

**Transfert de microplastiques via le réseau d'assainissement unitaire :
des dépôts au sein du réseau aux rejets urbains de temps de pluie**

**Microplastic in combined sewer networks:
from sewer deposit to combined sewer overflows**

Nguyen Trang¹, Dris Rachid¹, Sabrina Guérin², Tassin Bruno¹, Gasperi Johnny³

³ Leesu, Ecole des Ponts, Univ Paris Est Créteil, Marne-la-Vallée, France

rachid.dris@u-pec.fr, bruno.tassin@enpc.fr

² Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), Direction
Innovation, 82 Avenue Kléber, F-92700 Colombes, France, sabrina.guerin@siaap.fr

³ Université Gustave Eiffel, Laboratoire eau environnement (LEE), Allée des Ponts et Chaussées, 44344
Bouguenais. johnny.gasperi@univ-eiffel.fr

CATEGORIE DE L'ARTICLE : *Recherche appliquée*

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

RELECTEURS : *Ghislain Lipeme*, gislain.lipeme-kouyi@insa-lyon.fr,

TABLE DES MATIERES :

Résumé / Abstract	p. 2
Introduction	p. 3
Matériels et méthodes	p. 3
Résultats et discussion	p. 7
Conclusion	p. 12
Remerciements	p. 13
Bibliographie	p. 13

26 **Résumé-** (250 - 300 mots)

27 S'il est reconnu dans la littérature que les eaux résiduaires urbaines véhiculent une charge en
28 microplastiques (MP) importante, la contamination des dépôts de réseaux d'assainissement et des rejets
29 urbains de temps de pluie restait jusqu'à lors inexplorée, malgré une contamination potentiellement
30 importante. Les concentrations observées pour les dépôts (entre 5×10^3 à 178×10^3 particules/kg de sédiment
31 sec) témoignent en effet qu'une partie des microplastiques véhiculées par les eaux usées peut sédimenter.
32 Indépendamment du polymère considéré, la sédimentation d'une partie des microplastiques au sein du
33 réseau pourrait être liée aux conditions d'écoulement mais aussi aux interactions avec les autres particules
34 des eaux usées, et/ou à la formation d'hétéro agrégats avec d'autres particules minérales ou organiques
35 revêtues ou non de biofilm. Ces phénomènes conduisent à la formation d'un stock important au sein du
36 réseau, et le risque associé de transfert lors d'événements pluvieux en raison de la remise en suspension de
37 ces sédiments. Les concentrations en MP dans les RUTP fluctuent entre 67 et 392 particules/L, et aucune
38 relation claire entre la concentration en MP et la proportion d'eaux usées ou d'eaux pluviales dans les RUTP,
39 ni avec d'autres paramètres physico-chimiques n'a pu être mise en évidence. Ceci suggère que la
40 contamination des MP dans les RUTP est complexe et peut dépendre de nombreux autres facteurs. Parmi
41 ces facteurs, la remise en suspension des dépôts au sein du réseau pourrait jouer un rôle clé. En
42 considérant que 21 millions de m³ de RUTP sont déversés en Seine chaque année et les concentrations
43 minimales et maximales, un flux annuel de particules a été estimé entre $1,4$ et $8,2 \times 10^{12}$ particules/an, flux
44 relativement conséquent au regard des flux rejetés par les stations d'épuration ou à l'aval de l'agglomération
45 parisienne.

46 **Mots-clés :** microplastiques, réseau d'assainissement unitaires, dépôts de réseau, rejets urbains de temps
47 de pluie

48 **Abstract** (250 - 300 mots)

49 Although it is recognized in the literature that urban wastewater carries a significant load of microplastics
50 (MP), the contamination of deposits in sewer networks and combined sewer overflows (CSO) has remained
51 unexplored until now, despite potentially significant contamination. Concentrations of between 5×10^3 and
52 178×10^3 particles/kg of dry sediment were observed in deposits, indicating that some of the microplastics
53 carried by wastewater settle. Irrespective of the polymer considered, the sedimentation of some of the
54 microplastics within the network could be linked to wastewater flow conditions, but also to interactions with
55 other particles in the wastewater, and/or to the formation of hetero-aggregates with other mineral or organic
56 particles, whether or not coated with biofilm. These phenomena lead to the formation of a large stock within
57 the network, and the associated risk of transfer during rainy events due to the resuspension of these
58 sediments. MP concentrations in the CSO fluctuate between 67 and 392 particles/L, and no clear
59 relationship between MP concentration and the proportion of wastewater or stormwater or with other
60 physico-chemical parameters, was demonstrated. This suggests that the contamination of CSO is complex
61 and may depend on many other factors. Among these factors, the resuspension of deposits within the
62 network could play a key role. Considering that 21 million m³ of CSO are discharged into the Seine every
63 year and the minimum and maximum concentrations, an annual flow of particles was estimated at between

64 1.4×10¹² and 8.2×10¹² particles/year, a relatively large flow compared with the flows discharged by
65 wastewater treatment plants or downstream of the Paris conurbation.

66 **Keywords:** microplastics, combined sewer, sewer deposits, combined sewer overflows

67 1. Introduction

68 Le laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) et la Direction Innovation du Service public
69 de l'assainissement francilien (SIAAP) s'intéressent depuis 2013 aux sources et flux de microplastiques (< 5
70 mm) en milieu urbain et à l'échelle du bassin de la Seine. Les travaux engagés visent d'une part à
71 appréhender la contamination en microplastiques des eaux urbaines dans le continuum réseau
72 d'assainissement - station d'épuration - eaux de surface. Ils visent également, à proposer des premiers
73 bilans de masse à l'échelle du bassin de la Seine.

74 Les travaux de thèse de Trang Ninh Nguyen (2020-2023), doctorante dans le cadre du projet Européen
75 Limnoplast, du programme OPUR et de la programmation MeSeine InnEAUvation, se sont focalisés sur le
76 continuum réseau – station d'épuration et ont exploré la contamination des eaux usées, des dépôts de
77 réseaux d'assainissement, des rejets de station d'épuration, des rejets unitaires de temps de pluie (RUTP),
78 et des boues résiduaires urbaines.

79 Dans le présent article, un focus sur les dépôts de réseaux d'assainissement et les RUTP est présenté. Alors
80 que des données sont acquises à travers le monde depuis déjà quelques années sur les eaux résiduaires
81 urbaines brutes ou traitées, ainsi que sur les boues de station d'épuration, celles sur les dépôts de réseaux
82 et les RUTP demeurent très originales, malgré une probable contamination importante.

83 Il est en effet reconnu dans la littérature que les eaux usées transfèrent des quantités importantes de
84 microplastiques (Liu et al., 2021 ; Xu et al., 2021 ; Krishnan et al., 2023). Selon la gamme de taille
85 considérée et les microplastiques pris en considération, les concentrations fluctuent fortement, de quelques
86 particules/l à plusieurs centaines voire milliers de particules/l. A l'instar des autres particules véhiculées par
87 les eaux usées, et selon le dimensionnement et la configuration des réseaux d'assainissement (pente faible,
88 faible écoulement des eaux usées entraînant une faible turbulence, etc.), la première hypothèse qui a été
89 formulée était qu'une partie des microplastiques pouvait sédimenter au cours du transfert des eaux usées et
90 être séquestrée dans les dépôts de réseau. Explorer la qualité des dépôts de réseaux, au sein du réseau
91 d'assainissement parisien, a permis de vérifier cette hypothèse et d'en préciser son étendue.

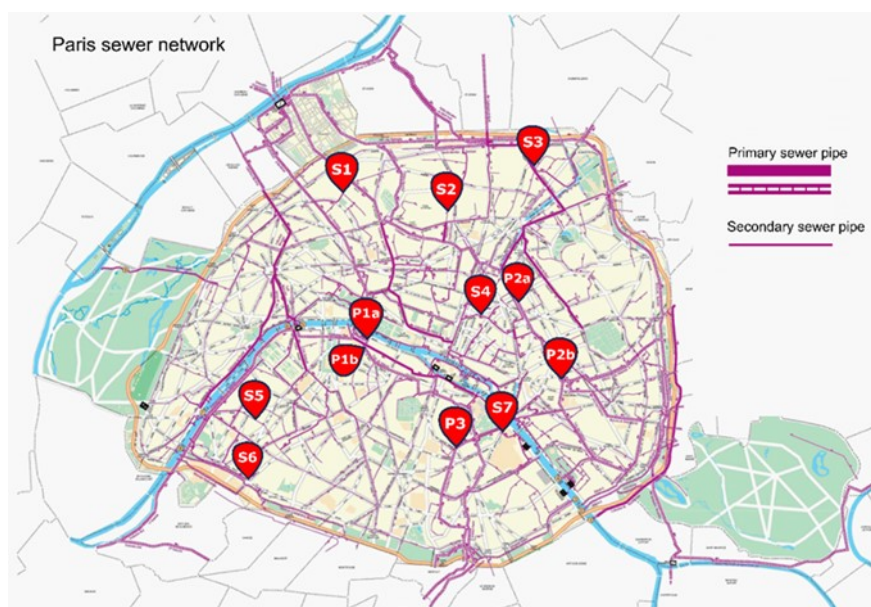
92 Dans le cas des réseaux d'assainissement unitaire, lors d'évènements pluvieux, ces dépôts peuvent être
93 remobilisés. Des études précédentes ont démontré que la remise en suspension des dépôts de réseaux
94 pouvait constituer jusqu'à 80% de la charge particulaire des RUTP (Gasperi et al., 2010 ; Passerat et al.,
95 2011). La remise en suspension de ces dépôts, s'ils s'avèrent fortement contaminés par les microplastiques,
96 pourrait de manière similaire conduire à la remobilisation de quantité importante de microplastiques et de
97 facto conduire à des concentrations importantes dans les RUTP. C'est dans ce contexte, et pour répondre à
98 cette seconde hypothèse, que les RUTP collectés au niveau de deux principaux déversoirs d'orage du
99 système d'assainissement parisien ont été étudiés.

100 2. Matériels et méthodes

101 2.1. Sites et procédure d'échantillonnage

- 102 • Échantillonnage des dépôts de réseaux

103 Douze échantillons de dépôts ont été prélevés dans différentes chambres à sable situées au sein du réseau
104 d'assainissement parisien, de mars à août 2021. Ils proviennent de collecteurs primaires (P1, P2 et P3, "a"
105 et "b" indiquant les échantillons provenant du même collecteur) ou secondaires (S1 à S7) (Figure 1). Les
106 sédiments des chambres à sable ont été considérés puisqu'ils sont plus facilement collectés au sein du
107 réseau et montrent des caractéristiques similaires aux dépôts formés au sein des collecteurs trouvés le long
108 du réseau (Rocher et al. 2004).



109

110 Figure 1 : Localisation des dépôts étudiés au sein du réseau d'assainissement parisien

111 Une fois prélevés, ces échantillons ont été conservés dans des bocaux en verre à 5°C avant d'être analysés.
112 Les dépôts collectés sont très hétérogènes ; certains ayant des teneurs très importantes en matières
113 organiques, d'autres au contraire très faibles. Les échantillons ont été lyophilisés puis tamisés à 5 mm pour
114 éliminer les éléments de tailles importantes. Un sous-échantillon de 0,5 g a ensuite été considéré pour
115 l'analyse des microplastiques.

- 116 • Échantillonnage des rejets urbains de temps de pluie

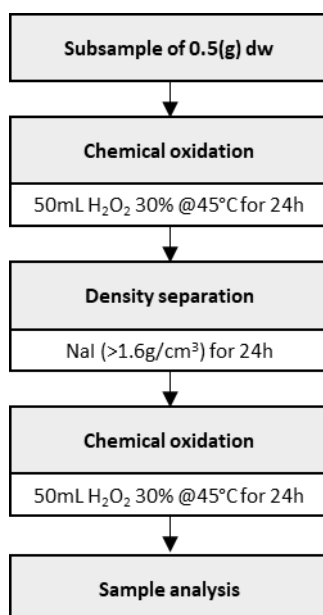
117 L'échantillonnage des RUTP a été réalisé au niveau des deux principaux déversoirs d'orage de
118 l'agglomération parisienne, à savoir La Briche et de Clichy. Ces échantillons ont été prélevés au moyen de
119 préleveurs automatiques, asservis au débit de déversement, afin d'obtenir un échantillon moyen
120 représentatif du déversement. Pour la Briche, des campagnes menées entre avril et octobre 2022, a permis
121 de prélever 16 échantillons de RUTP lors de différents épisodes pluvieux (LB1 à LB16). Sept échantillons
122 ont également été prélevés en parallèle à Clichy pendant les événements 1, 5, 6, 7, 10, 11 et 16 à des fins

123 de comparaison. Sur l'ensemble des évènements, les paramètres physico-chimiques de qualité des eaux
124 ont été analysés.

125 2.2. Analyse des microplastiques

126 • Analyse des dépôts de réseaux

127 Le sous-échantillon de sédiments de 0,5 g de poids sec a été tamisé à 500 µm puis a soumis à une
128 oxydation chimique par H₂O₂ à 30 % à 45 °C pendant 24 heures pour éliminer la matière organique.
129 L'échantillon a ensuite été filtré sur un filtre métallique de 10 µm et le matériel restant a été soumis à une
130 séparation densimétrique en utilisant une solution d'iodure de sodium (>1,6 g/cm³) pendant 24 heures avant
131 de passer par une seconde étape d'oxydation par H₂O₂. Le protocole de prétraitement pour isoler les MP est
132 résumé Figure 2. Un triplicat a été effectué pour le site S6. Après traitement, les échantillons ont été déposés
133 sur des filtres d'alumine Anodisc (Ø 25 mm ; porosité de 0,2 µm) avant d'être analysés par imagerie infra-
134 rouge (µ-FTIR) automatisée en mode transmission (Nicolet iN10 MX, Thermo Scientific, avec un pixel de
135 25×25µm). Le traitement des données a été effectué ultérieurement avec le logiciel siMPle (version 1.1.β,
136 développé par l'Université d'Aalborg, Danemark et l'Institut Alfred Wegener, Allemagne) afin d'identifier la
137 composition en polymères des particules.



138

139 Figure 2 : Protocole d'analyse des microplastiques dans les dépôts de réseau

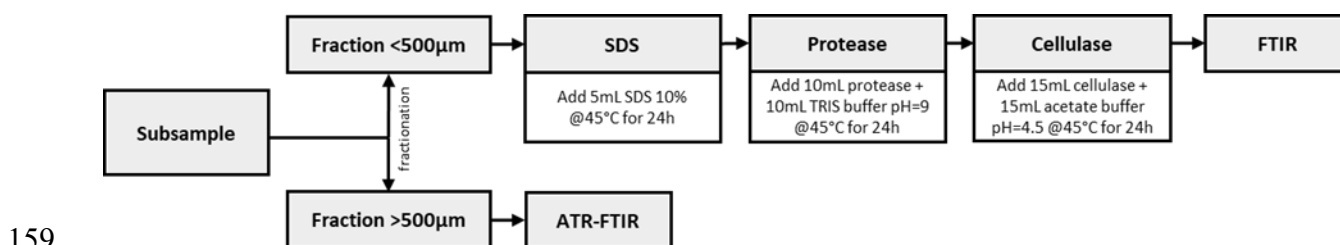
140 • Analyse des RUTP

141 Un litre des échantillons de RUTP ont été filtrés à travers une maille métallique de 500 µm pour le
142 fractionnement. La maille contenant la fraction > 500 µm a été conservée dans une boîte de Pétri, tandis
143 qu'un sous-échantillon de la fraction inférieure a été conservé et concentré sur un filtre métallique de 10 µm.
144 Ces deux fractions ont ensuite été traitées séparément (Figure 3).

145 La fraction > 500 µm a été inspectée au stéréomicroscope (Leica M125C, grossissement 8-100x). Les

146 particules de plastique suspectées ont été photographiées et leur forme et leur taille ont été documentées à
 147 l'aide du logiciel Histolab (version 11.5.1). La composition chimique de ces particules a ensuite été analysée
 148 à l'aide de la spectroscopie infra-rouge classique (IRTF). La mesure a été effectuée sur un spectromètre
 149 Nicolet iS5 (Thermo Scientific) couplé à un accessoire iD7 ATR-Diamond. Le logiciel OMNIC (Thermo
 150 Fischer Scientific) a été utilisé pour comparer les spectres obtenus à la base de données de référence. Une
 151 particule est considérée comme identifiée avec succès lorsque le score de ressemblance entre le spectre
 152 obtenu et celui de la base de données est supérieur à 70.

153 Concernant la fraction < 500 µm, et étant donné les niveaux de matière organique présents dans nos
 154 échantillons, le pré-traitement des échantillons a dû être adapté. Ce dernier est constitué non plus de
 155 digestion chimique comme ce qui a été opéré pour les dépôts du réseau, mais d'une première étape avec
 156 l'ajout de SDS pour dénaturer les protéines, et deux étapes successives mettant en œuvre les enzymes
 157 protéase et cellulase. Après ce traitement, les échantillons sont filtrés sur filtres Anodisc et les
 158 microplastiques analysés selon la même méthodologie que celle décrite pour les dépôts de réseau.



160 Figure 3: Protocole d'analyse des microplastiques dans les RUTP

161 2.3. Précautions contre la contamination des échantillons

162 Plusieurs précautions ont été prises pour éviter toute contamination des échantillons. Pendant
 163 l'échantillonnage, les équipements en plastique ont été évités et le matériel d'échantillonnage des
 164 microplastiques a été conservé dans une boîte en aluminium avec un couvercle. Les ouvertures des seaux,
 165 entonnoirs ou bouteilles ont été recouvertes de papier d'aluminium afin d'éviter le dépôt de microplastiques
 166 sur les surfaces en contact avec l'échantillon. Les sources potentielles de microplastiques sur le site
 167 d'échantillonnage et pendant l'échantillonnage, telles que la couleur et le matériau des vêtements des
 168 personnes présentes sur le site, ont été documentées. Des vêtements en matériaux naturels ont été portés
 169 dans la mesure du possible. Le matériel d'échantillonnage a été nettoyé avant d'être utilisé en laboratoire à
 170 l'aide d'éponges et de brosses entièrement fabriquées à partir de matériaux naturels (sans plastique).

171 Au laboratoire, les mesures de prévention de la contamination suivantes ont été également prises. Toute la
 172 verrerie a été calcinée (2 h à 525 °C) avant d'être utilisée. Les filtres en acier inoxydable utilisés à toutes les
 173 étapes du protocole ont également tous été calcinés. Une blouse de laboratoire en coton était toujours
 174 portée, les gants synthétiques étaient évités lorsqu'ils n'étaient pas nécessaires pour des raisons de sécurité
 175 (uniquement nécessaires pour le traitement au H₂O₂). Toutes les étapes du traitement ont été effectuées
 176 sous une hotte à flux laminaire. Toutes les surfaces de travail ont été nettoyées avant utilisation avec un
 177 essuie-tout en coton en utilisant de l'eau du robinet filtrée et de l'éthanol filtré.

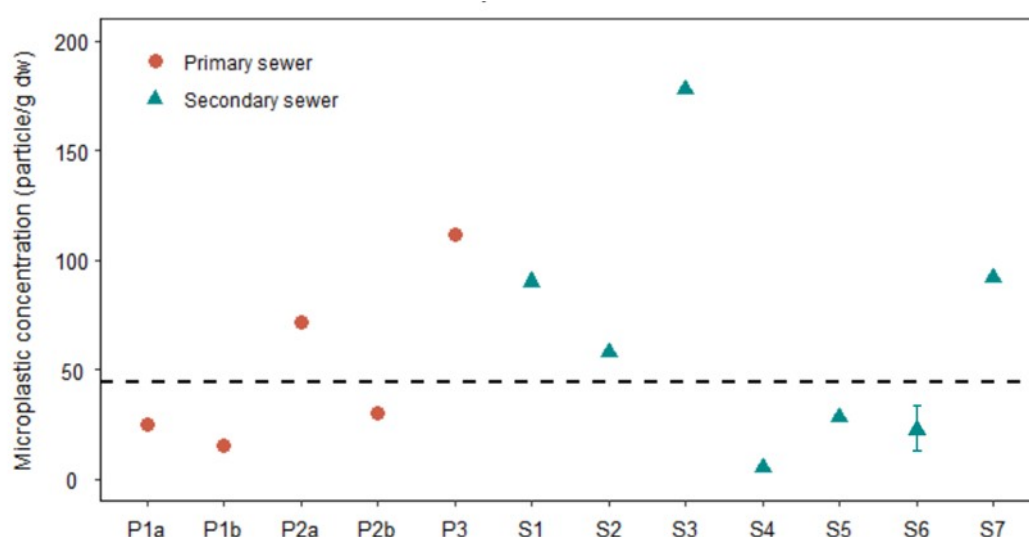
178 Pour les dépôts de réseaux ou les RUTP, plusieurs blancs terrains et laboratoire ont été réalisés pour
 179 contrôler la contamination potentielle pendant le traitement en laboratoire. De manière générale, les blancs
 180 sont généralement très peu contaminés. Au maximum trois microplastiques (le plus souvent du polyéthylène
 181 – PE) peuvent être détectés ; contamination très négligeable comparativement au nombre de
 182 microplastiques comptés pour les échantillons et prises d'essai considérés.

183 3. Résultats et discussions

184 3.1 Microplastiques dans les dépôts du réseau d'assainissement

185 • Teneurs en microplastiques

186 Les microplastiques (entre 25 µm et 500 µm) ont été détectés dans tous les échantillons de dépôts du
 187 réseau. Les teneurs fluctuent entre 5×10^3 à 178×10^3 particules/kg de sédiment sec (Figure 4), avec une
 188 concentration médiane estimée à 44×10^3 particules/kg.



189 Figure 4 : Teneurs en microplastiques (10^3 particules/kg) dans les dépôts de réseaux pour les collecteurs
 190 primaires (point rouge) et secondaires (triangle bleu). Concentration médiane en pointillé. La barre bleue
 191 représente les valeurs min-max enregistrées pour l'échantillon S6, analysé en triplicat.
 192

193 On peut observer que le niveau de contamination par les MP dans les sédiments varie entre les différents
 194 sites d'échantillonnage, indépendamment de leur localisation sur des collecteurs primaires ou secondaires.
 195 Si les eaux usées peuvent être considérées comme relativement homogènes et de qualité similaire au sein
 196 du réseau parisien, la variabilité des teneurs en MP dans les dépôts de réseaux pourrait être liée à des
 197 processus de sédimentation et piégeages différents au sein du système. Cette accumulation dépend
 198 généralement de différents facteurs tels que le débit et donc l'écoulement des eaux usées, la structure du
 199 collecteur et la fréquence de curage. La teneur en MP n'a montré aucune relation avec le carbone organique
 200 total mesuré dans les sédiments.

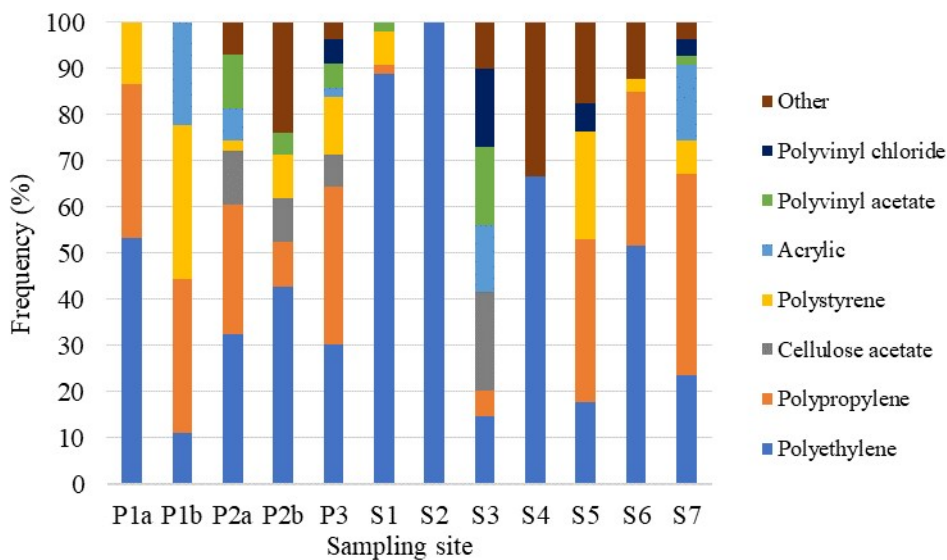
201 Tableau 1 : Contamination en MP dans quelques boues brutes des stations d'épuration en Europe. Les

202 valeurs sont présentées sous forme de min-max ou de moyenne avec des écarts-types en fonction des
203 données disponibles.

Pays	Type d'échantillon	Contamination (10 ³ particle/kg)	Référence
France	Dépôts de réseau	5 - 178	Cette étude
GB	Boues brutes	107.5	Harley-Nyang et al. (2022)
Italie	Boues primaires	1.67	Pittura et al. (2020)
	Boues secondaires	5.3	
Espagne	Boues brutes	133 ± 59	Edo et al. (2019)

204 Alors que dans la littérature, les boues de station sont généralement considérées comme les matrices
205 environnementales les plus contaminées, il est intéressant d'observer des niveaux du même ordre de
206 grandeur entre les boues de station d'épuration et les dépôts au sein du réseau d'assainissement (Tableau
207 1). La contamination des dépôts grossiers au sein du réseau d'assainissement n'a jamais été jusqu'à
208 présent investiguée ; cette contamination pourrait être liée à la sédimentation et au piégeage des
209 microplastiques lors du transit des eaux usées des habitations aux stations d'épurations, dont la
210 contamination a été mise en évidence dans plusieurs études. Indépendamment du polymère considéré, la
211 sédimentation d'une partie des microplastiques au sein du réseau pourrait être liée aux interactions avec les
212 autres particules des eaux usées, et/ou à la formation d'hétéro agrégats avec d'autres particules minérales
213 ou organiques, et/ou à la formation de biofilm. En d'autres termes, les résultats de cette étude montrent un
214 stock important de microplastiques dans ces dépôts et le risque associé de transfert lors d'événements
215 pluvieux en raison de la remise en suspension de ces sédiments. Si ces résultats sont originaux, nous ne
216 disposons pas à ce jour d'éléments permettant d'évaluer la proportion de microplastiques présents dans les
217 eaux usées et qui sédimentent au sein du réseau.

218 Polymères et distributions de taille



219
220 Figure 5 : Nature des microplastiques dans les dépôts de réseau. La fréquence a été calculée sur la base du
221 nombre de particules de chaque polymère par rapport au nombre total de particules dans chaque
222 échantillon. Le groupe "Autres" comprend l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), le polyamide (PA), les

223 polyesters (PEST), le polyuréthane (PU) et le copolymère de vinyle (VC).

224 Douze types de polymères différents ont été trouvés dans les dépôts (Figure 5). Le polyéthylène (PE) est le
225 plus abondant, présent dans tous les échantillons, allant de 11 % à 100 %. Le polypropylène (PP) et le
226 polystyrène (PS) sont également abondants et fréquemment observés, présents dans 10 et 9 échantillons
227 respectivement. L'acétate de cellulose est abondant dans S3, jusqu'à 21 %, alors qu'il est absent de la
228 plupart des échantillons. Le même phénomène a été observé pour l'acrylique, l'acétate de polyvinyle (PVAC)
229 et le chlorure de polyvinyle (PVC). D'autres polymères étaient moins fréquemment présents, ne représentant
230 que 7 % de toutes les particules de plastique détectées (n=424).

231 La composition des polymères diffère d'un échantillon à l'autre. Alors que certains échantillons (par exemple,
232 P2a, P3, S3) contenaient 8 à 9 polymères différents, S2 était composé exclusivement de PE. Des
233 recherches sur les boues d'épuration ont également trouvé du PE et du PP en abondance, ce qui est
234 cohérent avec les résultats de cette étude (Vollertsen & Hansen 2017 ; Li et al. 2018 ; Liu et al. 2019 ; El
235 Hayany et al. 2022). Cependant, ces auteurs ont également trouvé une grande quantité de PA ou de nylon
236 dans les boues, ce qui pourrait provenir de l'activité de blanchisserie des textiles. Dans cette étude, le PA
237 était présent dans les sédiments, mais seulement dans 4 des 12 échantillons, représentant moins de 2 % du
238 total des particules détectées. Outre le PP, le PE et le PA, qui sont considérés comme des polymères de
239 faible densité, des polymères de haute densité tels que le PEST, l'acétate de cellulose et le PVC ont été
240 parfois détectés dans les sédiments, ce qui diffère de la composition en polymères des boues d'épuration.
241 Cette différence peut être attribuée à une sédimentation de ces derniers au sein du réseau avant leur arrivée
242 en station d'épuration et/ou au manque d'harmonisation de la méthodologie. Par exemple, certaines études
243 effectuent une caractérisation chimique uniquement sur une sous-population de particules suspectées en
244 raison des limites technologiques actuelles (Gies et al. 2018 ; Li et al. 2018). D'autres études ont utilisé du
245 NaCl (1,2 g/cm³) pour la séparation des densités, solution moins dense que la solution ici utilisée (NaI, 1,6
246 g/cm³), ce qui ne permet pas de récupérer la même fraction de polymères (Li et al. 2018 ; Liu et al. 2019).

247 La distribution de la taille des particules trouvées dans cette étude montre une prédominance des particules
248 de petite taille (20% inférieures à 100 µm et la plupart d'entre elles inférieures à 300 µm). Ces résultats sont
249 en accord avec des études antérieures (Liu et al. 2019 ; El Hayany et al. 2022).

250 3.1 Microplastiques dans les rejets urbains de temps de pluie

- 251 • Fraction supérieure à 500 µm

252 L'analyse de la fraction de taille > 500 µm a permis de détecter des MP dans 11 des 23 échantillons de
253 RUTP. Au total, 14 particules ont été identifiées comme des microplastiques. Le nombre de particules variait
254 de 1 à 3 MP par échantillon, ce qui correspondait à une concentration de MP > 500 µm entre 0,9 et 3,2
255 particules/L. Les particules détectées étaient transparentes ou de couleur verte, rouge, noire et jaune. La
256 taille des particules variait de 1 200 à 4 700 µm, la forme la plus courante étant celle de fragments. Plusieurs
257 fibres ont également été observées enchevêtrées sur les mailles du filet, ce qui a rendu impossible le tri des
258 fibres individuelles en vue de leur identification chimique.

- Fraction < 500 µm

- Niveaux de concentrations

Au total, 1973 MP ont été détectées dans les RUTP, sur l'ensemble des échantillons. Les concentrations par déversement sont illustrées Figure 6. Sur l'ensemble des événements et pour les deux sites, la concentration moyenne est de 178,6 particules/L et une concentration médiane de 156,2 particules/L. La concentration la plus élevée de MP a été enregistrée à La Briche lors de l'événement du 17 octobre 2022 avec 391,5 particules/L. Cette concentration est près de 6 fois supérieure à celle de l'événement du 17 octobre 2022. Elle est près de 6 fois supérieure à la valeur la plus faible documentée à Clichy le 30 juin 2022 avec 67,7 particules/L.

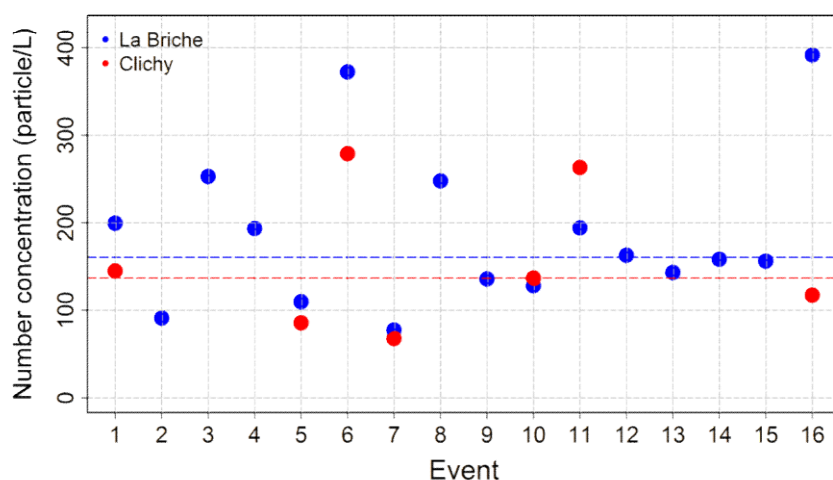


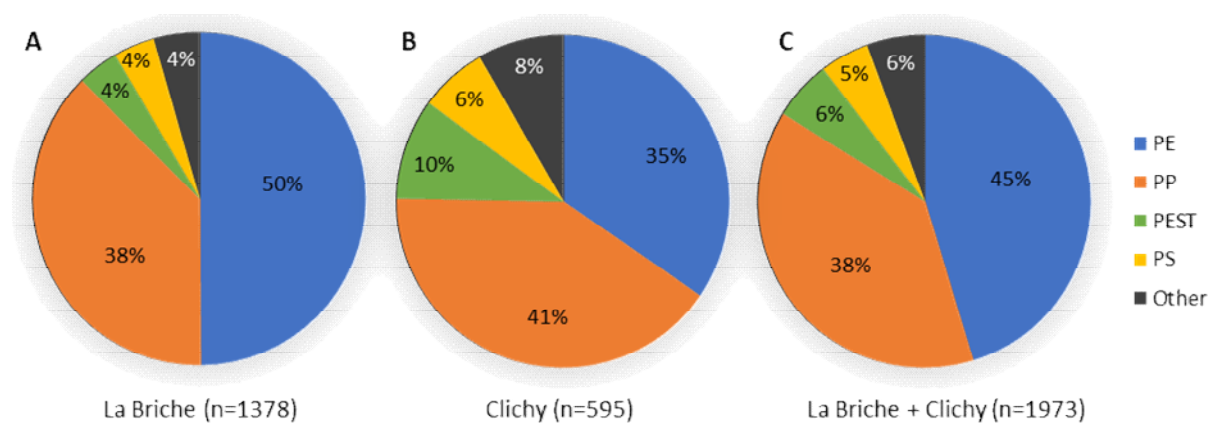
Figure 6 : Concentrations de MP (25-500 µm) dans les RUTP
(ligne pointillée : valeur médiane ; unité : particule/L)

A ce jour, une seule étude a été publiée sur les niveaux de contamination des RUTP par les microplastiques. Cette étude, qui a été réalisée à Shanghai (Chine) et qui a adopté une méthodologie relativement proche de celle déployée dans cette étude, reporte des concentrations de MP allant jusqu'à 8 500 particules/L dans les RUTP (Chen et al., 2020), ce qui est presque deux ordres de grandeur plus élevé que les résultats de la présente étude. Les auteurs précisent que le réseau unitaire de la ville de Shanghai reçoit non seulement une grande quantité d'eaux usées domestiques provenant de plus de 24 millions d'habitants, mais aussi des eaux usées industrielles, ce qui n'est pas le cas de la région parisienne.

- Composition des microplastiques

Au total, 14 types de polymères différents ont été détectés dans les RUTP (Figure 7). Le PE et le PP étaient les polymères les plus abondants, représentant respectivement 45 % et 38 % des particules totales. Le PEST et le PS ont été détectés à une fréquence beaucoup plus faible. D'autres polymères ont également été détectés, mais avec une occurrence bien moindre. Ces polymères sont regroupés dans la catégorie "autres", qui représente 6 % des particules totales. Le profil général des polymères est cohérent avec ce qui peut être

284 observé dans les dépôts de réseau, ou plus classiquement dans les eaux résiduaires urbaines.



285
286 Figure 7 : Nature des MP observés dans les RUTP

287 - Distribution de taille

288 Les particules inférieures à 300 µm représentent la plus grande proportion de MP dans les RUTP. La plupart
289 de ces particules se situent dans une fourchette de 25 à 100 µm. Il existe des similitudes dans la distribution
290 de la taille des particules trouvées sur les deux sites étudiés. Malgré la différence de méthodologie,
291 l'abondance des particules de moins de 500 µm a également été observée par Sun et al. (2023).

292 • Relation entre concentrations en MP et proportion d'eaux usées et d'eaux pluviales

293 La proportion d'eaux de ruissellement et d'eaux usées dans les RUTP a été estimée pour chaque
294 événement sur la base de la conductivité électrique. Cette estimation a été réalisée selon l'hypothèse que la
295 conductivité des eaux usées varie de 1050 à 1170 µS/cm, tandis que celle des eaux pluviales varie de 80 à
296 150 µS/cm. La proportion d'eaux usées dans les RUTP variait de 15 à 78 % pour l'hypothèse 1 et de 23 à 90
297 % pour l'hypothèse. Aucune relation claire entre la concentration en MP et la proportion d'eaux usées ou
298 d'eaux pluviales dans les RUTP, ni avec d'autres paramètres physico-chimiques n'a pu être mise en
299 évidence. Ceci suggère que la contamination des MP dans les RUTP est complexe et peut dépendre de
300 nombreux autres facteurs. Parmi ces facteurs, la remise en suspension des dépôts au sein du réseau,
301 dépôts pourrait jouer un rôle clé.

302 • Flux de microplastiques rejetés par les RUTP à l'échelle de la mégapole parisienne

303 En considérant que 21 millions de m³ de RUTP sont déversés en Seine chaque année par temps de pluie et
304 les concentrations minimales et maximales observées dans cette étude, un flux annuel de particules a été
305 estimé entre $1,4 \times 10^{12}$ et $8,2 \times 10^{12}$ particules/an. Ce flux peut être comparé à deux niveaux, le premier au
306 regard des apports liés aux stations d'épuration, le second comparativement aux flux transitant en Seine.

307 Pour ce qui concerne les rejets de station d'épuration, n'ayant pas effectué de mesures avec la
308 méthodologie récemment développée dans cette étude, des flux ont été estimés en considérant la charge de
309 MP par habitant que l'on peut trouver dans la littérature. Selon ces estimations, des flux compris entre

310 2,4×10¹¹ à 2,3×10¹³ particules/an pourraient être déversés dans les milieux récepteurs depuis les stations
311 d'épuration. Ces flux apparaissent globalement du même ordre de grandeur que les flux liés aux RUTP.
312 Alors que les rejets des stations d'épuration sont réguliers et présentent des concentrations relativement
313 faibles, les RUTP sont intermittents, se déversent sur une courte durée mais présentent des concentrations
314 plus élevées. Des études récentes ont également souligné l'importance des flux déversés par les RUTP
315 comparativement aux effluents de stations d'épuration. Par exemple, Chen et al. (2020) ont rapporté que le
316 flux de MP déversés par les RUTP était significativement plus élevé que celui rejeté par les effluents des
317 stations d'épuration à Shanghai (Chine) (8,5×10¹⁴ particules/an contre 1,43×10¹⁴ particules/an). Dans une
318 autre étude réalisée à Nanning (Chine), Zhou et al., (2023) indique que les flux pour les déversoirs d'orage
319 sont 10 fois supérieurs à ceux liés aux effluents de stations.

320 En Seine, à l'aval de l'agglomération parisienne, le flux annuel de MP pour la colonne d'eau a été estimé à
321 environ 1,1×10¹³ particules/an, témoignant de l'importance des RUTP sur les flux transitant en Seine. Ces
322 derniers pourraient contribuer jusqu'à 70% des flux observés en Seine.

323 3. Conclusions et perspectives

324 Cet article s'est focalisé sur la contamination en microplastiques des dépôts de réseaux d'assainissement et
325 sur les boues de station d'épuration. Les résultats ont permis de démontrer qu'une partie des
326 microplastiques véhiculés par les eaux résiduaires urbaines peut sédimenter au sein du réseau lors du
327 transfert de ces eaux jusqu'aux stations d'épuration. Si ces résultats sont originaux, nous ne disposons pas
328 à ce jour d'éléments permettant d'évaluer la proportion de microplastiques présents dans les eaux usées et
329 qui séimentent au sein du réseau. Une première perspective de ce travail pourrait de mieux étudier la
330 sédimentation de ces particules au sein des réseaux et les interactions avec les autres particules. Ces
331 phénomènes conduisent à la formation d'un stock important au sein du réseau, et le risque associé de
332 transfert lors d'événements pluvieux en raison de la remise en suspension de ces sédiments.

333 A l'instar de ce qui peut être observé pour les matières en suspension, aucune relation claire ne peut être
334 établie entre concentrations en MP dans les RUTP, la proportion d'eaux usées et d'eaux pluviales, suggérant
335 que la contamination des MP dans les RUTP est complexe et peut dépendre de nombreux autres facteurs.
336 Parmi ces facteurs, la remise en suspension des dépôts au sein du réseau pourrait jouer un rôle clé.
337 Préciser ce rôle constitue une seconde perspective à ce travail.

338 En considérant que 21 millions de m³ de RUTP sont déversés en Seine chaque année et les concentrations
339 minimales et maximales, un flux annuel de particules a été estimé entre 1,4 et 8,2×10¹² particules/an, flux
340 relativement conséquent au regard des flux rejetés par les stations d'épuration ou à l'aval de l'agglomération
341 parisienne. Affiner ces bilans, en disposant de données pour les effluents de station d'épuration apparaît
342 nécessaire pour confirmer ces conclusions.

343 Remerciements

344 La thèse de doctorat de Trang Minh-Nguyen a été menée dans le cadre du projet européen LimnoPlast -
345 Microplastics in Europe's Freshwater Ecosystems: from sources to solutions - projet financé par le

346 programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne, dans le cadre de la
347 convention de subvention n° 860720 (European Union's Horizon 2020 research and innovation program
348 under grant agreement No 860720). L'accès au Micro-FTIR a été accordé par la plateforme PRAMMICS de
349 l'OSU-Efluve. Les échantillonnages des dépôts de réseau ont été réalisés par la Section Assainissement de
350 la Ville de Paris et nous remercions Monsieur Thomas Gillet.

351 **Bibliographie**

352 Chen et al., 2020

353 Chen, H., Jia, Q., Zhao, X., Li, L., Nie, Y., Liu, H., & Ye, J. (2020). The occurrence of microplastics in water
354 bodies in urban agglomerations: Impacts of drainage system overflow in wet weather, catchment land-uses,
355 and environmental management practices. *Water Research*, 183, 116073.
356 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116073>

357 Edo et al. (2019)

358 Edo, C., gonzalez pleiter, M., Leganes, F., Fernandez-Piñas, F., & Rosal, R. (2019). Fate of microplastics in
359 wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environmental*
360 *Pollution*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113837>

361 El Hayany et al. 2022

362 El Hayany, B., Rumpel, C., Hafidi, M., & El Fels, L. (2022). Occurrence, analysis of microplastics in sewage
363 sludge and their fate during composting: A literature review. *Journal of Environmental Management*, 317,
364 115364. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115364>

365 Gasperi et al., 2010

366 Gasperi, J., Gromaire, M. C., Kafi, M., Moilleron, R., & Chebbo, G. (2010). Contributions of wastewater,
367 runoff and sewer deposit erosion to wet weather pollutant loads in combined sewer systems. *Water*
368 *Research*, 44(20), 5875–5886. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.008>

369 Gies et al. 2018

370 Gies, E. A., LeNoble, J. L., Noël, M., Etemadifar, A., Bishay, F., Hall, E. R., & Ross, P. S. (2018). Retention
371 of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Marine Pollution*
372 *Bulletin*, 133, 553–561. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.006>

373 Harley-Nyang et al. (2022)

374 Harley-Nyang, D., Memon, F. A., Jones, N., & Galloway, T. (2022). Investigation and analysis of
375 microplastics in sewage sludge and biosolids: A case study from one wastewater treatment works in the UK.
376 *Science of The Total Environment*, 823, 153735. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153735>

377 Krishnan et al., 2023

378 Krishnan, R. Y., Manikandan, S., Subbaiya, R., Karmegam, N., Kim, W., & Govarthan, M. (2023). Recent
379 approaches and advanced wastewater treatment technologies for mitigating emerging microplastics
380 contamination – A critical review. *Science of The Total Environment*, 858, 159681.
381 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159681>

382 Li et al. 2018

383 Li, X., Chen, L., Mei, Q., Dong, B., Dai, X., Ding, G., & Zeng, E. (2018). Microplastics in sewage sludge from
384 the wastewater treatment plants in China. *Water Research*, 142, 75–85.
385 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.034>

386 Liu et al. 2019

387 Liu, X., Yuan, W., Di, M., Li, Z., & Wang, J. (2019). Transfer and fate of microplastics during the conventional
388 activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. *Chemical Engineering Journal*, 362,
389 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.033>

390 Liu et al., 2021

391 Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z., & Zhang, T. (2021). A review of the removal
392 of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms. *Environment*
393 *International*, 146, 106277. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106277>

394 Passerat et al., 2011

395 Passerat, J., Ouattara, N. K., Mouchel, J.-M., Vincent Rocher, & Servais, P. (2011). Impact of an intense
396 combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. *Water Research*,
397 45(2), 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.024>

398 Pittura et al. 2020

399 Pittura, L., Foglia, A., Akyol, Ç., Cipolletta, G., Benedetti, M., Regoli, F., Eusebi, A. L., Sabbatini, S., Tseng,
400 L. Y., Katsou, E., Gorbi, S., & Fatone, F. (2020). Microplastics in real wastewater treatment schemes:
401 Comparative assessment and relevant inhibition effects on anaerobic processes. *Chemosphere*, 128415.
402 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128415>

403 Sun et al. 2023

404 Sun, X., Jia, Q., Ye, J., Zhu, Y., Song, Z., Guo, Y., & Chen, H. (2023). Real-time variabilities in microplastic
405 abundance and characteristics of urban surface runoff and sewer overflow in wet weather as impacted by
406 land use and storm factors. *Science of The Total Environment*, 859, 160148.
407 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160148>

408 Vollertsen & Hansen 2017

409 Vollertsen & Hansen. (2017). Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate.

- 410 Xu et al. 2021
- 411 Xu, Z., Bai, X., & Ye, Z. (2021). Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A
412 review. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125982. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125982>
- 413 Zhou et al., 2023
- 414 Zhou, Y., Li, Y., Yan, Z., Wang, H., Chen, H., Zhao, S., Zhong, N., Cheng, Y., & Acharya, K. (2023).
415 Microplastics discharged from urban drainage system: Prominent contribution of sewer overflow pollution.
416 *Water Research*, 236, 119976. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119976>