



HAL
open science

Approche méthodologique pour la cartographie des zones d'apport de sédiments dans le réseau d'assainissement parisien

Camille Asselin, Jérémy Jacob, R. Moilleron, Stéphane Rican

► To cite this version:

Camille Asselin, Jérémy Jacob, R. Moilleron, Stéphane Rican. Approche méthodologique pour la cartographie des zones d'apport de sédiments dans le réseau d'assainissement parisien. TSM. Techniques Sciences Méthodes – Génie urbain, génie rural, 2024, 6, pp.55-69. hal-04680932

HAL Id: hal-04680932

<https://hal.science/hal-04680932v1>

Submitted on 19 Nov 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 - ShareAlike 4.0 International License

APPROCHE METHODOLOGIQUE NOVATRICE POUR LA CARTOGRAPHIE PRECISE DES ZONES D'APPORT DANS LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT PARISIEN

INNOVATIVE METHODOLOGICAL APPROACH FOR PRECISE MAPPING OF SEWERSHEDS IN THE PARISIAN WASTEWATER SYSTEM

ASSELIN Camille^{1*}, JACOB Jérémy¹, MOILLERON Régis², RICAN Stéphane³

¹ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE-IPSL), UMR 8212 (CEA/CNRS/UVSQ),
Université Paris-Saclay, France

² LEESU, Ecole des Ponts, Université Paris Est Créteil, France

³ Laboratoire Dynamiques sociales et recomposition des espaces (LADYSS), UMR 7533, Université Paris
Nanterre, Paris

* camille.asselin@lsce.ipsl.fr - 07 66 13 40 11

CATEGORIE DE L'ARTICLE : *Recherche appliquée*

FORMAT DE L'ARTICLE : *Article scientifique/technique*

TABLE DES MATIERES :

Résumé / Abstract.....	p. 2
Introduction.....	p. 3
1. Objectifs.....	p. 4
2. Matériels.....	p. 5
2.1. Données d'entrée.....	p. 5
3. Méthodologie et résultats.....	p. 6
3.1. Définition des réseaux drainants de chaque bassin de dessablement.....	p. 6
3.1.1. Utilisation du script développé par la Ville de Paris.....	p. 6
3.1.2. Prise en compte des tronçons sans effluents.....	p. 7
3.1.3. Définition des sens d'écoulement.....	p. 8
3.1.4. Emboîtement des réseaux de drainage et interdépendance des BD : la cascade sédimentaire.....	p. 9
3.2. Définition des zones d'apport des bassins de dessablement.....	p. 11
3.2.1. Définition des zones d'apport des eaux domestiques.....	p. 11
3.2.2. Définition des zones d'apport des eaux pluviales : agrégation des surfaces.....	p. 16
3.2.3. Comparaison avec des vieilles cartes	p. 18
Conclusion.....	p. 19
Remerciements.....	p. 19
Références.....	p. 20

Résumé (250 à 300 mots)

Ce travail détaille la méthodologie innovante déployée pour définir les zones d'apport (domestiques et pluviales) de chaque bassin de dessablement du réseau d'assainissement de la Ville de Paris. Ces zones d'apport répondent à deux objectifs (1) délimiter les habitations et bâtiments drainés par chaque bassin de dessablement ; (2) circonscrire la surface drainée (bassin versant) prenant non seulement en compte les habitations et bâtiments mais aussi les parcs/jardins et la chaussée. Cette étude a permis de distinguer un double fonctionnement du réseau d'assainissement. Un fonctionnement en Temps Sec pour lequel les effluents circulent dans un nombre réduit tronçons car la ligne d'eau reste sous les seuils des tronçons sans effluents. Et un fonctionnement en Temps de Pluie pour lequel la ligne d'eau dépasse les seuils et dans lequel les eaux unitaires circulent dans de plus nombreux tronçons afin d'éviter les débordements en surface. Ensuite, l'agencement particulier des bassins de dessablement entre eux a aussi été mis en avant. En effet, les bassins de dessablement sont positionnés en forme de cascade sédimentaire, avec des bassins de dessablement se trouvant en aval d'autres. Pour finir, 45 bassins de dessablement sur 159 ont été sélectionnés pour correspondre de façon univoque aux problématiques ciblées. Il s'agit des 45 bassins de dessablement qui n'ont pas de bassin amont. La zone d'apport de ces 45 bassins de dessablement a pu être délimitée. Cette surface circonscrite est un nouvel objet scientifique qui permettra par la suite de sélectionner, à l'échelle d'intérêt pour notre étude, toutes les données spatialisées externes relatives à chaque bassin de dessablement, telles que celles fournies par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, l'Atelier Parisien d'URbanisme, etc.

Mots-clés : bassin de dessablement, zone d'apport, réseau d'assainissement, Paris, Système d'Information Géographique

Abstract

This work describes the innovative methodology used to define the sewersheds (domestic and pluvial) for each silt trap in the Paris sewerage network. These sewersheds serve two purposes: (1) to define the houses and buildings served by each treatment silt trap; (2) to define the surface area served (sewershed), considering not only the houses and buildings but also parks/gardens and pavements. First, this study allowed us to distinguish two types of system for the sewerage network. Dry Weather system, where wastewater flows through a reduced number of sections, as the water line remains below the thresholds of effluent-free sections. Rainy Weather system, where the water line exceeds the thresholds and combined sewage flows through a greater number of sections to prevent surface overflows. Secondly, the particular arrangement of the silt trap in relation to each other was also highlighted. The silt traps are arranged in a sedimentation cascade, with some downstream of others. In the end, 45 of the 159 silt traps were selected to correspond unambiguously to the targeted problems. These are the 45 silt traps that have no upstream basin. The sewersheds of these 45 silt traps was defined. This delimited area is a new scientific object that will then be used to select, at the scale of interest for our study, all the external spatial data relating to each silt trap, such as those provided by the French national institute for statistical and economic studies, the Paris Urbanism Agency, etc.

Keywords: silt trap, catchment area, sewerage system, Paris, Geographic Information System

Introduction

Depuis 5000 ans, les villes sont des lieux communs des sociétés qui concentrent les fonctions d'autorité, d'échanges et de production des richesses. Malgré ces fondamentaux, toutes les villes sont différentes de par leurs démographie, taille, morphologie, diversité culturelle ou bien paysage [HUMAIN-LAMOURE et LAPORTE, 2022]. Ces différences induisent de nombreuses hétérogénéités entre les villes, mais aussi à l'échelle des villes [MADORÉ, 2005, 2015 ; SABATINI, 2006 ; BELLIDENTY et MARTINEZ, 2015]. La croissance exponentielle de l'urbanisation depuis le début du XXe siècle amènera plus des deux tiers de la population à vivre dans des centres urbains au détriment des espaces ruraux d'ici 2050 [CARNEIRO FREIRE *et al.*, 2019]. Cette urbanisation rapide engendre des problématiques de pauvreté [DAMON, 2014], de congestion urbaine [BON, 2005], de pollution [ALI *et al.*, 2019], d'accès aux services [PAN *et al.*, 2023], de stress mental [APPIAH-OPOKU *et al.*, 2023], d'adaptation au changement climatique [KHOSLA et BHARDWAJ, 2019], qui s'expriment de manière variable à l'échelle d'une seule ville. Cette urbanisation croissante et ces hétérogénéités intra-ville, amènent des défis majeurs qui nécessitent une planification urbaine efficace pour une gestion durable des villes [CUTLER et MILLER, 2005 ; PANTELIADIS *et al.*, 2014 ; SLOVIC *et al.*, 2016].

Comment rendre compte de ces hétérogénéités du milieu urbain et de leurs évolutions ? Les égouts participent au métabolisme urbain au sens où ils sont le siège du flux de nombreuses matières [BARLES, 2008]). A travers les matières qu'elles véhiculent, les eaux qui transitent dans le réseau d'assainissement constituent potentiellement une mine d'information sur le fonctionnement et l'évolution de la ville (pratiques de consommation, usages...). De même, les sédiments qui s'accumulent et les matières qu'elles recèlent archivent des informations pertinentes sur l'évolution récente des socio-écosystèmes urbains [JACOB *et al.*, 2020]. A Paris, des études précédentes se sont attachées à identifier/localiser les sources de pollution ou à déterminer leur répartition spatio-temporelle, sur divers types de pollutions : plastique [TREILLES *et al.*, 2021a, b] et chimique (HAP [ROCHER *et al.*, 2004a ; GASPERI *et al.*, 2005], métaux [ROCHER *et al.*, 2004b ; MOILLERON *et al.*, 2005], biocides [PAIJENS *et al.*, 2020] etc.).

L'étude des pollutions dans les réseaux d'assainissement peut être détournée de ses objectifs initiaux pour définir l'état et étudier la trajectoire des systèmes urbains [CHOI *et al.*, 2018, 2019, 2020]. Il s'agit d'un changement de paradigme en considérant les matières en transit ou déposées non pas comme des polluants, mais comme des traceurs, indicateurs, métriques qui peuvent servir d'appui aux politiques publiques.

L'analyse des eaux usées en amont des stations d'épuration dans le cadre de la surveillance épidémiologique (*wastewater-based epidemiology* ou WBE) est une discipline qui a émergé il y a une trentaine d'années. La consommation des produits pharmaceutiques et des drogues est évaluée par la mesure de ces produits dans les eaux des stations d'épuration [ZUCCATO *et al.*, 2008 ; VAN NUIJS *et al.*, 2009 ; KAROLAK *et al.*, 2010 ; ORT *et al.*, 2014]. Un suivi régulier est d'ailleurs effectué par l'observatoire européen des drogues et des toxicomanies [EUROPEAN MONITORING CENTRE FOR DRUGS AND DRUG ADDICTION]. L'épidémiologie des eaux usées permet aussi de suivre la résurgence de maladies telles que la poliomyélite [BERCHENKO *et al.*, 2017 ; DUINTJER TEBBENS *et al.*, 2017], l'efficacité des plans de vaccination dans certaines régions [BUCARDO *et al.*, 2011], ou de déterminer la consommation et

l'exposition des populations à des agents chimiques ou pathogènes [MOULIN *et al.*, 2021]. Sur la base de nombreux travaux, [CHOI *et al.*, 2018, 2019, 2020], proposent que l'analyse chimique des eaux usées revêt un caractère prédictif de la typologie de la population contributrice. Enfin, l'épidémiologie des eaux usées a connu un très fort développement lors de la pandémie de SARS-CoV-2 avec la proposition que l'analyse de l'ARN du virus mesuré dans les eaux usées pouvait être confrontée au nombre de cas enregistrés par dépistage du virus [D'AOUST *et al.*, 2021 ; HAAK *et al.*, 2022 ; HEGAZY *et al.*, 2022 ; NOURBAKHSI *et al.*, 2022 ; WURTZER *et al.*, 2022a, b, c].

Ces études d'épidémiologie des eaux usées s'appuient en général sur des échantillons d'eaux usées collectées juste avant le traitement des eaux en station d'épuration [KAROLAK *et al.*, 2010 ; ROUSIS *et al.*, 2017 ; CHOI *et al.*, 2020]. Cela offre l'avantage de fournir une information agrégée à l'échelle d'une ville. Cependant, cette approche ne permet pas d'identifier/localiser plus précisément les sources des pollutions ou des produits consommés à l'échelle d'un quartier ou d'un îlot d'habitation afin de confronter les résultats obtenus aux caractéristiques socio-économiques et/ou démographiques des habitants [RESPAUD-MÉDOUS, 1999 ; KAYEMBE et MITCHELL, 2018 ; BRAUD *et al.*, 2020]. Dans des réseaux complexes tels que ceux de l'assainissement, il est donc nécessaire de définir finement les zones d'apport contribuant aux flux de matières et de localiser les populations et les surfaces qui contribuent aux eaux et aux sédiments transitant ou s'accumulant en divers points du réseau. Si les réseaux d'assainissement peuvent être comparés aux réseaux drainants des bassins versants naturels, les flux dans les réseaux d'assainissement ne sont pas régis par la seule topographie. Ainsi, les outils classiques de délimitation des bassins versant s'appuyant sur les Modèles Numériques de Terrain (MNT) sont insuffisants ou inadaptés [AKRAM *et al.*, 2012].

Le projet ANR EGOUT (Observations Géochimiques des Trajectoires Urbaines ; egout.cnrs.fr) vise à identifier les facteurs socio-économiques et environnementaux qui contrôlent la distribution spatiale et temporelle des matières dans le réseau d'assainissement parisien afin de proposer des outils innovants pour le pilotage du milieu urbain. Le réseau d'assainissement parisien est maillé de 159 bassins de dessablement (BD), ouvrages souterrains dont la fonction est de recueillir les particules, évitant ainsi qu'elles se déposent dans les canalisations et les engorgent.

1. Objectifs

L'objectif principal de ce travail est de définir l'origine spatiale (périmètre des zones d'apport) des sédiments qui s'accumulent dans chaque BD. Deux questions liées au type d'effluent (eaux domestiques/industrielles/artisanales vs eaux pluviales) peuvent être distinguées : (1) Quels sont les foyers/commerces drainés vers chaque BD ? (2) Quelle est la surface drainée, comprenant les toits, les parcs/jardins, la chaussée, par chaque BD ? Définir ces zones d'apport est un préalable essentiel aux travaux engagés dans le projet ANR EGOUT. Les résultats de l'analyse des sédiments dans les BD pourront alors être confrontés aux données socio-économiques spatialisées (taille et type de la population contributrice, bâti, organisation de l'espace public et des services...).

Ce travail propose une méthodologie semi-autonome permettant de définir les réseaux drainants de chaque BD puis le lien entre les réseaux et les Branchements Particuliers (BP). Ensuite la correspondance entre les

BP et les adresses postales, puis entre les adresses postales et les parcelles cadastrales. Et pour finir la relation entre les parcelles cadastrales et les zones d'apport.

2. Matériels

2.1. Données d'entrée

Le modèle hydraulique du réseau d'assainissement de la Ville de Paris n'a pas pu être utilisé car compliqué d'accès et demandant des démarches administratives complexes. Mais les zones d'apport obtenues, grâce à la méthode développée dans ce document, ont toutes été validées par comparaison avec le modèle hydraulique du réseau d'assainissement.

Nous disposons de données extraites du Système d'Information Géographique du Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement (STEA) (TIGRE 7 : Traitement Informatisé de la Gestion du Réseau d'Égout version 7) transmises par la Ville de Paris. Ces données sont fournies sous forme de plusieurs couches vectorielles au format shapefile :

- La couche "nœuds" : il s'agit de points séparant deux tronçons d'égout de caractéristiques différentes.
- La couche "tronçon d'égout" : il s'agit de lignes représentant des portions du réseau identifiées par les mêmes caractéristiques sur toute leur longueur. Ces lignes sont délimitées par un nœud amont et un nœud aval. La table attributaire de cette couche contient, entre autres, les champs suivants : l'identifiant des nœuds amont et aval, la pente du tronçon, le type de tronçon (déversoir, émissaire, petite ligne, collecteur...), les types d'effluents circulant dans le tronçon (unitaire, sans effluent, eau pluviale, eau usée), et la fonction du tronçon (bassin, bypass, bief, galerie, refoulement...). Les tronçons d'intérêt direct pour cette étude sont ceux dont la fonction est "bassin" : les bassins de dessablement.
- La couche "branchements particuliers" : il s'agit de points situés sur des tronçons d'égout au droit des bâtiments qu'ils drainent. La table attributaire de la couche comporte les champs suivants : l'identifiant du tronçon sur lequel est raccordé le BP, le numéro et nom de la voie du bâtiment auquel est affecté le BP.

Les données publiques suivantes ont également été utilisées :

- La couche "emprise bâtie/non bâtie" (Paris Data) : il s'agit de polygones représentant l'emprise bâtie et non bâtie, sans prendre en compte la chaussée. Dans la table attributaire, aucun champ ne renseigne l'adresse postale.
- La couche "adresses postales" : cette couche a été construite, à partir de la base de données Adresses de l'IGN, sous forme de points au format shapefile dans QGis sur la base d'un tableur (csv ; source Paris Data) contenant les adresses (numéro et nom de la voie) et leurs coordonnées GPS. Le numéro et le nom de la voie sont renseignés dans un seul champ.

Afin de comparer les "adresses postales" (Paris Data) avec celles de la couche "branchements particuliers" (STEA), un travail d'uniformisation a été nécessaire. Les champs "numéro de la voie" et "nom de la voie" de

la couche "branchements particuliers" ont été concaténés (outil "calculatrice de champs" de la table attributaire de la couche de QGIS [DOCUMENTATION QGIS - 14.2. EXPRESSIONS]). Il a également fallu transformer en minuscules (outil "calculatrice de champs" de la table attributaire de la couche de QGIS [DOCUMENTATION QGIS - 14.2. EXPRESSIONS]) le champ d'adresse de la couche "adresses postales" (pour correspondre aux exigences de casse de QGIS), ou expliciter les abréviations. Ainsi, les champs adresses des couches "branchements particuliers" et "adresses postales" deviennent identiques.

- La couche "parcelles cadastrales" (Cadastre Etalab, IGN) : il s'agit de polygones correspondant aux parcelles cadastrales, sans champ dédié à l'adresse postale de la parcelle.

Les données ont été traitées avec QGIS (version : 3.22.1-Białowieża) dans le système de coordonnées de référence (SCR) Lambert-93.

Le Système d'Information Géographique, contrairement au modèle hydraulique, ne tient pas compte des groupes actionneurs (vanne, pompe et barrage permanent) qui sont des obstacles pouvant empêcher l'écoulement gravitaire des effluents. Une partie de la validation des résultats par comparaison avec le modèle hydraulique a consisté à s'assurer qu'aucun groupe actionneur se trouvait à proximité des zones d'apport délimitées.

3. Méthodologie et résultats

La suite du document détaille les étapes de la définition des zones d'apport et les résultats majeurs qu'elles ont permis.

3.1. Définition des réseaux drainants de chaque bassin de dessablement

3.1.1. Utilisation du script développé par la Ville de Paris

Les réseaux drainants (RD), ensemble des tronçons connectés vers un BD, des 159 BD ont été extraits de TIGRE 7 à l'aide d'un script développé par la Ville de Paris. Chacun de ces RD est sous la forme d'une couche shapefile. Le fonctionnement de ce script est le suivant : en partant du tronçon le plus en aval (i.e., le bassin de dessablement), délimité par un nœud aval et un nœud amont (bleu et rouge respectivement sur la *Figure 1*), le script vérifie si le nœud amont du tronçon est identique au nœud aval d'un autre tronçon (l'identifiant du nœud amont du tronçon aval est le même que l'identifiant du nœud aval du tronçon amont) :

- Si oui, le tronçon est sélectionné et le script poursuit son examen des tronçons amont.
- Si non, le tronçon est sélectionné mais le script interrompt son examen et ne sélectionnera pas le tronçon amont suivant.

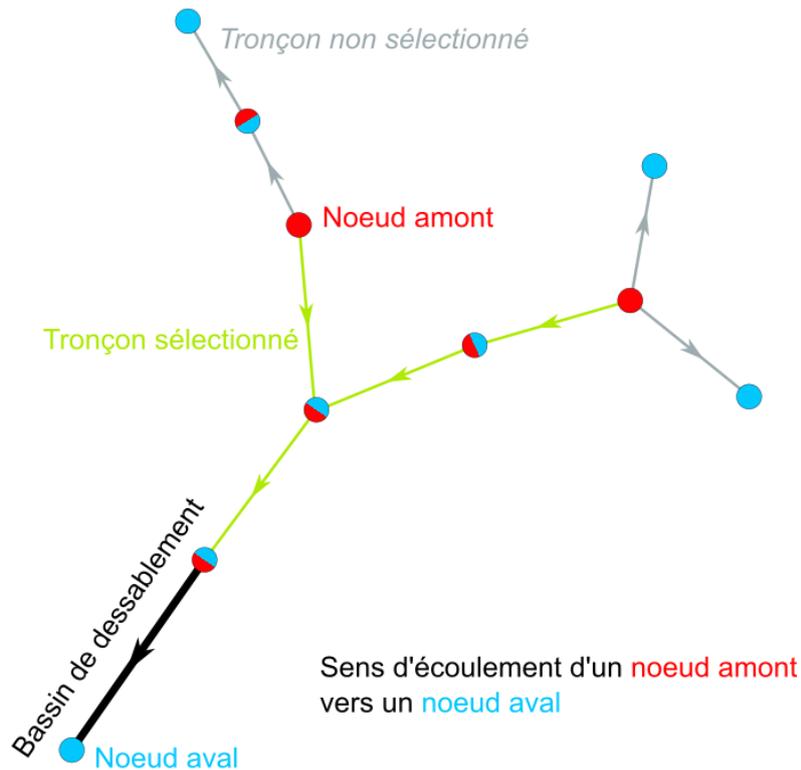


Figure 1 : fonctionnement du script pour le tracé des RD de la Ville de Paris. En bleu, les nœuds aval, en rouge les nœuds amont et le sens d'écoulement visualisé sous forme de flèches allant de l'amont vers l'aval. Les tronçons en vert sont sélectionnés par le script. En gris ils ne sont pas sélectionnés.

Selon les résultats du script, une majorité des BD draine un quart, voire la moitié de la Ville de Paris (Figure 2). Les 159 RD définis pour les 159 BD par le script de la Ville de Paris ne satisfont pas totalement aux objectifs de cette étude. En effet, les objectifs portent sur l'étude des sédiments accumulés dans les BD et les RD définis grâce au script correspondent uniquement à un fonctionnement en cas de fortes précipitations. Dans le cas de fortes précipitations, le RD est plus important (par rapport à son extension spatiale lors de périodes sèches) et "s'étale" afin de limiter la saturation et les déversements via les déversoirs d'orage ou bien les remontées des eaux usées dans les rues.

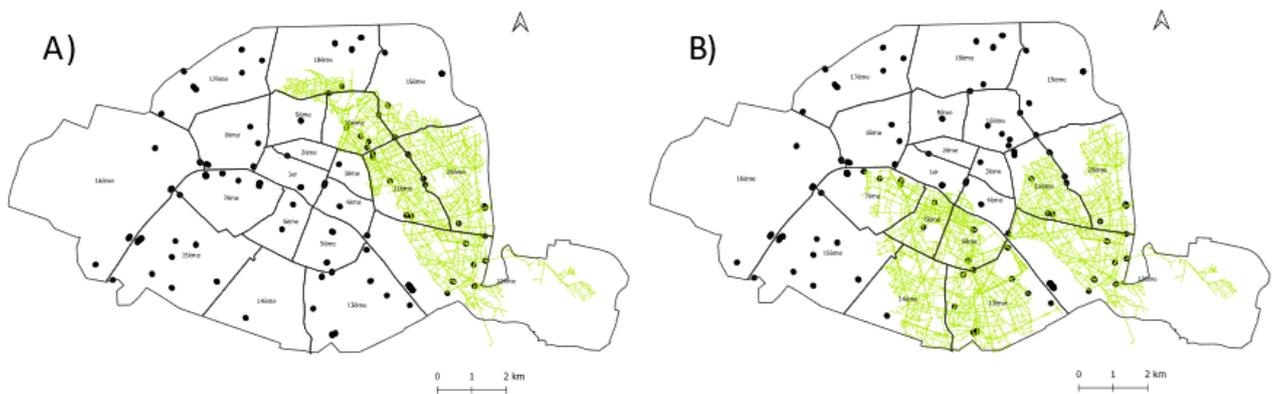


Figure 2 : RD des BD A) Quai d'Orsay et B) Strasbourg après extraction de TIGRE 7 à l'aide du script de la

ville de Paris. Les points noirs correspondent aux BD.

Nous cherchons à savoir comment fonctionne le réseau d'assainissement en période sèche ou en cas de faibles précipitations, pour cela, il est nécessaire de considérer les tronçons sans effluents.

3.1.2. Sélection des réseaux drainants de Temps Sec

Lors de définition des RD, le script prend en compte certains tronçons caractérisés comme "sans effluents" dans TIGRE 7 qui sont pourtant des limites physiques au RD. Ces tronçons, de fonctions diverses (antenne, bypass, classique, galerie eau, galerie sèche, local de manœuvre, pré-traitement, traversée), ne transportent des effluents qu'en période de forte charge du réseau. Aussi, les RD délimités sur la base du script ne sont effectifs uniquement par Temps de Pluie (TP), au sens pluies induisant une charge significative du réseau. En TP la ligne d'eau dépasse les seuils des tronçons sans effluents ainsi les eaux usées circulent dans de plus nombreux tronçons et évitent les débordements en surface. Il peut y avoir, dans ces cas-là, des connexions entre les différents RD en TP. Pour limiter ce biais, nous choisissons de considérer dans un premier temps uniquement les RD en Temps Sec (TS).

Pour définir les réseaux de drainage de chaque BD en fonctionnement normal du réseau, considéré comme TS, nous avons repéré les tronçons sans effluents et les avons retirés de la couche "tronçons d'égout". La redéfinition manuelle des RD en excluant les tronçons sans effluents conduit à des RD de TS bien plus réduits spatialement comparée à celle des RD définis en TP (*Figure 3*). La différence d'extension spatiale entre le RD en TP et en TS pour le BD de Quai d'Orsay est extrême, pour la majorité des BD la différence est moins grande. Cela dépend de l'emplacement du BD dans le réseau d'assainissement et donc dans la cascade sédimentaire (voir 3.1.4.).



Figure 3 : RD du BD (en noir) de Quai d'Orsay. A) RD en TP défini par le script de la ville de Paris avec en noir l'emprise du RD en TS. B) RD en TS avec en rouge les tronçons sans effluents et en marron les tronçons non concernés par le RD de Quai d'Orsay. Les flèches indiquent le sens de circulation des effluents.

3.1.3. Définition des sens d'écoulement

La définition des RD en TS s'appuie également sur le sens d'écoulement au sein des tronçons. En effet, le RD d'un BD est défini par l'ensemble des tronçons dont le sens d'écoulement est dirigé vers lui. Les limites des RD correspondent (1) à des nœuds qui ne sont l'aval d'aucun tronçon (équivalents aux lignes de crête en milieu naturel (*Figure 1*) ; (2) à des nœuds aval de tronçons sans effluents.

Le sens d'écoulement n'est pas disponible dans la table attributaire de la couche "tronçons d'égouts". La pente du tronçon, disponible dans la table attributaire de la couche, n'est pas orientée et la qualité de la donnée est hétérogène. De même, la hauteur des radiers est une donnée disponible dans la table attributaire de la couche mais la donnée est lacunaire et ne permet donc pas de définir le sens d'écoulement des effluents pour tous les tronçons.

En revanche, l'ordre chronologique de saisie des tronçons dans la base de données s'opère systématiquement depuis le nœud amont vers le nœud aval d'un tronçon [ATD'EAU et GEOMAYENNE.FR, 2018]. Cela se traduit, lorsque l'on utilise une flèche pour symboliser un tronçon sur QGIS, par une flèche orientée de l'amont vers l'aval du tronçon. Puisqu'il n'existe pas, dans la table attributaire de la couche "tronçons d'égouts", de champs définissant cet ordre de saisie ou de sens d'écoulement, aucune

reconnaissance des sens d'écoulement n'a pu être automatisée. Aussi, seul l'examen détaillé de la symbologie liée au sens d'écoulement de chaque tronçon, associé au repérage des tronçons sans effluents, a permis de définir les 159 RD en TS. Pour chacun des 159 RD en TS, une nouvelle couche a été créée sous QGis. La *Figure 3* compare les RD en TS et TP du BD du Quai d'Orsay. Le RD est ramené d'une surface définie par le script couvrant 1/3 de la Ville en TP (*Figure 2*) à une surface couvrant quelques rues en TS (*Figure 3*).

3.1.4. Emboîtement des réseaux de drainage et interdépendance des BD : la cascade sédimentaire

Cette définition des RD en TS a aussi mis en lumière la structure particulière du réseau d'assainissement de la Ville de Paris : l'emboîtement des BD en "cascade sédimentaire". Plusieurs BD peuvent se succéder le long du réseau d'assainissement de la Ville de Paris, ce qui amène des interdépendances en termes d'apports en eaux et en particules. Un troisième écueil dans l'utilisation du script pour définir les RD de chaque BD est qu'il considère ces derniers comme des tronçons classiques en termes de transport d'eau (ce qui est la fonction première du script) mais aussi de particules (ce qui est la spécificité de notre étude). Ainsi, le script n'identifie pas que les BD constituent des pièges à sédiments. Or, la fonction première des BD est ce piégeage de sédiments. On peut faire l'hypothèse qu'une fraction substantielle des particules est piégée dans les BD amont et ne s'accumulera donc pas dans les BD plus en aval. Ainsi, le réseau de drainage d'un BD dit "aval" collectera certes les eaux ayant transité par les bassins en amont, mais sans doute pas les particules qui seront, en majeure partie, piégées par ces BD amont. Le réseau de drainage pertinent pour le transport et l'accumulation de particules dans un BD donné est donc fortement réduit par rapport à celui défini pour le transport d'eaux puisqu'il exclut les tronçons alimentant les BD en amont du BD considéré. Par analogie avec le milieu naturel, nous avons donc défini une "cascade sédimentaire" constituée d'une succession de BD selon le fonctionnement schématisé en *Figure 4*. Par la suite, seuls seront conservés pour cette étude les RD des BD dits "amont" (en tête de cascade sédimentaire) puisque l'origine des sédiments accumulés dans les BD dits "aval" est incertaine.

L'interdépendance entre les BD est illustrée pour la cascade sédimentaire constituée des BD Wurtz, Kellermann, Arago, Saint Médard, Poterne des peupliers, Saint Marcel et Ecoles en *Figure 5*.

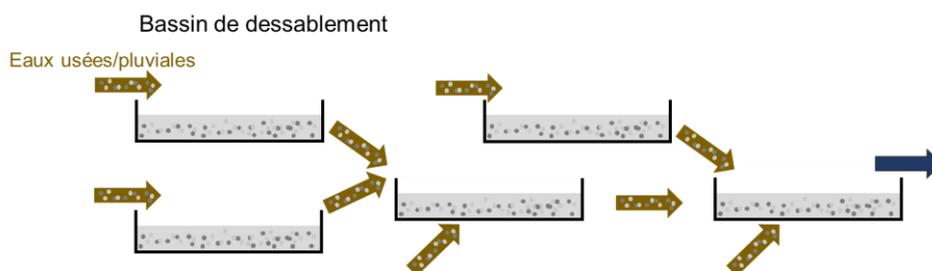


Figure 4 : fonctionnement de la cascade sédimentaire dans le réseau d'assainissement parisien.

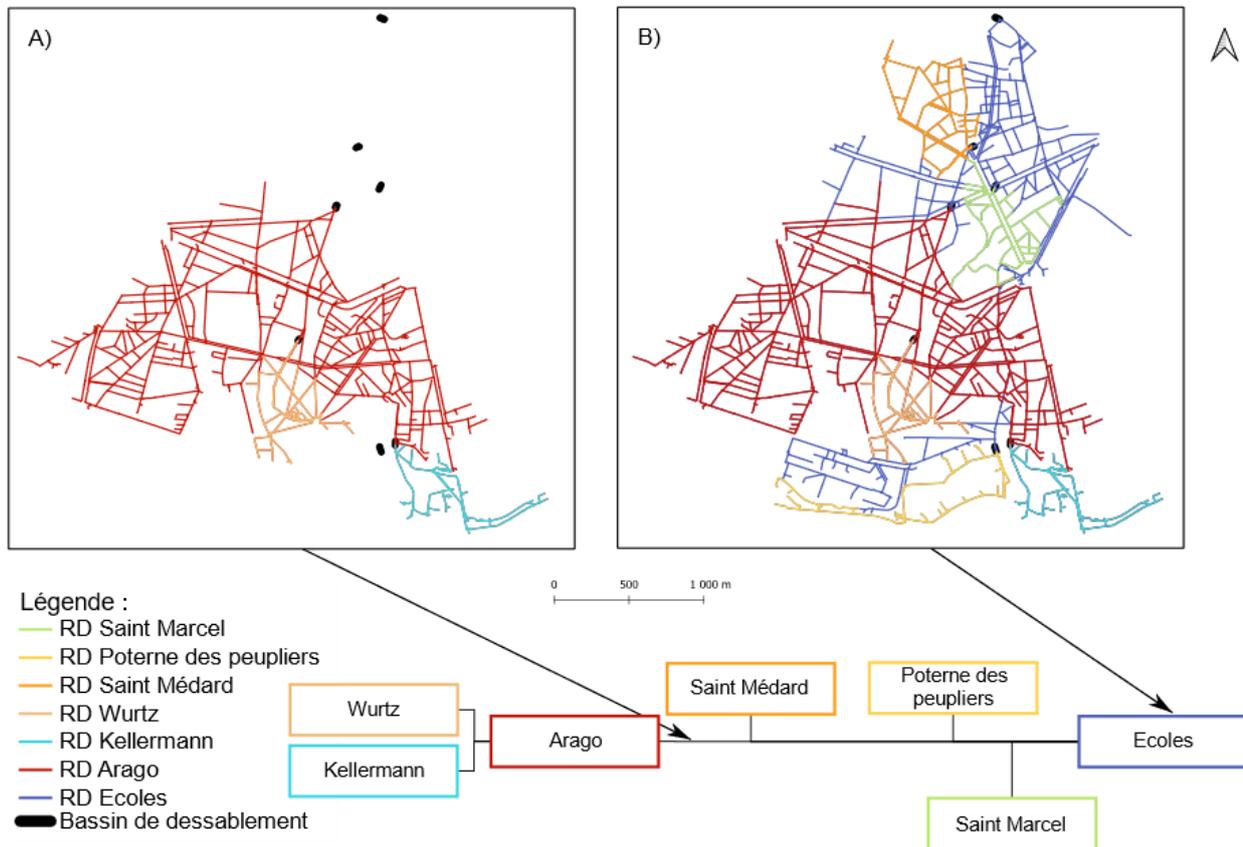


Figure 5 : cascade sédimentaire du BD Ecoles montrant l'emboîtement des RD (Temps Sec) lié à la succession de BD le long du réseau. A) réseau et sous-réseaux de drainage du BD Arago ; B) réseau et sous-réseaux de drainage du BD Ecoles.

Sur les 159 couches de RD en TS créées, seules 45 ont été sélectionnées selon les critères suivants :

- Les BD disposent de RD définis en TS (ce qui correspond aux conditions les plus habituelles dans le fonctionnement du réseau).
- Les BD sont situés en amont de la cascade sédimentaire (ce qui évite des problèmes de localisation des sources de matières).

Les zones d'apport de ces 45 RD seront la base de travail pour la suite de cette étude [ASSELIN *et al.*, in prep].

3.2. Définition des zones d'apport des bassins de dessablement

La délimitation des zones d'apport des bassins de dessablement a pour objectif (1) de circonscrire les groupes de foyers drainés par un bassin de dessablement (signal domestique) ; (2) de délimiter les surfaces (les toits, les parcs/jardins, la chaussée) drainées par les eaux pluviales.

3.2.1. Définition des zones d'apport des eaux domestiques

Afin d'identifier les foyers (ou groupes de foyers dans le cas d'habitats collectifs) dont les matières sont drainées vers les 45 BD retenus (signal domestique/eaux usées), et pour répondre au premier objectif de cette étude, il est nécessaire d'identifier les adresses des bâtiments contribuant à chaque RD en TS.

Les données utilisées sont (1) les RD des BD en TS définis plus haut ; (2) la couche "branchements particuliers" à l'échelle de toute la Ville de Paris ; (3) la couche "emprise bâtie/non bâtie" ; (4) la couche "adresses postales" ; (5) la couche "parcelles cadastrales". Le BD Affre sera utilisé pour illustrer la méthode.

La première étape consiste à isoler, à partir de la couche des BP de la Ville de Paris, des couches individuelles de BP correspondant à chaque RD.

Deux méthodologies ont été déployées :

- La création de nouvelles couches par la sélection (outil "sélection dans un vecteur-sélection à l'aide d'une expression" de QGis [DOCUMENTATION QGIS - 23.1.17.9. SÉLECTION DE VECTEUR PAR EXPRESSION]) des BP attribués à chacun des tronçons (disponible dans la table attributaire de la couche "tronçons d'égouts") identifiés pour chaque RD (cf. supra).
- La création de nouvelles couches par la sélection des BP les plus proches des tronçons. L'outil "géométrie vectorielle-tampon" de QGis [DOCUMENTATION QGIS - 24.1.16.6. GÉOMÉTRIE VECTORIELLE - TAMPON] a été utilisé avec une distance de 1 m pour définir la zone tampon autour des tronçons du réseau de drainage choisi. Ensuite, l'outil "sélection dans un vecteur-sélection par localisation" de QGis [DOCUMENTATION QGIS - 23.1.17.10. SÉLECTION DE VECTEUR PAR LOCALISATION] permet d'extraire de la couche des BP totaux la couche des BP qui intersectent la zone tampon autour du RD d'intérêt.

Les résultats de chaque méthode sont sensiblement équivalents mais la seconde méthode s'est avérée plus rapide. De nouvelles couches ont été créées contenant, pour chacune, les BP affectés aux tronçons, et donc au RD auquel il contribue (*Figure 6*).

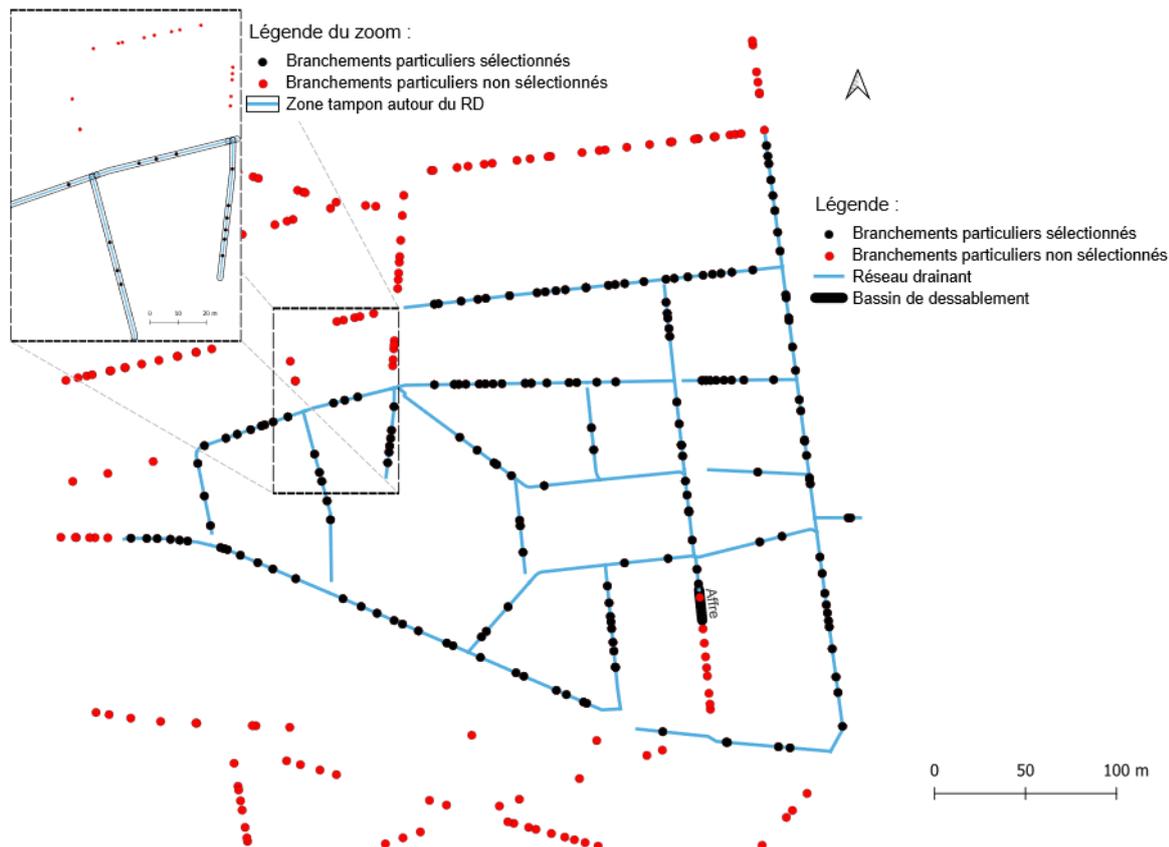


Figure 6 : BP (en noir) associés au RD Affre (en bleu) suite à la sélection parmi la couche "branchements particuliers" (en rouge ceux non sélectionnés) à l'aide de la zone tampon.

La seconde étape consiste à identifier chaque bâtiment associé à un BP. Pour cela nous cherchons à relier l'adresse de chaque BP à l'adresse postale de chaque bâtiment. Nous utilisons la couche "adresses postales" (normalisées avec celles de la couche "branchements particuliers") et la couche "emprise bâtie/non bâtie".

La couche "emprise bâtie/non bâtie" est sous forme de polygones mais les champs de la table attributaire ne contiennent pas l'adresse postale des bâtiments. Il est donc impossible d'associer l'adresse des BP à celle des bâtiments correspondants. L'adresse postale de chaque bâtiment de la couche "emprise bâtie/non bâtie" a été obtenue par l'intersection entre cette couche avec celle des "adresses postales" (les adresses postales sont localisées dans les polygones des bâtiments) puisque les points d'adresse postale sont situés dans les emprises. Ensuite, les adresses postales des bâtiments qui correspondent aux adresses des BP de chaque RD ont été sélectionnées avec l'outil "sélection dans un vecteur-sélection à l'aide d'une expression" de QGIS [DOCUMENTATION QGIS - 23.1.17.9. SÉLECTION DE VECTEUR PAR EXPRESSION] pour générer de nouvelles couches contenant l'ensemble des adresses postales relatives à chaque RD. L'expression suivante permet de sélectionner tous les points d'adresse :

"L_ADR_MIN" IN('adresse1', 'adresse2', 'adresse3', etc.)

45 nouvelles couches contenant les adresses postales liées à chaque RD/BD ont ainsi été créées. L'écriture de l'expression peut s'avérer fastidieuse si la zone comporte un grand nombre de BP puisqu'il faut saisir

manuellement un grand nombre d'adresses. La *Figure 7* présente l'ensemble des adresses postales associées aux BP du RD du BD de Affre.



Figure 7 : adresses postales (en blanc) associées aux BP (en noir) du le réseau drainant Affre (en bleu).

La troisième étape consiste à relier les points d'adresses postales associées à chaque BP aux polygones des bâtiments puisque la table attributaire de la couche "emprise bâtie/non bâtie" ne comporte pas de champ adresse. Le point d'adresse postale (défini ci-dessus) n'est localisé que sur un polygone de bâtiment alors que plusieurs polygones de bâtiments peuvent correspondre à une même adresse postale. Aussi, la sélection des bâtiments par intersection (outil "sélection dans un vecteur-sélection par localisation" de QGIS [DOCUMENTATION QGIS - 23.1.17.10. SÉLECTION DE VECTEUR PAR LOCALISATION]) des polygones de la couche "emprise bâtie/non bâtie" et des points de la couche "adresse postale" ne prend pas en compte l'ensemble des bâtiments d'une même adresse (*Figure 8A*).

Une deuxième approche a donc été testée : utiliser les polygones de parcelles cadastrales de la couche "parcelles cadastrales". La sélection obtenue (*Figure 8B*) est bien meilleure avec la couche "parcelles cadastrales" qu'avec la couche "emprise bâtie/non bâtie".

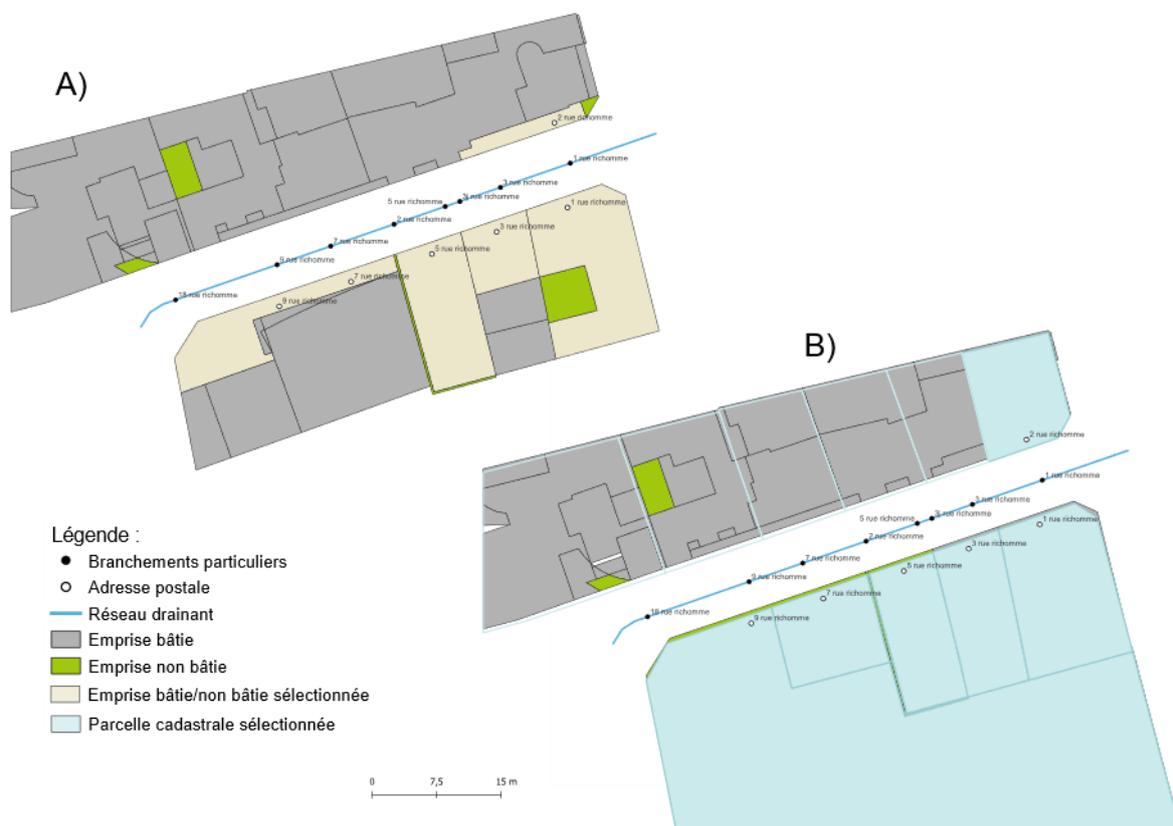


Figure 8 : différence de résultat dans la sélection des foyers ou groupes de foyers en utilisant A) la couche "emprise bâtie/non bâtie" ou B) la couche "parcelles cadastrales".

La table attributive de la couche "parcelles cadastrales" ne contenant pas les adresses postales non plus, il a été nécessaire d'utiliser l'outil "sélection dans un vecteur-sélection par localisation" de QGIS [DOCUMENTATION QGIS - 23.1.17.10. SÉLECTION DE VECTEUR PAR LOCALISATION] pour créer de nouvelles couches contenant les parcelles cadastrales intersectant les points d'adresses postale, et par extension celle des BP, associées à un RD/BD. Le résultat global est illustré en *Figure 9*.

Une fois les couches des parcelles cadastrales associées à chaque RD/BD créées, il est possible d'en isoler des couches de polygones des emprises bâties ou des emprises non-bâties par recouplement avec la couche "emprises bâties/non-bâties" [DOCUMENTATION QGIS - 23.1.17.10. SÉLECTION DE VECTEUR PAR LOCALISATION].

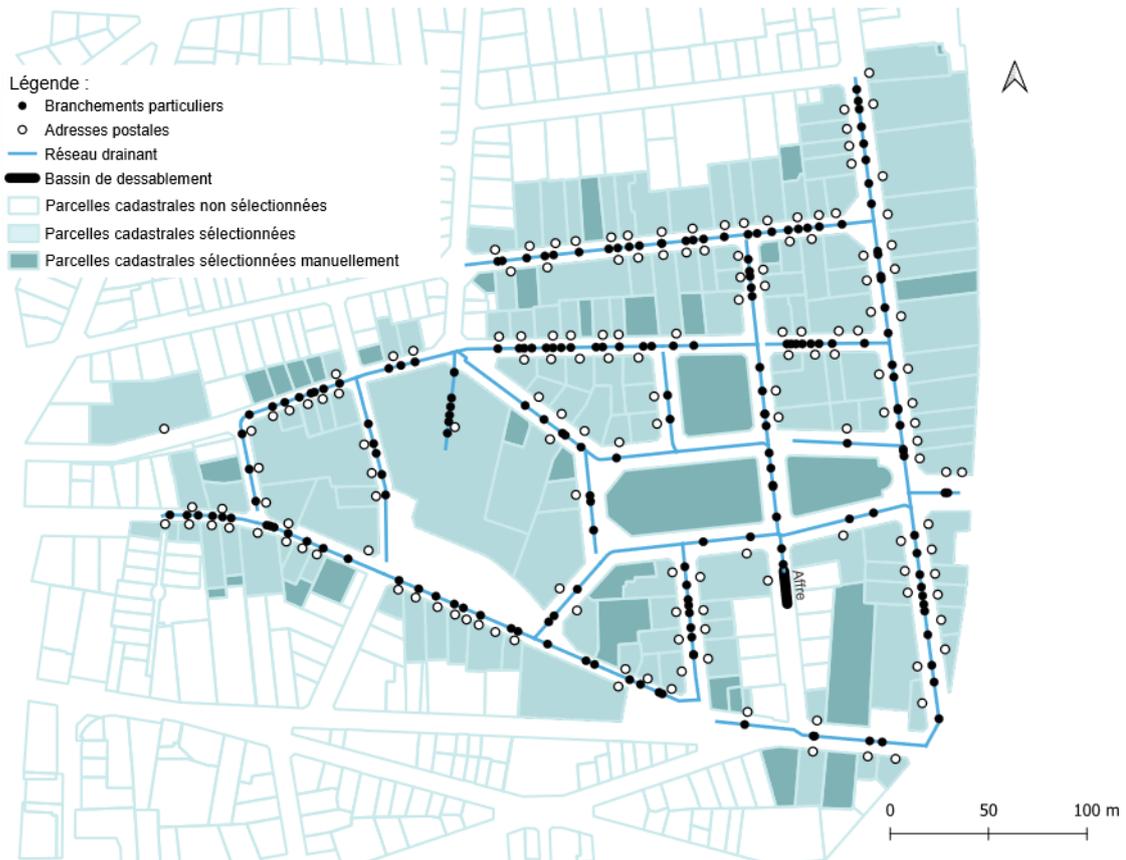


Figure 9 : identification de la zone d'apport domestique du réseau drainant de Affre après sélection des parcelles cadastrales.

Malgré l'avantage de la deuxième approche (polygones des parcelles cadastrales) comparée à la première (polygones des emprises bâties/non bâties), 34 parcelles cadastrales ne sont pas sélectionnées alors qu'elles sont évidemment drainées par le RD du BD Affre (*Figure 9*). Cela peut être dû à plusieurs raisons :

- Certains BP ne sont pas déclarés dans la couche "branchements particuliers" de TIGRE 7. En effet, un examen minutieux révèle que toute adresse postale ne correspond pas à un BP. Il est donc impossible de relier toute adresse postale à un BP.
- Certaines adresses ont pu ne pas être sélectionnées à cause d'une divergence de format entre les différentes sources. Par exemple le 9J rue de Affre, ou des formats de type X16J, X16K pour le numéro de voie dans le champ d'adresses postales de la couche "branchements particuliers".

Les 34 parcelles cadastrales qui n'ont pas été sélectionnées de manière automatique ont été repérées par sélection manuelle (dire d'expert) et ajoutées aux couches des parcelles cadastrales de chaque RD/BD (*Figure 9*). Le temps de sélection varie entre 10 et 15 minutes par BD, selon la taille de la zone drainée. Au final, cette étape a permis de répondre à l'objectif d'isoler dans des couches distinctes, pour chaque RD/BD, les parcelles cadastrales et leurs adresses, et donc les foyers et groupes de foyers contribuant aux apports domestiques.

3.2.2. Définition des zones d'apport des eaux pluviales : agrégation des surfaces

Le second objectif était de délimiter la zone des apports par les eaux pluviales. Celle-ci comprend les apports en eaux et particules provenant des toits et des bâtiments (= parcelles cadastrales, cf. supra), mais aussi ceux provenant des parcs et jardins, des trottoirs et des chaussées. Deux méthodes ont été testées :

- Tracé automatique :

L'outil de tracé automatique d'enveloppe "géométrie vectorielle-enveloppe concave (voisin le plus proche)" de QGis [DOCUMENTATION QGIS - 25.1.18.11. GÉOMÉTRIE VECTORIELLE - ENVELOPPE CONCAVE] a été appliqué aux couches de parcelles cadastrales de chaque RD/BD pour délimiter automatiquement leur zone d'apport. Le tracé obtenu avec cette méthode (*Figure 10*) n'est pas satisfaisant. En effet, certaines parcelles pourtant évidemment connectées au RD ne sont pas prises en compte alors que le tracé sélectionne d'autres parcelles qui ne devraient pas être sélectionnées. De plus, la chaussée, pourtant un élément essentiel dans la définition des zones d'apport pluvial, n'est pas prise en compte dans le tracé de l'enveloppe puisque seules les parcelles cadastrales sont considérées en données d'entrée. Il faudrait modifier, à la main, le polygone défini automatiquement pour qu'il convienne à nos attentes.

- Tracé manuel :

L'alternative a été de tracer la zone d'apport à la main à l'aide de l'outil "édition de couche vectorielle-ajouter une entité polygonale" de QGis [DOCUMENTATION QGIS - 14.4. ÉDITER]. Ce tracé manuel est plus long à réaliser que le tracé automatique... mais plus efficace. En effet, cette méthode permet d'apporter un dire d'expert sur la prise en compte ou non des parcelles dans la zone (*Figure 10*). Toutes les zones d'apport des BD d'intérêt pour l'étude (45) ont été définies par cette méthode manuelle, considérant qu'il s'agissait du meilleur compromis entre le temps consacré et la précision de la zone d'apport. Le temps de tracé avec la méthode manuelle varie entre 10 et 15 minutes par BD, selon la taille de la zone drainée.



Figure 10 : comparaison des deux zones d'apport tracées automatiquement (en rouge) et manuellement (en vert).

Au total, cette méthodologie a permis de définir les zones d'apport des 45 BD situés en amont de la cascade sédimentaire (Figure 11).

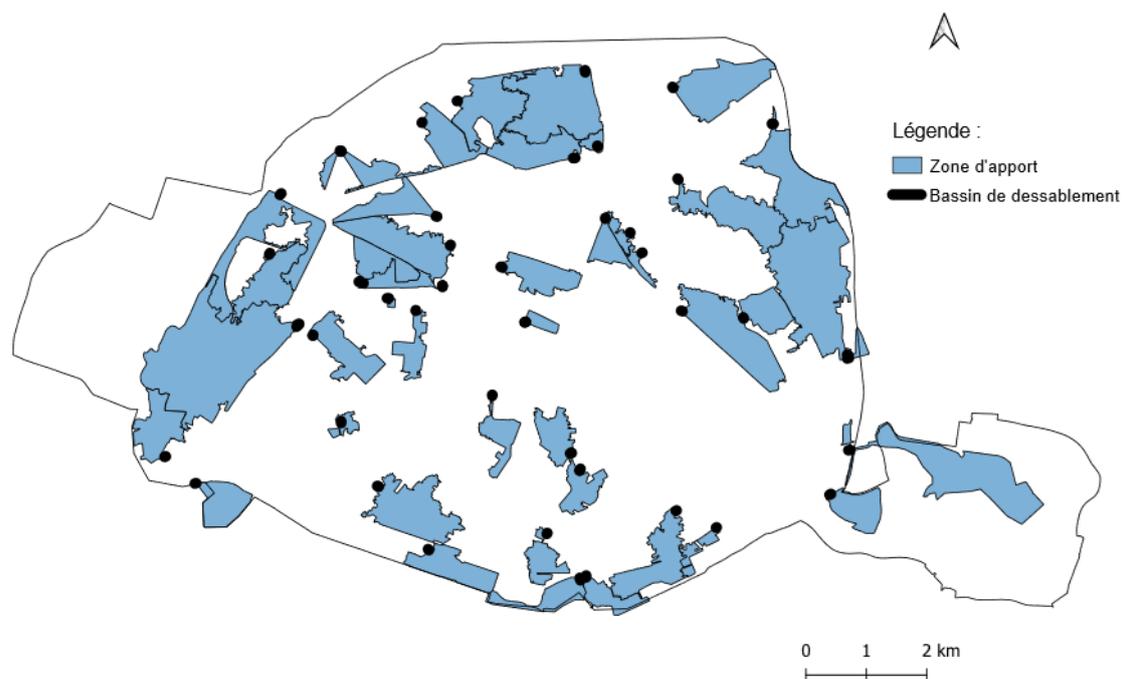


Figure 11 : les zones d'apport (en bleu) des 45 BD définies à l'aide de la méthode proposée.

3.2.3. Comparaison avec des vieilles cartes

Nous avons retrouvé dans les archives du STEA des cartes (non datées et sans légende) du réseau d'assainissement centrées sur quelques BD (Belles Feuilles, Islettes et Poissonniers). Sur ces cartes, un périmètre est tracé, délimitant une zone qui pourrait correspondre à la zone d'apport de ces BD.

Les tracés des zones d'apport définies ce travail est comparé aux périmètres dessinés sur les cartes issues des archives en *Figure 12*. Les limites de ces polygones sont très similaires. Les divergences pourraient être expliquées par des modifications du réseau depuis la production des cartes, ce qui a pu impacter le périmètre des zones d'apport. Si les périmètres définis sur les cartes anciennes correspondent bien aux zones d'apport définies à l'époque, cette comparaison valide la méthode de définition des zones d'apport exposée ici.

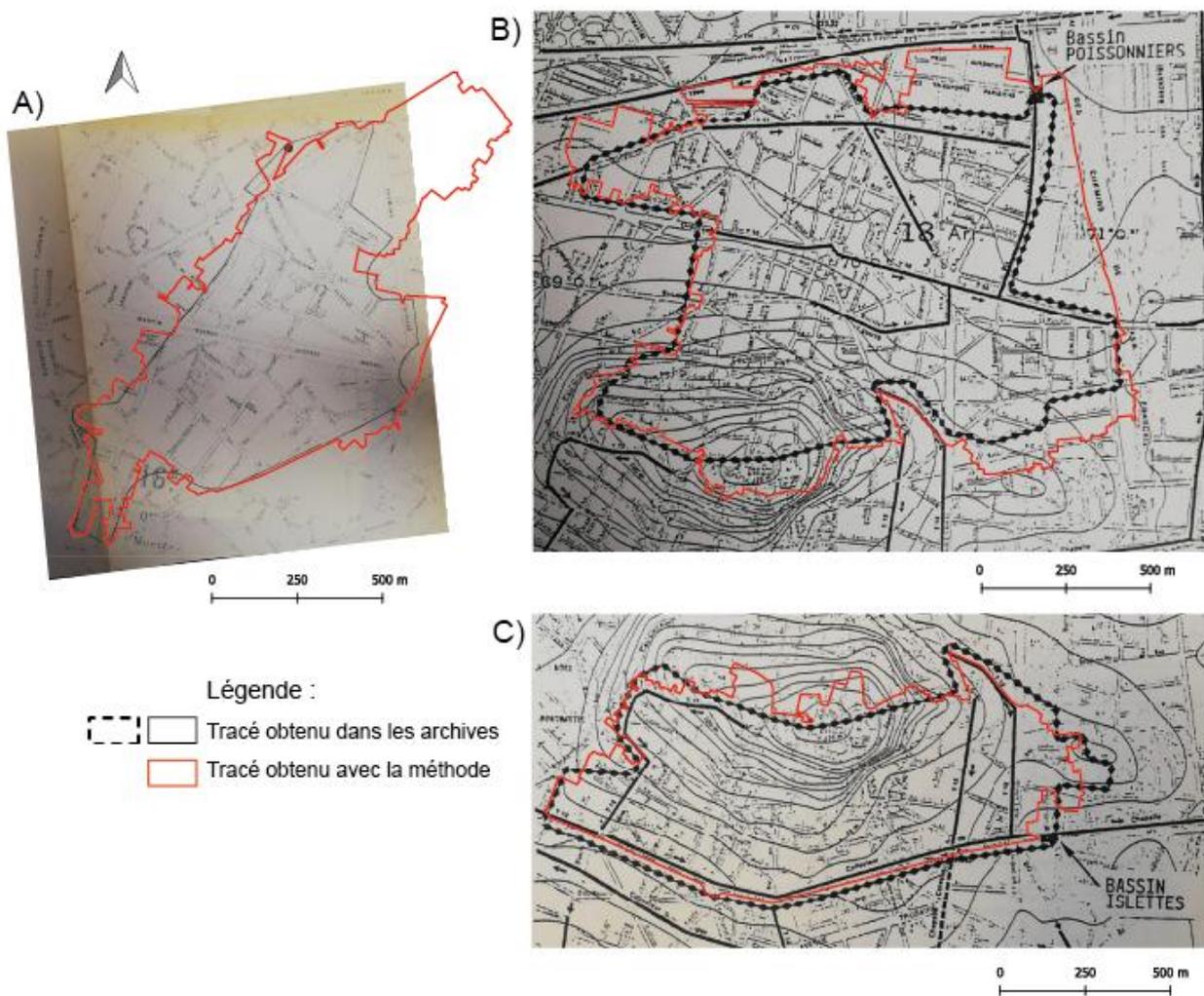


Figure 12 : comparaison entre les tracés repérés sur les cartes anciennes (en noir) et la zone d'apport définie à l'aide de la méthode développée (en rouge), avec en A) le BD de Belles Feuilles, en B) le BD de Poissonniers et en C) le BD de Islettes.

Conclusion

Ce travail détaille la méthodologie adoptée pour définir les zones d'apport (domestiques et pluviales) de chaque bassin de dessablement du réseau d'assainissement de la Ville de Paris. Ces zones d'apport répondent à deux objectifs (1) délimiter les foyers/groupes de foyers drainés par chaque BD ; (2) circonscrire la surface drainée prenant non seulement en compte les foyers/groupes de foyers mais aussi les parcs/jardins et la chaussée. Cette surface circonscrite, nommée zone d'apport, est un nouvel objet scientifique qui permettra l'analyse plus localisée de la source et de la dynamique des matières dans les eaux et sédiments des réseaux d'assainissement mais aussi une confrontation plus directe avec les données spatialisées, par exemple socio-économiques disponibles en surface.

Ce travail a produit un nombre important de données nouvelles formalisées en couches. Pour chacun des 159 BD du réseau d'assainissement une couche des RD en TS et une couche des RD en TP ont été générées. Pour les 45 BD sélectionnés (situés en amont de la cascade sédimentaire) : une couche regroupant les points de BP liés au RD, une couche pour les points d'adresses postales, une couche pour les parcelles cadastrales drainées par le RD, et le polygone de la zone d'apport du BD ont été générés. Au total, 498 nouvelles couches ont été produites et seront rendues disponibles pour des études futures, sous réserve de l'accord de la Ville de Paris.

Dans ce travail, la méthode n'est pas totalement automatisée et nécessite un certain nombre d'interventions manuelles qui permettent d'apporter un certain dire d'expert. De plus, la qualité des données source a été un facteur déterminant pour la rapidité des traitements et la qualité des produits. Ce travail a permis de mettre en exergue des problèmes de non-harmonisation des formats d'adresse entre bases de données. Le script intégré dans TIGRE 7 pour définir les "bassins versants" est performant pour les périodes de fortes précipitations (TP). Sur la base des éléments apportés dans cette étude, des aménagements pourraient être proposés pour adapter le script aux conditions de temps sec, par exemple en excluant les tronçons définis comme "sans effluents".

Ce travail a été engagé pour préparer la comparaison des données acquises sur les sédiments déposés dans les bassins de dessablement avec celles disponibles sur les populations et zones contributrices en surface. Les zones d'apport ainsi définies seront d'intérêt pour toute étude visant à confronter des données acquises sur les eaux et sédiments du réseau d'assainissement avec des données de surface. Plus largement, la méthode développée ici se veut générique et a vocation à être déployée dans d'autres villes, avec des données initiales certes distinctes et des contextes et échelles différents.

Remerciements

Ce travail s'intègre dans le projet ANR EGOUT (Observations géochimiques des trajectoires urbaines, ANR-21-CE03-0005). Les auteurs veulent remercier la Ville de Paris pour les données extraites de TIGRE 7.

Références

- AKRAM F., RASUL M., KHAN M. et AMIR M.S. (2012): "Automatic Delineation of Drainage Networks and Catchments using DEM data and GIS Capabilities: a case study."
- ALI M.U., LIU G., YOUSAF B., ULLAH H., ABBAS Q. et MUNIR M.A.M. (2019): "A systematic review on global pollution status of particulate matter-associated potential toxic elements and health perspectives in urban environment." *Environmental Geochemistry and Health*, 41, 1131- 1162.
- APPIAH-OPOKU S., MANU K.K., ASIBEY M.O. et AMPONSAH O. (2023): "Tragedy of urban green spaces depletion in selected sub-Sahara African major cities." *Journal of African Studies and Development*, 15, 46- 61.
- ASSELIN C., JACOB J., MOILLERON R. et RICAN S. (in prep) : "Méthode pour confronter spatialement les données socio-économiques avec des données d'assainissement : exemple à Paris."
- ATD'EAU et GEOMAYENNE.FR. (2018): Strandard GEOPAL ajusté pour la numérisation du réseau d'assainissement collectif.
- BARLES S. (2008): "Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes." *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 52, 21- 26.
- BELLIDENTY J. et MARTINEZ C. (2015): "Des disparités de niveaux de vie fortes à Paris et dans les Hauts-de-Seine." *Insee Flash*, 2.
- BERCHENKO Y., MANOR Y., FREEDMAN L.S., KALINER E., GROTTI I., MENDELSON E. et HUPPERT A. (2017): "Estimation of polio infection prevalence from environmental surveillance data." *Science Translational Medicine*, 9, eaaf6786.
- BON O. (2005): "L'insoutenable développement urbain de l'île de Tahiti : politique du « tout automobile » et congestion des déplacements urbains." *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 58, 121- 152.
- BRAUD I., JANKOWFSKY S. et BRANGER F. (2020): "Délimitation d'un bassin versant périurbain et identification de son réseau de drainage."
- BUCARDO F., LINDGREN P.-E., SVENSSON L. et NORDGREN J. (2011): "Low Prevalence of Rotavirus and High Prevalence of Norovirus in Hospital and Community Wastewater after Introduction of Rotavirus Vaccine in Nicaragua." *PLOS ONE*, 6, e25962.
- CARNEIRO FREIRE S.M., CORBAN C., EHRLICH D., FLORCZYK A., KEMPER T., MAFFENINI L., MELCHIORRI M., PESARESI M., SCHIAVINA M. et TOMMASI P. (2019): *Atlas of the Human Planet 2019*.
- CHOI P.M., O'BRIEN J.W., TSCHARKE B.J., MUELLER J.F., THOMAS K.V. et SAMANIPOUR S. (2020):

"Population Socioeconomics Predicted Using Wastewater." *Environmental Science & Technology Letters*, 7, 567- 572.

———, TSCHARKE B., SAMANIPOUR S., HALL W.D., GARTNER C.E., MUELLER J.F., THOMAS K.V. et O'BRIEN J.W. (2019): "Social, demographic, and economic correlates of food and chemical consumption measured by wastewater-based epidemiology." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116, 21864- 21873.

———, TSCHARKE B.J., DONNER E., O'BRIEN J.W., GRANT S.C., KASERZON S.L., MACKIE R., O'MALLEY E., CROSBIE N.D., THOMAS K.V. et MUELLER J.F. (2018): "Wastewater-based epidemiology biomarkers: Past, present and future." *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 105, 453- 469.

CUTLER D. et MILLER G. (2005): "The role of public health improvements in health advances: the twentieth-century United States." *Demography*, 42, 1- 22.

DAMON J. (2014): "Chiffres, approches et paradoxes de la pauvreté urbaine." *Questions de communication*, 143- 160.

D'AOUST P.M., MERCIER E., MONTPETIT D., JIA J.-J., ALEXANDROV I., NEAULT N., BAIG A.T., MAYNE J., ZHANG X., ALAIN T., LANGLOIS M.-A., SERVOS M.R., MACKENZIE M., FIGEYS D., MACKENZIE A.E., GRABER T.E. et DELATOLLA R. (2021): "Quantitative analysis of SARS-CoV-2 RNA from wastewater solids in communities with low COVID-19 incidence and prevalence." *Water Research*, 188, 116560.

DUINTJER TEBBENS R.J., ZIMMERMANN M., PALLANSCH M.A. et THOMPSON K.M. (2017): "Insights from a Systematic Search for Information on Designs, Costs, and Effectiveness of Poliovirus Environmental Surveillance Systems." *Food and Environmental Virology*, 9, 361- 382.

GASPERI J., MOILLERON R. et CHEBBO G. (2005): "Spatial variability of PAH load of urban wet weather pollution in the Parisian combined sewer." *La Houille Blanche*, 91, 35- 40.

HAAK L., DELIC B., LI L., GUARIN T., MAZUROWSKI L., DASTJERDI N.G., DEWAN A. et PAGILLA K. (2022): "Spatial and temporal variability and data bias in wastewater surveillance of SARS-CoV-2 in a sewer system." *The Science of the Total Environment*, 805, 150390.

HEGAZY N., COWAN A., D'AOUST P.M., MERCIER É., TOWHID S.T., JIA J.-J., WAN S., ZHANG Z., KABIR M.P., FANG W., GRABER T.E., MACKENZIE A.E., GUILHERME S. et DELATOLLA R. (2022): "Understanding the dynamic relation between wastewater SARS-CoV-2 signal and clinical metrics throughout the pandemic." *Science of The Total Environment*, 853, 158458.

HUMAIN-LAMOURE A.-L. et LAPORTE A. (2022): *Introduction à la géographie urbaine - 2e éd.* Armand Colin.

JACOB J., THIBAUT A., SIMONNEAU A., SABATIER P., LE MILBEAU C., GAUTRET P., ARDITO L. et MORIO C. (2020): "High-resolution sedimentary record of anthropogenic deposits accumulated in a sewer decantation tank." *Anthropocene*, 30, 100238.

KAROLAK S., NEFAU T., BAILLY E., SOLGADI A. et LEVI Y. (2010): "Estimation of illicit drugs consumption by wastewater analysis in Paris area (France)." *Forensic Science International*, 200, 153- 160.

KAYEMBE A. et MITCHELL C.P.J. (2018): "Determination of subcatchment and watershed boundaries in a complex and highly urbanized landscape." *Hydrological Processes*, 32, 2845- 2855.

KHOSLA R. et BHARDWAJ A. (2019): "Urbanization in the time of climate change: Examining the response of Indian cities." *WIREs Climate Change*, 10, e560.

MADORÉ F. (2005): "La ségrégation sociale dans les villes françaises: réflexion épistémologique et méthodologique." *Cahiers de géographie du Québec*, 49, 45- 60.

———. (2015): "Approche comparative de la ségrégation socio-spatiale dans les aires urbaines françaises." *Annales de géographie*, 706, 653- 680.

MOILLERON R., PEREZ J. et GARNAUD S. (2005): "Grain size distribution of metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in silt trap sediments from the combined sewer network of Paris (France)." *Water Science and Technology*, 52, 111- 118.

MOULIN L., BONI M., CLUZEL N., GARRY P., LE GUYADER S., LEVERT M., MADAY Y., MARECHAL V., MOUCHEL J.-M., WANG S. et WURTZER S. (2021): "L'épidémiologie basée sur les eaux usées, un outil innovant pour le suivi sanitaire des populations: l'exemple du réseau Obépine, sentinelle de l'épidémie de Covid-19, Wastewater-based epidemiology, an innovative tool for population health monitoring: example of the Obépine network, sentinel of the Covid-19 outbreak." *Techniques Sciences Méthodes, Spécial*, 21- 30.

NOURBAKSH S., FAZIL A., LI M., MANGAT C.S., PETERSON S.W., DAIGLE J., LANGNER S., SHURGOLD J., D'AOUST P., DELATOLLA R., MERCIER E., PANG X., LEE B.E., STUART R., WIJAYASRI S. et CHAMPREDON D. (2022): "A wastewater-based epidemic model for SARS-CoV-2 with application to three Canadian cities." *Epidemics*, 39, 100560.

VAN NUIJS A.L.N., PECCEU B., THEUNIS L., DUBOIS N., CHARLIER C., JORENS P.G., BERVOETS L., BLUST R., NEELS H. et COVACI A. (2009): "Spatial and temporal variations in the occurrence of cocaine and benzoylecgonine in waste- and surface water from Belgium and removal during wastewater treatment." *Water Research*, 43, 1341- 1349.

ORT C., VAN NUIJS A.L.N., BERSET J.-D., BIJLSMA L., CASTIGLIONI S., COVACI A., DE VOOGT P., EMKE E., FATTA-KASSINOS D., GRIFFITHS P., HERNÁNDEZ F., GONZÁLEZ-MARIÑO I., GRABIC R., KASPRZYK-HORDERN B., MASTROIANNI N., MEIERJOHANN A., NEFAU T., ÖSTMAN M., PICO Y., RACAMONDE I., REID M., SLOBODNIK J., TERZIC S., THOMAIDIS N. et THOMAS K.V. (2014): "Spatial differences and temporal changes in illicit drug use in Europe quantified by wastewater analysis." *Addiction*, 109, 1338- 1352.

PAIJENS C., FRÈRE B., CAUPOS E., MOILLERON R. et BRESSY A. (2020): "Determination of 18 Biocides in Both the Dissolved and Particulate Fractions of Urban and Surface Waters by HPLC-MS/MS." *Water, Air, &*

Soil Pollution, 231, 210.

PAN J., DENG Y., YANG Y. et ZHANG Y. (2023): "Location-allocation modelling for rational health planning: Applying a two-step optimization approach to evaluate the spatial accessibility improvement of newly added tertiary hospitals in a metropolitan city of China." *Social Science & Medicine*, 338, 116296.

PANTELIADIS P., STRAK M., HOEK G., WEIJERS E., VAN DER ZEE S. et DIJKEMA M. (2014): "Implementation of a low emission zone and evaluation of effects on air quality by long-term monitoring." *Atmospheric Environment*, 86, 113- 119.

RESPAUD-MÉDOUS A. (1999): "Le système bassin-versant urbain et le problème de ses limites." *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 4, 77- 84.

ROCHER V., GARNAUD S., MOILLERON R. et CHEBBO G. (2004)a: "Hydrocarbon pollution fixed to combined sewer sediment: a case study in Paris." *Chemosphere*, 54, 795- 804.

———, AZIMI S., MOILLERON R. et CHEBBO G. (2004)b: "Hydrocarbons and heavy metals in the different sewer deposits in the 'Le Marais' catchment (Paris, France): stocks, distributions and origins." *Science of The Total Environment*, 323, 107- 122.

ROUSIS N.I., GRACIA-LOR E., ZUCCATO E., BADE R., BAZ-LOMBA J.A., CASTRIGNANÒ E., CAUSANILLES A., COVACI A., DE VOOGT P., HERNÁNDEZ F., KASPRZYK-HORDERN B., KINYUA J., MCCALL A.-K., PLÓSZ B.Gy., RAMIN P., RYU Y., THOMAS K.V., VAN NUIJS A., YANG Z. et CASTIGLIONI S. (2017): "Wastewater-based epidemiology to assess pan-European pesticide exposure." *Water Research*, 121, 270- 279.

SABATINI F. (2006): "The Social Spatial Segregation in the Cities of Latin America." *Inter-American Development Bank*, 1- 44.

SLOVIC A.D., DE OLIVEIRA M.A., BIEHL J. et RIBEIRO H. (2016): "How Can Urban Policies Improve Air Quality and Help Mitigate Global Climate Change: a Systematic Mapping Review." *Journal of Urban Health : Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 93, 73- 95.

TREILLES R., GASPERI J., SAAD M., TRAMOY R., BRETON J., RABIER A. et TASSIN B. (2021)a: "Abundance, composition and fluxes of plastic debris and other macrolitter in urban runoff in a suburban catchment of Greater Paris." *Water research*, 192, 116847.

———, ——, GALLARD A., SAAD M., DRIS R., PARTIBANE C., BRETON J. et TASSIN B. (2021)b: "Microplastics and microfibers in urban runoff from a suburban catchment of Greater Paris." *Environmental Pollution*, 287, 117352.

WURTZER S., LACOTE S., MURRI S., MARIANNEAU P., MONCHATRE-LEROY E., BONI M., FERRARIS O., MADAY Y., KÉBÉ O., DIA N., PEYREFITTE C., SOKOL H., OBEPINE CONSORTIUM, MOULIN L. et MARÉCHAL V. (2022)a: "Reduction in SARS-CoV-2 Virus Infectivity in Human and Hamster Feces." *Viruses*, 14, 1777.

