exemple des sols anthropiques urbains au croisement des processus d'urbanisation et d'industrialisations, d'un test localisé et temporalisé de l'hypothèse de l'Anthropocène.

This article aims to evidence what a topo-historical method could bring to the observation of the long-term anthropic evolution of the urban ground. From a theoretical point of view, of urban soils are observed through two different angles. On the one hand, the analysis of territorial metabolism shows the materiality related to urban functioning – *ie* stocks and flows – and allows an understanding of the contemporary phenomenon of the production of the urban soil. On the other hand, stands the topographic analysis of the anthropic urban observed as a layer, which is common to all urban spaces. This layer includes a part of polluted soils, at the heart of this special issue. It can be defined as a volumetric object chronically underrepresented and then unavailable to morphological analysis. This resonates with the epistemological assumption of the underrepresentation of space verticality, and more generally with the lack of attention given to volume in geographical analysis as well as in urban topographical history. Anthropised soils are concerned by these remarks and have hence become invisible. To go further, it seems necessary to get rid of some urban representation ways, by using archival sources from urban scholar branches usually overlooked. This paper then suggests considering the existence of such sources in the Paris case, to use and interpret them. In the case of anthropic soils both concerned by urban and industrial processes, this method emphasizes the interest of a localized and temporalized test of the Anthropocene hypothesis.

INDEX

Keywords : megapolis, Paris, topography, cartography, morphology, territorial metabolism, volume, polluted soils, industrializations, urbanization, Anthropocene

Mots-clés : mégapole, Paris, topographie, cartographie, morphologie, métabolisme territorial, volume, sols pollués, industrialisations, urbanisation, anthropocène

AUTEUR

MATHIEU FERNANDEZ

Post doctorant en urbanisme, IFSTTAR/AME/SPLOTT, Université Paris-Est Marne-la-Vallée,
mathieufernandez@yahoo.fr