



HAL
open science

Estimation des flux de plastiques transitant en Seine : quelles méthodes pour quels résultats ?

Romain Tramoy, Johnny Gasperi, Rachid Dris, Laurent Colasse, C. Fisson, S
Sananes, Vincent Rocher, Bruno Tassin

► **To cite this version:**

Romain Tramoy, Johnny Gasperi, Rachid Dris, Laurent Colasse, C. Fisson, et al.. Estimation des flux de plastiques transitant en Seine : quelles méthodes pour quels résultats ?. TSM. Techniques Sciences Méthodes – Génie urbain, génie rural, 2019, 1-2, pp.15-26. 10.1051/tsm/201901015 . hal-02886804

HAL Id: hal-02886804

<https://enpc.hal.science/hal-02886804v1>

Submitted on 1 Jul 2020

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.

1 Catégorie : Recherche appliquée ; Article scientifique/technique

2 **Estimation des flux de plastiques transitant en Seine :**
3 **quelles méthodes pour quels résultats ?**

4 **Plastic input from the Seine Basin to the Sea: what method for what results?**

5
6 *R. TRAMOY¹, J. GASPERI¹, R. DRIS², L. COLASSE³, C. FISSON⁴, S. SANANES⁵, V. ROCHER⁶, B.
7 TASSIN¹

8
9 ¹LEESU (UMR MA 102, Université Paris-Est, AgroParisTech), Université Paris-Est Créteil, 61 avenue
10 du Général de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France.

11 ²Université de Bayreuth 95440, Bayreuth, Bavière, Allemagne

12 ³Association SOS Mal de Seine, <http://maldeseine.free.fr/>

13 ⁴GIP Seine-Aval, Pôle Régional des Savoirs ; 115 Bd de l'Europe, 76100 Rouen.

14 ⁵Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Tour Séquoia, La Défense, 92400 Courbevoie.

15 ⁶Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), Direction
16 du Développement et de la Prospective, 82 Avenue Kléber, 92700 Colombes, France.

17
18 *Corresponding author

19 Mail : romain.tramoy@enpc.fr

20 Tel : [01 82 39 20 95](tel:0182392095) / [06.76.28.08.38](tel:0676280838)

21
22 **Résumé**

23 Des estimations globales établissent des flux de plastiques entrant en mer entre 1 et 10 millions de
24 tonnes chaque année. Mais elles sont associées à de grandes incertitudes liées à des difficultés
25 méthodologiques pour quantifier les flux de plastiques du continent vers les océans. Travailler à l'échelle
26 des bassins versants s'avère nécessaire afin de mieux calibrer ces approches globales. Dans cette
27 étude, une approche de modélisation conceptuelle, basée sur l'approche statistique de JAMBECK *et*
28 *al.*, et une approche de terrain sont comparées avec pour objectif (i) de quantifier les flux de plastiques
29 transitant en Seine et (ii) de préciser les incertitudes des deux approches et leur origine. Malgré la
30 simplicité des approches statistiques et des techniques d'extrapolation utilisées, les deux méthodes
31 donnent des résultats du même ordre de grandeur, i.e. entre 1 800 et 5 900 t/an de plastiques transitant
32 en Seine. Les principaux acteurs de la gestion des déchets sauvages sur le fleuve ne collectent
33 qu'environ 100 t/an de plastiques, soit une faible fraction du flux estimé. Dans le cadre de la DCSMM
34 de 2008, des actions sont mises en œuvre afin de quantifier les flux de plastique déversés en mer.
35 Parmi les différentes méthodes, une meilleure exploitation des données issues des collectes des
36 associations pourrait être une aubaine, avec par exemple, la création d'une base de données nationale
37 et homogène répertoriant les opérations de collecte.

38
39 **Abstract**

40 Global estimations state between 1 and 10 million metric tons of plastic entering the oceans each year.
41 But, they are associated with great uncertainties due to methodological difficulties to accurately quantify
42 plastic fluxes from continent into oceans. New studies at basin scale are thus needed to improve model
43 calibrations. Here, a modelling approach based on JAMBECK's statistical method and a field approach
44 are compared in order to (i) quantify plastic fluxes in the Seine River and (ii) constrain uncertainties and
45 their origins of the both approaches. Despite the simplicity of the statistical approach and rough
46 extrapolations, both methods yield similar results, i.e. between 1 800 and 5 900 t/yr of plastic flowing
47 into the Seine River. Whereas about 100 t/yr of plastic litter are removed by involved NGOs, which is a
48 small fraction of the estimated flux. According to the MSFD (2008), actions are undertaken to quantify
49 plastic fluxes entering the oceans. Among different methods, a better use of the data from the waste
50 collection by NGOs should be considered. The development of a national and homogenous platform
51 listing all the collects could be a first step in that direction.

52 **Mots clés (Français et Anglais)**

53 Macro-déchet/Litter ; Bassin versant/Watershed ; Collecte de déchets/Waste collection ;
54 Pollution/Pollution ; Rivière/River

55

56 **Introduction**

57 Depuis les années 1950, la production mondiale de plastique est passée de 1,7 à 335 millions
58 de tonnes en 2016 [PLASTICSEUROPE, 2017]. Parallèlement, la présence de déchets plastiques dans
59 les milieux naturels s'est accrue sur l'ensemble de la surface du globe, tant sur les continents que dans
60 les océans. Paradoxalement, alors que des estimations statistiques à l'échelle mondiale évaluent les
61 flux vers les océans entre 1 et 10 millions de tonnes annuellement, les stocks de plastiques à la surface
62 des océans ne sont estimés qu'à quelques centaines de milliers de tonnes [ERIKSEN *et al.*, 2014;
63 SEBILLE *et al.*, 2015; JAMBECK *et al.*, 2015; LEBRETON *et al.*, 2017; SCHMIDT *et al.*, 2017]. Bien
64 que peu étudiés jusqu'à présent, les fonds océaniques pourraient constituer la destination finale des
65 plastiques et rassembler la majeure partie des flux entrants [GALGANI *et al.*, 2000; KAMMANN *et al.*,
66 2018; MAES *et al.*, 2018]. Les stocks cumulés en centre d'enfouissement et dans la nature s'élèveraient
67 quant à eux à 5 000 millions de tonnes sur les 8 000 millions de tonnes déjà produites [GEYER *et al.*,
68 2017]. Les déchets plastiques ne représentent que 8 à 15% en masse de l'ensemble des déchets
69 générés par les activités humaines [HOORNWEG et BHADA-TATA, 2012], mais leur longévité (du
70 siècle au millénaire) et leur propriétés physico-chimiques en font les déchets les plus présents dans les
71 fonds marins ou les terres isolées (e.g. îles du Pacifique), loin de leur source de production, i.e. les
72 zones urbaines et littorales où vivent la majorité de la population mondiale [BARNES *et al.*, 2009]. Par
73 ailleurs, ils représentent une grave menace pour les écosystèmes, en particulier marins [BARNES *et al.*,
74 2009; LI *et al.*, 2016]. Ces plastiques marins largement étudiés proviendraient majoritairement des
75 continents par l'intermédiaire des fleuves et rivières [LI *et al.*, 2016]. La question du transfert des
76 plastiques des milieux continentaux vers les océans est donc cruciale, d'autant plus qu'il paraît plus
77 facile de les récupérer dans les rivières que dans les mers et océans tridimensionnels.

78 Plusieurs approches statistiques ont été développées ces dernières années pour mieux estimer
79 les apports aux océans à l'échelle planétaire [JAMBECK *et al.*, 2015; LEBRETON *et al.*, 2017;
80 SCHMIDT *et al.*, 2017]. Ces approches reposent toutefois sur quelques paramètres clés, estimés par
81 des études locales peu nombreuses et aux incertitudes mal définies. L'estimation des flux de déchets
82 à la mer pose un certain nombre de difficultés méthodologiques. De surcroît, même dans les régions
83 connues pour une gestion des déchets solides peu efficiente, en particulier l'Asie du Sud-est, les
84 fuites/perdes de plastiques dans l'environnement sont minimales par rapport à la production et à la
85 consommation de plastiques qui se chiffre en centaines de millions de tonnes [PLASTICSEUROPE,
86 2017]. Ainsi, tous les modèles statistiques globaux se réfèrent à l'indicateur MMPW (Miss Managed
87 Plastic Waste, JAMBECK *et al.*, 2015) pour estimer les flux de déchets plastiques entrant en mer. Cet
88 indicateur correspond à la quantité de déchets plastiques mal gérés transférés dans l'environnement
89 que ce soit par accident, par incivilité ou par une mauvaise gestion des déchets par les services
90 compétents. Il est dépendant de la pression anthropique, du niveau économique de la zone considérée
91 et d'un taux de fuite fixé de manière universelle à 2% qui rend compte des pertes accidentelles ou

92 volontaires. Ce dernier taux est particulièrement sujet à caution car s'il est appliqué partout il ne repose
93 que sur une étude menée aux Etats-Unis [MSWCONSULTANTS, 2009; voir sup. data de JAMBECK *et*
94 *al.*, 2015]. Etant par nature non quantifiable car ce sont des déchets non gérés, ce taux a été estimé
95 par une seule étude, sur la base du ratio entre la quantité de déchets sauvages collectés aux USA (4,6
96 Mt) et la quantité totale de déchets traités par les filières classiques. Les calculs de flux de plastiques
97 reposent donc sur des paramètres statistiques fragiles compte tenu de leur estimation à partir de travaux
98 de terrain rares et régionalisés [LEBRETON *et al.*, 2017]. Ces estimations de flux globales sont toutefois
99 d'une importance capitale car elles ont le mérite de proposer des ordres de grandeur. Mieux contraindre
100 et identifier leurs limites est essentiel au développement d'une méthodologie robuste et standardisée
101 pour la mesure de ces flux.

102 Bien que des études aient déjà fait état de la présence de macro- et microplastiques en zone
103 urbaine et péri-urbaine du bassin de la Seine [GASPERI *et al.*, 2014; DRIS *et al.*, 2015] , aucune n'a
104 abouti à des estimations de flux vers l'océan. C'est l'objet de la présente étude. Le bassin de la Seine
105 couvre 78 600 km² avec une forte pression anthropique. C'est un territoire dynamique en termes
106 démographique, économique, agricole et commercial, concentrant 25% de la population, 50% du trafic
107 fluvial, 40% de l'activité économique et 30% de l'activité agricole au niveau national [FISSON *et al.*,
108 2014; LEMOINE et VERNEY, 2015]. Le contraste saisonnier du réseau hydrographique est bien marqué
109 par des régimes de crue durant l'hiver, et d'étiage durant l'été, se poursuivant en automne. L'exutoire
110 du bassin est constitué d'un estuaire méandrique de 170 km de long dans lequel l'influence de la
111 marée et des vents augmente à mesure que l'on se rapproche de l'embouchure. Tous ces éléments
112 conduisent à une grande variabilité spatiale et temporelle des flux de déchets plastiques.

113 Compte tenu des faibles débits de la Seine (350 m³/s en moyenne à Austerlitz) et de la forte
114 population (16,7 millions d'habitants), la pression anthropique sur le fleuve est importante et visible, ce
115 qui amène l'état, et l'ensemble de ses gestionnaires à se mobiliser pour une meilleure connaissance
116 de la pollution par les plastiques sur ce bassin. Le bassin de la Seine constitue un site exemplaire pour
117 développer une méthodologie qui permettrait d'estimer des flux de déchets plastiques vers la mer via
118 les grands fleuves.

119 Les flux de plastiques transitant en Seine sont estimés par deux approches distinctes : une
120 approche de modélisation conceptuelle et une approche expérimentale de terrain. La première repose
121 sur l'approche statistique de JAMBECK *et al.* [2015] décrite précédemment avec des données propres
122 au bassin de la Seine en termes de population, production de déchets et taux de plastiques associé. La
123 seconde approche consiste à estimer des flux de déchets plastiques par extrapolation des quantités de
124 déchets captés par les barrages flottants du SIAAP, le service public de l'assainissement francilien. Les
125 deux méthodes sont discutées en termes de robustesse et de sensibilité afin d'estimer au mieux leurs
126 incertitudes, et notamment celles des paramètres qu'elles intègrent. Enfin, l'impact des nettoyages des
127 berges de rivière sur la pollution plastique dans l'environnement est évoqué. Les données de collectes,
128 en particulier des associations, sont en effet sous-exploitées et appellent à un regain d'intérêt pour
129 évaluer les niveaux de pollution des cours d'eau en général et de la Seine en particulier.

130

131 1. L'approche de modélisation conceptuelle

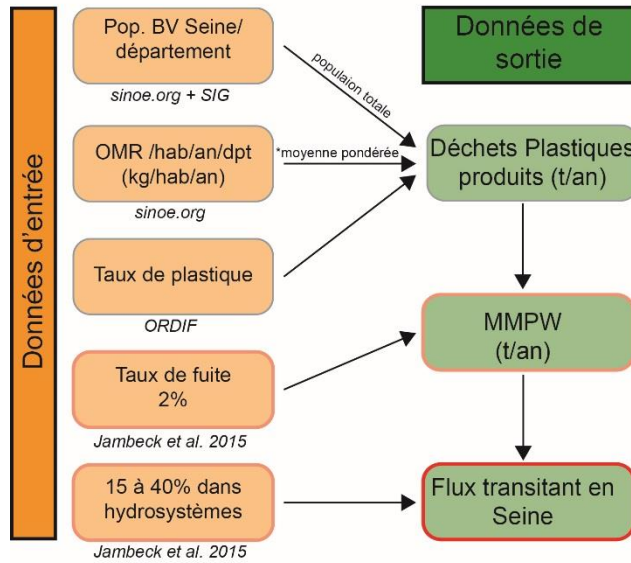
132 1.1 Extraction des données statistiques nécessaires

133 Appliquée au bassin de la Seine, l'approche de modélisation conceptuelle repose sur les
134 paramètres suivants : (i) le nombre d'habitants dans le bassin, (ii) la quantité annuelle de déchets
135 produite par habitant, (iii) le taux moyen de plastiques contenu dans les déchets produits (iv) un taux de
136 fuite des déchets vers l'environnement. Le modèle conceptuel est décrit dans la *figure 1A*. Dans la
137 méthode originelle, il est également fait référence à la proportion de déchets ménagers mal gérés par
138 les systèmes de collecte (e.g. décharges à ciel ouvert, défaut de collecte, etc.). Cette proportion est
139 calculée sur la base du PIB de la zone considérée en admettant que les pays à fort PIB ont un système
140 de collecte performant, et tendent vers 0% de déchets mal gérés, et inversement pour les pays aux
141 revenus les plus bas [HOORNWEG et BHADA-TATA, 2012; sup. data JAMBECK *et al.*, 2015]. Compte
142 tenu de son mode d'estimation, la proportion de déchets mal gérés par les systèmes de collecte en
143 France est considérée comme nulle. Par conséquent, seuls les déchets plastiques sauvages, en dehors
144 des systèmes de collecte ont été considérés dans cette étude ; d'après JAMBECK *et al.* [2015], entre
145 15 et 40% de ces déchets sauvages rejoignent la mer via le réseau hydrographique.

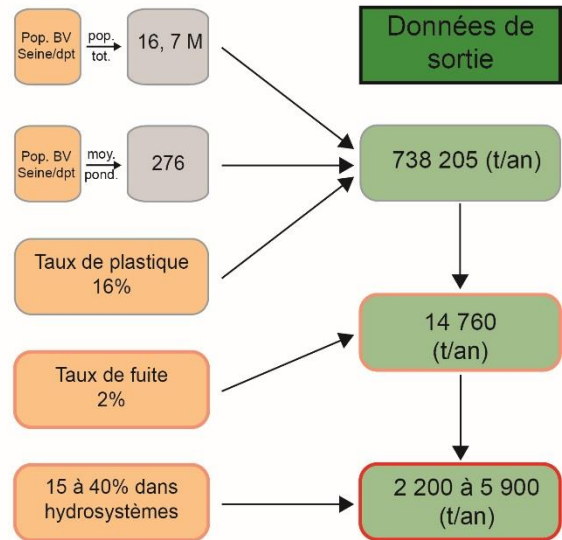
146 Les données sur les quantités d'Ordures Ménagères Résiduelles (OMR) – la fraction des
147 déchets non triés à la source – produites annuellement par habitant et par département sont tirées du
148 site dédié de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie [ADEME ;
149 http://carto.sinoe.org/carto/enquete_collecte/flash/#]. C'est une carte SIG interactive d'où les données
150 de population ont également pu être extraites pour les départements intégralement inclus dans le
151 bassin. Pour les autres départements partiellement inclus dans le bassin de la Seine, la population a
152 été calculée à l'aide du logiciel QGIS en croisant population, limites du bassin versant et limites des
153 départements. Les couches utilisées sont : (i) GEOFLA® 2016 v2.2 Communes France Métropolitaine
154 (IGN), (ii) IGN GEOFLA® Départements et (iii) une couche présentant les limites du bassin versant de
155 la Seine. Les départements partiellement inclus dans le bassin sont l'Aisne, les Ardennes, l'Aube, l'Eure,
156 le Calvados, la Côte d'Or, l'Eure et Loire, le Loiret, la Marne, la Haute Marne, la Meuse, la Nièvre, l'Oise,
157 l'Orne, la Seine Maritime et l'Yonne.

158

A. Modèle conceptuel



B. Résultats



159

160

161

162

163

164

165

En italique, la source des données d'entrée. Les encadrés rouges marquent la robustesse des données : plus le rouge est intense, moins les données en sorties sont robustes. MMPW, Miss Managed Plastic Waste, déchets plastiques mal gérés.

Figure 1 : Modèle conceptuel de la méthode inspirée de Jambeck *et al.* [2015] et adaptée au bassin de la Seine.

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

Dans cette étude, seules les OMR ont été considérées, car elles sont très bien caractérisées dans les rapports de l'Observatoire Régional des Déchets d'Île de France (ORDIF) en terme de typologie et de quantité [ORDIF, 2017a, 2017b], notamment en ce qui concerne leur taux de plastiques. Ce n'est pas le cas des déchets issus des collectes séparées, souvent appelées « poubelles jaunes » qui n'ont pas fait l'objet d'une telle caractérisation. Elles ne représentent par ailleurs en Île de France que 10% à 20% de la quantité d'OMR [ADEME ; http://carto.sinoe.org/carto/enquete_collecte/flash/#]. Compte tenu des connaissances approfondies sur les OMR, ces dernières permettent de prendre en compte les spécificités des déchets dans le bassin de la Seine, tout en s'assurant d'une certaine homogénéité entre les données de production des déchets et le taux de plastiques associé. *In fine*, l'ensemble de ces données a permis de calculer une production annuelle moyenne d'OMR par habitant et par département, pondérée par leur population. Au contraire, JAMBECK *et al.* [2015] ont choisi de considérer l'ensemble des déchets produits et un taux de plastiques associé tiré de la banque mondiale (10%) dans le même souci d'homogénéité. La compilation de données concernant plus de 7,8 millions d'habitants d'Île de France a permis d'établir un taux de plastiques dans les OMR de 16% [ORDIF, 2017a]. Ce taux a été appliqué sur l'ensemble du bassin. Enfin, le taux de fuite de 2% utilisé par JAMBECK *et al.* [2015] a été utilisé pour calculer les pertes de déchets dans l'environnement car, à l'heure actuelle, il n'existe pas de meilleur indicateur. Pour les mêmes raisons, les 15 à 40% des déchets atteignant les hydrosystèmes ont été conservés pour les calculs.

184

185

1.2 Résultats en Seine

186 Le bassin de la Seine comprend le quart de la population hexagonale avec ses 16,7 millions
187 d'habitants, dont 12 millions sont concentrés en île de France. La production d'OMR est de 276
188 kg/hab/an en moyenne à l'échelle du bassin avec quelques disparités entre les départements. Cette
189 quantité d'OMR par habitant en île de France est supérieure de 17% à celle des autres départements
190 du bassin de la Seine, voire de 45% à Paris. En effet, l'île de France et tout particulièrement Paris
191 concentrent activités économique et touristique, associées à des modes de consommation nomades.
192 Ces activités génèrent plus de déchets entraînant potentiellement des pertes plus importantes dans
193 l'environnement, notamment des emballages [ORDIF, 2017a, 2017b]. L'analyse du rapport de l'ORDIF
194 [2017a] sur la caractérisation des OMR franciliennes apporte quelques précisions sur les disparités
195 entre territoires ruraux et grandes agglomérations. Le rapport compare la typologie des ordures
196 ménagères franciliennes avec les moyennes nationales. Les résultats montrent une plus faible
197 proportion des déchets verts dans les OMR franciliennes par rapport à la moyenne nationale. En
198 revanche, la proportion d'emballages plastiques (16%) – dominés par les films et bouteilles – et de
199 cartons d'emballage y est supérieure à la moyenne nationale [10% ; HOORNWEG et BHADA-TATA,
200 2012]. Par ailleurs le manque de place dans les zones densément peuplées ne permet pas un tri à la
201 source efficace, ce qui contribue à renforcer la quantité d'OMR produites tout en réduisant le gisement
202 de matières recyclables. Enfin, le nombre de déchèteries est considérablement plus faible dans ces
203 zones, ce qui contribue d'autant à réorienter les déchets vers les OMR.

204 Sur la base de ces données, le model conceptuel conduit à des estimations de flux de déchets
205 plastiques (MMPW) vers l'environnement de plus de 14 760 t/an dont 15 à 40%, soit 2 200 à 5 900 t/an,
206 transitant en Seine (*Figure 1B*). Par ailleurs, si l'on ajoutait les déchets issus de la collecte sélective, en
207 admettant qu'ils soient à 100% composés de plastiques, alors ces estimations seraient 10% à 20% plus
208 élevées. A titre de comparaison, LEBRETON *et al.* [2017] dans leur étude globale basée sur la
209 production de déchets sauvages par bassins versants, ont abouti à des estimations de ~ 20 000 t/an de
210 MMPW pour le bassin de la Seine. Par ailleurs, les données d'entrée étaient sensiblement différentes
211 car ils ont considéré l'ensemble des déchets produits (~550 kg/hab/an) avec un taux de plastiques
212 moyen à l'échelle nationale de 10% tiré de l'étude de la banque mondiale de 2012 [HOORNWEG et
213 BHADA-TATA, 2012]. Par contre, d'après leur modèle de calcul des flux à la mer, basé sur les MMPW
214 du bassin et le ruissellement, seules 9 à 45 t/an iraient finalement en mer. Le choix des données d'entrée
215 puis des modèles, comme illustré par LEBRETON *et al.* (2017) ou par la (non) prise en compte des
216 déchets issus de la collecte sélective, influence donc de manière très importante les estimations de flux
217 de plastique.

218 Les incertitudes sur les résultats de la modélisation conceptuelle sont issues de l'intervalle 15-
219 40% des déchets sauvages qui atteignent le réseau hydrographique [JAMBECK *et al.*, 2015]. Toutefois,
220 ces chiffres ne sont que peu documentés et dépendent de nombreux facteurs environnementaux ou
221 des pratiques locales (nettoyages des rues, opérations de collectes citoyennes, dispositif de dépollution
222 des eaux, civisme, etc.). Les mêmes remarques peuvent être appliquées au taux de fuite de 2% estimé
223 dans la société Etats-Unienne et à la base des quantifications de flux. Les estimations sont en effet
224 directement proportionnelles à ce taux. Or, rien ne permet d'exporter ce taux partout dans le monde

225 tant les pratiques culturelles sont différentes. Affiner ces paramètres à l'échelle du bassin de la Seine,
226 sous réserve que cela soit possible, pourrait contribuer à réduire les incertitudes.

227

228 2. L'approche expérimentale

229 2.1. Méthodes d'extrapolation

230 L'approche expérimentale repose sur les quantités de déchets piégés par les 26 barrages
231 flottants du SIAAP disposés sur 77 km de linéaire de la Seine et de la Marne, en amont et en aval de
232 Paris (Figure 2). La quantité de déchets plastiques piégés dans les barrages est issue de l'étude
233 détaillée de 10 d'entre eux [GASPERI *et al.*, 2014]. Elle rapporte que les barrages flottants piègent en
234 moyenne 27 t/an de plastiques sur la période 2008-2013. A ce jour, la fraction piégée par ces barrages
235 flottants par rapport au flux total n'est pas connue. Diverses extrapolations peuvent être réalisées, en
236 considérant que les déchets plastiques sont uniformément répartis sur toute la section mouillée de la
237 Seine. A partir de cette hypothèse, les quantités de déchets piégées ont été extrapolées en fonction
238 d'un ratio de débit ou d'un ratio de dimension entre les barrages et la Seine. Le ratio de débit R_Q est le
239 ratio entre les débits traités par l'ensemble des barrages et le débit moyen de la Seine. Le ratio de
240 dimension R_D est le ratio entre les dimensions moyennes de la section d'un barrage (7,5 m de large
241 sur 0,3 m de profondeur) et les dimensions moyennes d'une section de Seine dans l'agglomération
242 parisienne (150 m * 3 m).

243 Il est considéré que chaque barrage capte une section de 2,25 m² de Seine avec une vitesse
244 d'écoulement de 0,1 m/s. Par conséquent, chacun des 26 barrages capte un débit de 0,225 m³/s, soit
245 5,2 m³/s pour les 26 barrages.

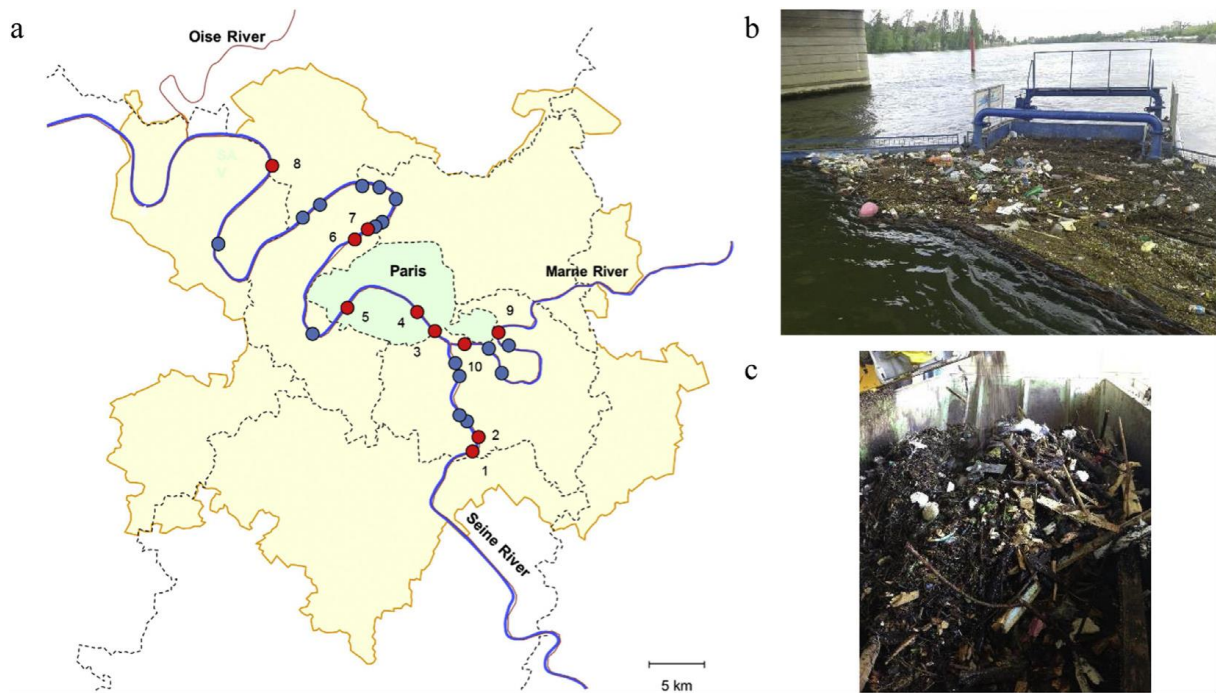
246 Dans la méthode du ratio de débit, les barrages flottants captent donc en moyenne une fraction
247 du débit de la Seine $R_Q \sim 1/67^e$ du débit moyen (350 m³/s, à Austerlitz). Sur cette base et celle des
248 données du SIAAP, il a été possible de recalculer la concentration moyenne mensuelle de plastique
249 $[Pl]_{mensuel}$ (mg/m³) :

$$250 \quad [Pl]_{mensuel} = \frac{M_{Pl}}{Q_{mensuel} \times R_Q \times t_{(mois)}} \quad \text{Eq (1)}$$

251 Avec M_{Pl} la masse de plastique en mg, $Q_{mensuel}$ les débits moyens mensuels en m³/s, R_Q le ratio entre
252 les débits traités par les 26 barrages et le débit moyen de la Seine (sans unité) et $t_{(mois)}$ le nombre de
253 secondes dans un mois.

254 Dans la méthode du ratio de dimension, il existe un rapport moyen de 1/20 pour la largeur du
255 barrage par rapport à la largeur de la Seine et de 1/10 pour la profondeur du barrage par rapport à la
256 profondeur de la Seine, soit un ratio R_D de 1/200.

257



258
259
260
261
262
263

Figure 2 : (a) Le réseau de barrages flottants du SIAAP dans l'agglomération parisienne, (b) photo d'un barrage flottant et (c) exemple d'une collecte de déchets issue d'un des barrages [GASPERI *et al.*, 2014].

2.2 Résultats en Seine

264
265
266
267
268
269
270
271

Le flux de plastique total transitant en Seine peut être estimé par la méthode du ratio de débit à $67 * 27$ t/an, soit $\sim 1\,800$ t/an, et par la méthode du ratio de dimension à $5\,400$ t/an. Ces deux méthodes prennent en compte des apports entre les barrages puisque le tonnage total des 26 barrages répartis sur l'ensemble de l'agglomération parisienne est considéré. Elles se justifient par le fait qu'il n'existe pas d'évolution des quantités de plastique piégées entre l'amont et l'aval de Paris d'après l'examen des rapports d'activité du SIAAP. Cela suggère des apports constants dans l'ensemble du secteur couvert par les barrages, en cohérence avec une forte et constante pression anthropique de l'agglomération parisienne (Figure 2).

272
273
274
275
276
277
278
279
280

Les incertitudes de cette approche sont issues des deux modes d'extrapolation (ratio de débit *versus* ratio de dimension) et conduisent à des flux de plastique compris entre $1\,800$ à $5\,400$ t/an. Dans les deux cas, l'hypothèse forte est de considérer une homogénéité verticale et horizontale dans la distribution des déchets plastique comme pour les microplastiques [DRIS *et al.*, 2015], mais également, un apport et un écoulement en Seine constants tout au long de l'année. De plus, le positionnement des barrages flottants n'est pas relatif à des attributs du fleuve susceptibles de concentrer les macro-déchets (e.g. les méandres). Il n'est pas non plus aléatoire. Les barrages flottants sont en effet souvent situés à l'aval direct de déversoirs d'orages susceptibles de déverser des macro-déchets en nombre [GASPERI *et al.*, 2014].

281
282

D'autres facteurs peuvent influencer l'efficacité des barrages flottants et donc l'estimation des flux. Bien que l'efficacité de piégeage de ces derniers ne soit pas connue, force est de constater que le

283 trafic fluvial intense le long de la Seine ramène les déchets vers les berges. Cela concourrait à
284 augmenter l'efficacité de piégeage des barrages et donc à surestimer le flux global. Les méandres de
285 la Seine et les courants hélicoïdaux qu'ils engendrent contribuent également à ramener les déchets
286 flottants en direction des berges extérieures du méandre augmentant ainsi leur chance de piégeage.
287 En revanche durant les épisodes de crue, et l'inondation du lit majeur du cours d'eau, les chances de
288 piégeage par les barrages flottants diminuent, alors que le flux potentiel de plastique augmente comme
289 en atteste la crue de 2018 (*Figure 3*). Les déchets éventuellement déposés sur les berges et au-delà
290 dans les zones inondées ont en effet été remobilisés souillant les communes riveraines de la Seine,
291 particulièrement dans la zone entre l'amont de l'estuaire et l'aval de l'agglomération Parisienne (*cf.* les
292 communes de Méricourt et des Andelys en 2018).

293

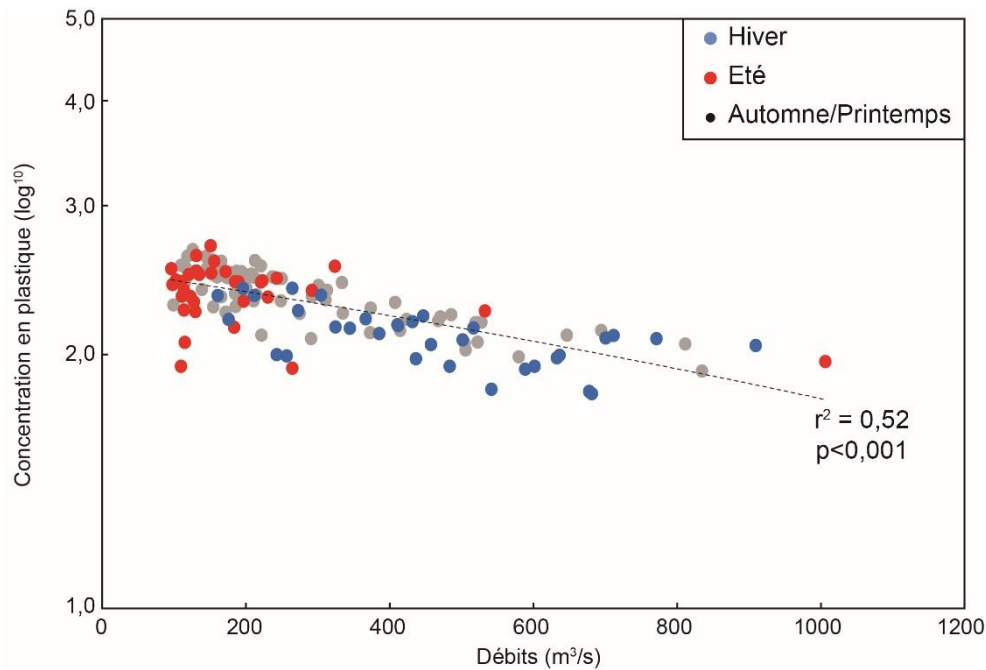


294 **Figure 3 : Déchets de crue. Route de Muïds, rive droite, aval des Andelys, le 15/02/2018. ©R.**
295 **Tramoy**

296

297 Ces remarques soulignent le besoin de mieux mesurer l'efficacité de piégeage des barrages
298 flottants, mais aussi de mesurer de manière indépendante une charge de déchets dans la colonne
299 d'eau. Des balises GPS flottantes ou des déchets marqués pourraient apporter des éléments de
300 réponse quant à l'efficacité des barrages en déterminant des probabilités de piégeage. D'autres
301 dispositifs, comme des filets immergés pourraient quant à eux renseigner les flux de plastique dans la
302 colonne d'eau qui peut être conséquent [MORRITT *et al.*, 2014].

303 Malgré les limites inhérentes aux barrages flottants, des valeurs de concentration en plastique
304 dans les eaux captées par ces derniers ont pu être calculées d'après l'équation (1). Elles varient de 63
305 à 493 mg/m³. En mer, dans les zones les plus contaminées, c'est-à-dire le gyre du pacifique nord ou la
306 méditerranée, les concentrations de plastiques sont de l'ordre de 1 à 2 mg/m³ en considérant les 30
307 premiers centimètres d'eau [COZAR *et al.*, 2014; COZAR *et al.*, 2015]. La pollution plastique serait donc
308 30 à 500 fois plus concentrée en Seine que dans les zones marines les plus polluées qui font pourtant
309 l'objet de projets de nettoyage (e.g. Fondation Ocean Clean Up).



310
 311 *Chaque point correspond à une moyenne mensuelle de débit et de concentration (\log^{10}) de plastique*
 312 *sur cette période. Les concentrations de plastique ont été calculées sur la base des quantités de déchets*
 313 *captés par les barrages, le taux moyen de plastique dans ces déchets, i.e 1,4% [GASPERI et al. 2014]*
 314 *et un ratio entre les débits traités par les barrages et le débit moyen de la Seine (1/67). Le point à 1 006*
 315 *m³/s correspond à la crue de juin 2016. La relation explique 52% de la variance (r^2), mais le caractère*
 316 *très significatif (> 99,9% de confiance) de cette relation est exprimé par la « p-value » de la régression*
 317 *linéaire (corrélacion de Pearson).*

318 **Figure 4 : Concentrations (\log^{10}) de plastique en fonction du débit mensuel moyen capté par les**
 319 **26 barrages du SIAAP sur la période 2007-2017.**

320
 321 Les relations concentration-débit renseignent sur l'origine et les mécanismes de la pollution des
 322 rivières, que ce soit pour les matières en suspension, les nutriments ou les métaux [WILLIAMS, 1989;
 323 VINK *et al.*, 1999; QUILBÉ *et al.*, 2006]. Par analogie, la relation significative ($p < 0,001$) entre le log des
 324 concentrations de plastiques piégés dans les barrages flottants et les débits correspondants montre
 325 une dilution de la pollution plastique avec l'augmentation des débits (*Figure 4*). Les facteurs affectant
 326 les concentrations de plastiques dans les barrages sont nombreux comme en témoigne la forte
 327 variabilité des concentrations intra- et inter-saisonnière (été/hiver). En outre, près de la moitié de la
 328 variabilité est non expliquée par cette relation. Cela peut s'expliquer par l'expression d'une pollution
 329 plastique événementielle, c'est-à-dire par temps de pluie, couplée à une pollution continue, par temps
 330 sec, issue de l'agglomération parisienne. Les fuites dans l'environnement à travers les incivilités ou les
 331 pertes involontaires constitueraient un flux relativement constant, dilué par des débits croissants et
 332 amenant à une réduction des concentrations. Par ailleurs, l'été est propice à la consommation nomade
 333 près des berges. Les orages favorisent le transfert par ruissellement des déchets sauvages dans le
 334 milieu aquatique à partir de ces berges, d'où une pollution événementielle liée au temps de pluie. Cela

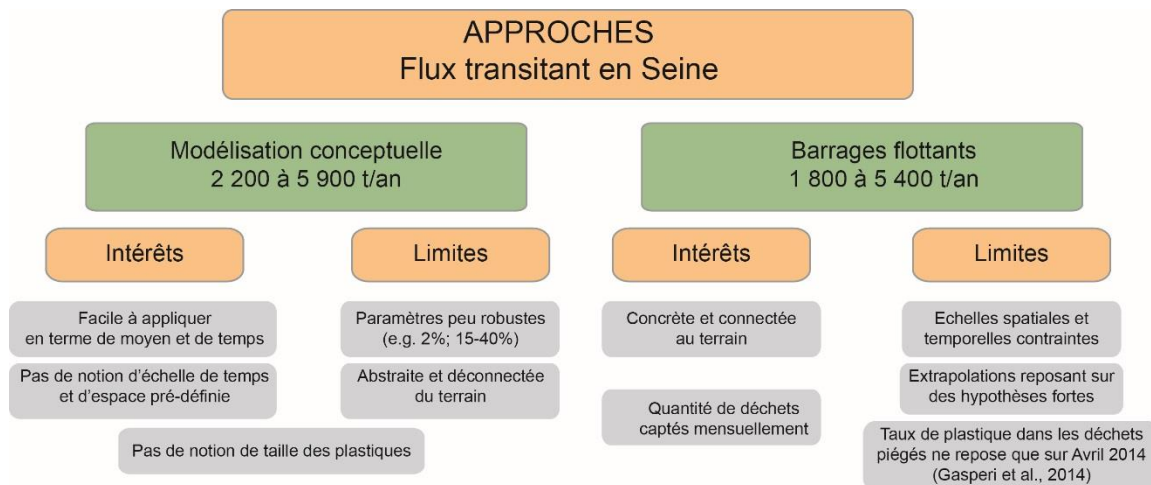
335 pourrait également expliquer l'étendue de la plage des valeurs de concentration de plastiques deux fois
336 plus grande en été que celle observée en hiver (Figure 4).

337

338 3. Discussion

339 Les différentes approches conduisent à des estimations comprises entre 1 800 et 5 900 t/an de
340 plastiques transitant en Seine. Cela représente entre 107 et 353 g/hab/an. Les incertitudes liées à l'une
341 ou l'autre méthode ont pu être identifiées, mais n'ont malheureusement pas pu être précisées de
342 manière satisfaisante. En revanche, les deux méthodes convergent vers des ordres de grandeur
343 similaires, alors que l'origine de leurs incertitudes est très différente. L'ensemble des avantages et des
344 inconvénients de chacune des méthodes est repris dans la figure 5. En résumé, l'approche de
345 modélisation conceptuelle a l'avantage d'être systématique, facile à appliquer, mais elle est par
346 conséquent un peu abstraite, et repose sur des hypothèses quasiment invérifiables (e.g. taux de fuite
347 de 2%). Au contraire, l'approche de terrain, basée sur les barrages flottants repose sur des quantités
348 de déchets plastiques collectées très concrètes. Mais elle représente des échelles de temps et d'espace
349 limitées car les barrages sont concentrés dans l'agglomération parisienne et leur efficacité peut être
350 très variable.

351



352

353 **Figure 5 : Flux estimés transitant en Seine à travers une approche de modélisation conceptuelle**
354 **et une approche expérimentale. Les intérêts et les limites de chaque méthode sont décrits.**

355

356 A ce jour, très peu d'études donnent des ordres de grandeurs de flux de plastiques issus des
357 rivières. Quand elles existent, elles sont souvent difficilement comparables entre elles pour des raisons
358 méthodologiques. Par exemple, les estimations de flux de plastique dans le Danube sont bien moindres
359 que celles estimées en Seine avec seulement 17 g/hab/an [LECHNER et al., 2014]. Mais elles sont
360 basées sur des extrapolations de quantité piégées dans des filets à larves de poisson (mailles 500 µm)
361 qui n'ont pas permis de capturer des macro-déchets. Or, les macro-plastiques, bien que représentant
362 moins de 10% des plastiques en nombre, concentrent en masse la majeure partie du plastique dans les
363 océans [ERIKSEN et al., 2014]. A l'inverse, ce sont entre 350 et 7 270 g/hab/an de débris plastiques (>

364 2 cm) qui ont été estimés pour le Nhieu Loc – Thi Nghe, un canal se déversant dans le fleuve Saïgon
365 au Vietnam [LAHENS *et al.*, 2018]. Les auteurs estiment un flux médian à 1 620 g/hab/an. A niveaux
366 économiques similaires, les flux de plastique estimés dans les grands lacs aux Etats Unis sont eux très
367 proches de ceux estimés pour la Seine avec 10 000 t/an pour ~ 90 millions d'habitants, soit 111 g/hab/an
368 [HOFFMAN et HITTINGER, 2017]. L'origine des flux est largement liée aux grandes agglomérations
369 riveraines des grands lacs que sont Chicago, Détroit, Toronto ou encore Cleveland. La convergence
370 des flux estimés pour les grands lacs et pour la Seine n'est en revanche pas très surprenante car les
371 auteurs ont également utilisé l'approche de JAMBECK *et al.* [2015] pour estimer des quantités de
372 plastique. Cela pointe la nécessité de diversifier les méthodes, comme dans la présente étude, pour
373 estimer les flux sous peine d'inter-validation entre les différentes études.

374

375 4. L'impact des nettoyages

376 La pollution des berges par les macro-déchets a de particulier le fait qu'elle est visible, surtout
377 en période hivernale en absence de végétation. Ce « désordre environnemental » tend à éveiller les
378 consciences. L'influence des citoyens a pour conséquence la mise en place de mesures pour collecter
379 ces déchets *via* différentes structures : publiques (bateaux nettoyeurs dans les Hauts-de-Seine,
380 barrages flottants du SIAAP), privées à but non lucratif (Naturaulin dans l'estuaire de la Seine) ou
381 associatives (La-Seine-en-Partage, OSE, SOS Mal de Seine, fédérations de chasseurs). D'autres
382 acteurs privés, comme les centrales hydroélectriques, captent également une partie du flux de déchets
383 par nécessité technique, *i.e.* protéger les turbines de la présence de déchets qui pourraient les
384 endommager. Bien que la liste des opérations de nettoyage ne soit pas exhaustive, la compilation et
385 l'uniformisation des données recueillies montrent que ces acteurs retirent environ 100 t/an de plastique
386 sur l'ensemble du fleuve. Cette estimation se heurte cependant à des difficultés méthodologiques
387 importantes car les données récupérées diffèrent par leur format ou les types de nettoyage divergent
388 entre acteurs. Par exemple, les centrales électriques au fil de l'eau externalisent le traitement des
389 déchets qui est facturé au nombre de bennes sans qu'aucune caractérisation ne soit effectuée sur les
390 déchets collectés. Ces problèmes de cohérences dans les données sont régulièrement pointés du
391 doigt depuis que la thématique macro-déchets a émergé il y a une vingtaine d'année en France et
392 notamment en PACA [LEROND, 1997; POITOU, 2003; GALGANI *et al.*, 2010].

393 Convertir des volumes de déchets totaux (avec déchets verts) en masse de plastique ou bien
394 recueillir des données déjà transformées, sans la méthodologie associée (*Tableau I*), ne facilitent pas
395 l'estimation de l'impact des nettoyages. Ce chiffre d'environ 100 t/an est sans doute à considérer avec
396 précaution, mais il est quasi négligeable au regard des estimations de flux précédentes en ne
397 représentant que 1 à 6 % du flux global estimé par ailleurs. Toutefois, un tel taux de captage est cohérent
398 avec un taux de captage des déchets plastiques à l'échelle mondiale. La compilation d'un grand nombre
399 de données de collectes de déchets sur les plages dans 130 pays montre que 250 000 tonnes de
400 déchets ont été collectés à l'échelle mondiale [SCHNEIDER *et al.*, 2018]. En considérant que l'effort de
401 collecte ait au minimum la même intensité chaque année et que l'ensemble des déchets collectés soit
402 du plastique, le taux de collecte des déchets plastiques entrant dans les océans serait de 2,5 à 25 %

403 des 1 à 10 millions de tonnes estimées rejoignant les océans [JAMBECK *et al.*, 2015; LEBRETON *et*
404 *al.*, 2017; SCHMIDT *et al.*, 2017]. Bien qu'utile d'un point de vu sociétal et environnemental, ces
405 opérations de nettoyage, ne seraient donc pas en mesure à elles seules de résoudre le problème des
406 déchets plastiques dans les océans où ils s'accumulent [SCHNEIDER *et al.*, 2018]. En outre, elles
407 traitent pour la plupart des stocks, parfois anciens, et non des flux qui atteignent réellement la mer.
408 D'autant plus que des évènements extrêmes peuvent remobiliser des stocks. Malgré ces difficultés, les
409 associations ou les groupes citoyens de collectes génèrent de nombreuses données qu'il serait
410 judicieux d'exploiter pour évaluer des flux, ou *a minima* pour mettre en place un indicateur du taux de
411 pollution des fleuves en macro-déchets. Elles permettent déjà de mettre en évidence de manière
412 qualitative le rôle majeur des crues, des grandes marées et des évènements pluvieux (Naturaulin, com.
413 Pers.), en concordance avec les modèles qui prédisent le maximum des apports de plastique durant
414 l'hiver sous nos latitudes [LEBRETON *et al.*, 2017].

415 En prenant en compte la quantité de plastique potentiellement retirée du flux transitant en Seine,
416 soit environ 100 t/an, les flux de plastique estimés entrant en mer seraient compris entre 1 700 et 5 800
417 t/an.

418

419 **Conclusions**

420 L'utilisation conjointe d'une approche expérimentale et d'une approche de modélisation
421 conceptuelle a mené à des estimations de flux de plastique exportés de la Seine vers la Mer du même
422 ordre de grandeur (1 700 à 5 800 t/an). Cependant, ces estimations s'appuient sur des hypothèses
423 fortes et/ou souffrent de grandes incertitudes qui restent difficiles à contraindre dans l'état actuel des
424 connaissances. Notre étude a par ailleurs démontré la fragilité des paramètres statistiques et des
425 modèles utilisés à l'échelle globale. Enfin, elle a permis de mettre en évidence le rôle des différents
426 acteurs de la collecte des déchets dans le fleuve. Ils peuvent être une source de données importante
427 malgré le manque d'homogénéité et les fortes divergences dans les pratiques de collecte. Déterminer
428 la proportion que représentent les déchets collectés par rapport à ceux qui ne le sont pas pourrait être
429 une méthode puissante pour reconstituer des flux. Les méthodes de traçage utilisées dans bon nombre
430 de disciplines pourraient y contribuer.

431 D'autres acteurs de la collecte des déchets restent à identifier. A l'avenir, il serait intéressant de
432 constituer une base de données homogène et commune à tous les acteurs. Elle pourrait servir à la mise
433 au point d'un indicateur de la pollution du fleuve en macro-déchets, notamment plastiques. Par exemple,
434 on pourrait imaginer en extraire une quantité de déchets collectés en fonction d'un effort de collecte
435 (personnes déployées, nombres d'heures, etc.). Ce genre d'indicateur serait à même de répondre à la
436 directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) concernant la surveillance et l'évaluation des
437 flux de déchets issus des cours d'eau. A l'avenir, il pourrait même servir à évaluer l'efficacité des
438 politiques de réduction des macro-déchets. Car au-delà des plastiques, ce sont également des tonnes
439 de métaux, de verre et de déchets du BTP qui sont collectés par ces associations.

440

441 **Bibliographie**

442 ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) : Statistiques régionales et
443 départementales sur la collecte des déchets ménagers et assimilés. Consultation en mars
444 2018. Disponible en ligne : http://carto.sinoe.org/carto/enquete_collecte/flash/#.

445 BARNES D.K.A., GALGANI F., THOMPSON R.C., BARLAZ M. (2009) : « Accumulation and
446 fragmentation of plastic debris in global environments ». *Philosophical Transaction Of The*
447 *Royal Society*; 364: 1985-1998.

448 COZAR A., ECHEVARRIA F., GONZALEZ-GORDILLO J.I., IRIGOIEN X., UBEDA B., HERNANDEZ-
449 LEAON S., PALMA A.T., NAVARRO S., GARCIA-DE-LOMAS J., RUIZ A., FERNANDEZ-DE-
450 PUELLES M.L., DUARTE C.M. (2014) : « Plastic debris in the open ocean. » *PNAS*; 111:
451 10239-10244.

452 COZAR A., SANZ-MARTIN M., MARTI E., GONZALEZ-GORDILLO J.I., UBEDA B., GALVEZ J.Á.,
453 IRIGOIEN X., DUARTE C.M. (2015) : « Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea. »
454 *PLOS ONE*; 10: e0121762.

455 DRIS R., GASPERI J., ROCHER V., SAAD M., TASSIN B. (2015) : « Premières investigations sur la
456 contamination en microplastiques d'une zone urbaine. » *Techniques Sciences Méthodes*; 25-
457 39.

458 ERIKSEN M., LEBRETON L.C.M., CARSON H.S., THIEL M., MOORE C.J., BORERRO J.C.,
459 GALAGNI F., RYAN P.G., REISSER J. (2014) : « Plastic Pollution in the World's Oceans:
460 More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea.» *PLOS ONE*;
461 9.

462 FISSON C., LEBOULENGER F., LECARPENTIER T., MOUSSARD S., RANVIER G. (2014) :
463 L'estuaire de la Seine : Etat de santé et évolution : GIP Seine-Aval, Rouen, 48 p.

464 GALGANI F., FLEET D., VAN FRANEKER J., KATSANEVAKIS S., MAES T., MOUAT J.,
465 OOSTERBAAN L., POITOU I., HANKE G., THOMPSON R.C., AMATO E., BIRKUN A.,
466 JANSSEN C. (2010) : « Marine strategy framework directive Task Group 10 Report Marine
467 litter. » *JRC Scientific Technical Report*. 57 p._

468 GALGANI F., LEAUTE J., MOGUEDET P., SOUPLET A., VERIN Y., CARPENTIER A., GORAGUER
469 H., LATROUITE D., ANDRAL B., CADIOU Y., MAHE J., POULARD J., NERISSON P. (2000) :
470 « Litter on the Sea Floor Along European Coasts. » *Marine Pollution Bulletin*; 40: 516-527.

471 GASPERI J., DRIS R., BONIN T., ROCHER V., TASSIN B. (2014) : « Assessment of floating plastic
472 debris in surface water along the Seine River. » *Environmental Pollution*; 195: 163-166.

473 GEYER R., JAMBECK J.R., LAW K.L. (2017) : « Production, use, and fate of all plastics ever made. »
474 *Science Advances*; 3.

475 HOFFMAN M.J., HITTINGER E. (2017) : « Inventory and transport of plastic debris in the Laurentian
476 Great Lakes. » *Marine Pollution Bulletin*.; 115: 273281.

477 HOORNWEG D., BHADA-TATA P. (2012) : What a waste: a global review of solid waste management :
478 *The world bank*, 116 p.

479 JAMBECK J.R., GEYER R., WILCOX C., SIEGLER T.R., PERRYMAN M., ANDRADY A., NARAYAN
480 R., LAW K.L. (2015) : « Plastic waste inputs from land into the ocean. » *Science*; 347: 768-
481 771.

482 KAMMANN U., AUST M.O., BAHL H., LANG T. (2018) : « Marine litter at the seafloor – Abundance
483 and composition in the North Sea and the Baltic Sea. » *Marine Pollution Bulletin*; 127: 774-
484 780.

485 LAHENS L., STRADY E., KIEU-LE T.-C., DRIS R., BOUKERMA K., RINNERT E., GASPERI J.,
486 TASSIN B. (2018) : « Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical
487 river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity. » *Environmental*
488 *Pollution*; 236: 661-671.

489 LEBRETON L.C.M., VAN DER ZWET J., DAMSTEEG J.W., SLAT B., ANDRADY A., REISSER J.
490 (2017) : « River plastic emissions to the world's oceans. » *Nature Communication*; 8: 15611

491 LECHNER A., KECKEIS H., LUMESBERGER-LOIS F., ZENS B., KRUSCH R., TRITTHART M.,
492 GLAS M., SCHLUDERMANN E. (2014) : « The Danube so colourful: A potpourri of plastic
493 litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. » *Environmental Pollution*; 188:
494 177-181.

495 LEMOINE J.P., VERNEY R. (2015) : Fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Seine.
496 *GIP Seine-Aval, Rouen*, 63 p.

497 LEROND M. (1997) : Définition des conditions de mise en oeuvre du nettoyage de la Seine -
498 Synthèse. *Parc Naturel Regional de Brotonne*, 76 p.

499 LI W.C., TSE H.F., FOK L. (2016) : « Plastic waste in the marine environment: A review of sources,
500 occurrence and effects. » *Science Total Environment*, 566: 333-349.

501 MAES T., BARRY J., LESLIE H.A., VETHAAK A.D., NICOLAUS E.E.M., LAW R.J., LYONS B.P.,
502 MARTINEZ R., HARLEY B., THAIN J.E. (2018) : « Below the surface: Twenty-five years of
503 seafloor litter monitoring in coastal seas of North West Europe (1992–2017). » *Science Total*
504 *Environment*; 630: 790-798.

505 MORRITT D., STEFANOUDIS P.V., PEARCE D., CRIMMEN O.A., CLARK P.F. (2014) : « Plastic in
506 the Thames: A river runs through it. » *Marine Pollution Bulletin*; 78: 196-200.

507 MSWCONSULTANTS (2009) : National visible litter survey and litter cost study : *KEEP AMERICA*
508 *BEAUTIFUL, INC. STAMFORD, CONNECTICUT*, 216 p.

509 ORDIF (2017a) : Données de caractérisations locales des ordures ménagères résiduelles (OMR) en
510 île de France : *ORDIF Observatoire Régional des Déchets*, 20 p.

511 ORDIF (2017b) : LA GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS ET ASSIMILÉS EN ÎLE-DE-FRANCE :
512 *ORDIF, Observatoire Régional des Déchets*, 88 p.

513 PLASTICSEUROPE (2017) : Plastics - the Facts 2017, an analysis of European plastics production,
514 demand and waste data : *Association of Plastics Manufacturer, Brussels*. 44 p._

515 POITOU I. (2003) : « Les macrodéchets littoraux : une gestion publique empirique en région
516 Provence-Alpes-Côte d'Azur. » *Méditerranée*; 100: 17-22.

517 QUILBE R., ROUSSEAU A.N., DUCHEMIN M., POULIN A., GANGBAZO G., VILLENEUVE J.-P.
518 (2006) : « Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams:
519 Application to the Beauvillage River (Québec, Canada). » *Journal of Hydrology*; 326: 295-310.

520 SCHMIDT C., KRAUTH T., WAGNER S. (2017) : « Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. »
521 *Environmental Science Technology*; 51, 21: 12246-12253

522 SCHNEIDER F., PARSONS S., CLIFT S., STOLTE A., MCMANUS M.C. (2018) : « Collected marine
523 litter — A growing waste challenge. » *Marine Pollution Bulletin*; 128: 162-174.

524 SEBILLE E. VAN, WILCOX C., LEBRETON L., MAXIMENKO N., HARDESTY B.D., FRANEKER J.A.
525 VAN, ERIKSEN M., SIEGEL D., GALGANI F., LAW K.L. (2015) : « A global inventory of small
526 floating plastic debris. » *Environmental Ressources*; Lett. 10: 124006.

527 VINK R., BEHRENDT H., SALOMONS W. (1999) : « Development of the heavy metal pollution trends
528 in several European rivers: an analysis of point and diffuse sources. » *Water Science*
529 *Technology*.; 39: 215-223.

530 WILLIAMS G.P.W. (1989) : « Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic
531 events in rivers. » *Journal of Hydrology*; 111: 89-106.

532

533

534

| Acteur | Type de données | Quantité de plastiques (t/an) | Source | Fiabilité (1-5) |
|--|---|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Naturel | Volumes et Masses | 20 | Département de la Seine Maritime | 4/5 |
| Barrages SIAAP | Masses | 27 | SIAAP, Gasperi <i>et al.</i> [2014] | 4/5 |
| La Seine en Partage | Masses issues de conversions de volumes multi-sources | 10 | Com. Pers. Association | 2/5 |
| Centrales hydroélectriques (Poses + Port-Mort) | Nombre de bennes | 10-50 | Com. pers. Hydrowatt | 3/5 |

| | | | | |
|--|---|-------------|----------------------------------|-----|
| Bateaux nettoyeurs des Hauts de Seine | Tonnages totaux, % déchets verts et industriels valorisés | 15 | Com. Pers. Dpt Hauts de Seine | 3/5 |
| TOTAL | | ~100 | - | - |

535 *La fiabilité des estimations est un critère subjectif qui dépend du type de données sources et des*
536 *opérations nécessaires à leur conversion en flux. La plus faible fiabilité est notée 1, alors que la*
537 *meilleure est notée 5. A noter que Naturaulin dispose depuis Juin 2018 de la masse exacte des*
538 *plastiques collectés.*

539 **Tableau I. Estimation des quantités de déchets plastiques collectés dans la Seine ou sur ses**
540 **berges.**