



HAL
open science

Plastoc : Indicateurs de la pollution en macrodéchets dans l'environnement et estimation des flux issus des eaux urbaines

Romain Tramoy, Johnny Gasperi, Bruno Tassin

► To cite this version:

Romain Tramoy, Johnny Gasperi, Bruno Tassin. Plastoc : Indicateurs de la pollution en macrodéchets dans l'environnement et estimation des flux issus des eaux urbaines. Laboratoire Eau environnement et systèmes urbains (LEESU), 61 avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil cedex. 2022. hal-04006271

HAL Id: hal-04006271

<https://hal.science/hal-04006271>

Submitted on 27 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



4

5 **AXE 1 : INDICATEURS DE LA POLLUTION EN**
6 **MACRODÉCHETS DANS L'ENVIRONNEMENT**

7

8 **AXE 2 : ESTIMATION DES FLUX DE MACRODÉCHETS**
9 **ISSUS DES EAUX URBAINES**

10

11 Auteur : Romain Tramoy

12 Co-auteurs : Johnny Gasperi, Bruno Tassin

13

14



16 PARTENAIRES A REMERCIER



18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36



métropole
RouenNORMANDIE



37

38

39

40

41

43	SOMMAIRE	
44	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	9
45	AXE 1 : INDICATEURS DE LA POLLUTION EN MACRODÉCHETS DANS	
46	L'ENVIRONNEMENT	11
47	1. Etat de l'art	11
48	1.1. La « feuille de route » développée aux Pays-Bas : vers une stratégie de surveillance	
49	de long terme des macrodéchets en rivière	11
50	1.2. Les limites de la « feuille de route »	14
51	2. Indicateurs imbriqués du système plastique sur le continuum Terre-Mer.	17
52	2.1. Indicateur Marché	19
53	2.2. Indicateur Ville	21
54	2.2.1. Surface voirie	22
55	2.2.2. Réseaux d'assainissement	24
56	2.3. Indicateur rivière	27
57	2.3.1. Comptages visuels des flux	27
58	2.3.2. Etat général des cours d'eau sur la base des sciences participatives.....	29
59	2.3.3. Surveillance OSPAR	30
60	2.4. Compatibilité des indicateurs	36
61	2.5. Mise en œuvre des indicateurs	37
62	2.5.1. Professionnalisation et rationalisation des acteurs	38
63	2.5.2. Bancarisation et exploitation des données : vers un observatoire des macrodéchets	
64	diffus 41	
65	2.5.3. Modèle économique	42
66	AXE 2 : FLUX DE MACRODECHETS ISSUS DES EAUX URBAINES.....	45
67	1. Etat de l'art	45
68	2. Méthodologie	49
69	2.1. Echantillonnage des macrodéchets issus des eaux urbaines	49
70	2.2. Caractérisation des macrodéchets issus des eaux urbaines	51
71	2.3. Estimation qualitative des flux.....	51
72	2.4. Estimation quantitative des flux.....	52
73	3. Goussainville – Réseau d'eau pluvial strict	52
74	3.1. La ville et ses habitants	Erreur ! Signet non défini.
75	3.2. Périmètre de l'étude	52
76	3.3. Spécificités du site d'étude	53
77	3.4. Echantillonnage et météorologie.....	53
78	3.5. Résultats	55

79	4. Malaunay (Métropole Rouen Normandie) – Réseau d’eau pluvial strict et mixte.....	57
80	4.1. La ville et ses habitants	Erreur ! Signet non défini.
81	4.2. Périmètre de l’étude	57
82	4.3. Spécificités des zones d’étude	61
83	4.4. Echantillonnage et météorologie.....	61
84	4.5. Résultats sur la zone 1 (pluvial strict en zone commerciale).....	62
85	4.6. Résultats sur la zone 2 (réseau mixte en zone résidentielle).....	63
86	5. Grenoble – Réseau unitaire	66
87	5.1. La ville et ses habitants	Erreur ! Signet non défini.
88	5.2. Périmètre de l’étude	66
89	5.3. Spécificités des zones d’étude	66
90	5.4. Echantillonnage et météorologie.....	67
91	5.5. Résultats.....	68
92	6. Discussion générale.....	70
93	7. Perspectives	72
94	RÉFÉRENCES.....	74
95	INDEX	79
96		
97		

98

99



Des débris sur la voirie, une pluie, un filet qui se remplit...

Filet anti-macrodéchets sur réseau d'eaux pluviales installé à Goussainville en janvier 2021 par Pollustock®. Un mélange de déchets anthropiques, souvent plastiques, de débris organiques et de sédiments.

101 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

102 La pollution plastique est un des enjeux environnementaux majeurs du siècle avec des
103 estimations de flux à la mer de l'ordre du million de tonne par an. Cet enjeu est en passe d'être
104 élevé au même niveau que celui du changement climatique par l'Assemblée des Nations Unies
105 pour l'Environnement (ANUE). L'ANUE a annoncé la création d'un Comité
106 Intergouvernemental de Négociation visant à élaborer un texte juridiquement contraignant d'ici
107 2024 pour lutter contre la pollution plastique¹. Des recommandations ont été émises dans un
108 précédent rapport de l'ANUE² visant à concrétiser la « Osaka Blue Ocean Vision », c'est-à-dire
109 atteindre d'ici 2050 des émissions nettes de déchets dans les océans égale à zéro. Les
110 recommandations formulées pour atteindre cet objectif sont les suivantes :

- 111 1. **Agir immédiatement** pour les pays membres du G20 afin d'apporter les changements
112 nécessaires à l'économie du plastique en propulsant cette thématique au premier rang
113 des priorités.
- 114 2. **Coordonner** des politiques de réduction des déchets plastiques en mer, en opposition
115 aux actions isolées.
- 116 3. **Définir des objectifs** ambitieux à l'échelle mondiale, mais mis en œuvre à l'échelle
117 nationale.
- 118 4. **Encourager, amplifier, répartir** les actions dont les effets sur la réduction des déchets
119 plastiques en mer sont connus, avec notamment le passage d'une économie linéaire du
120 plastique vers une économie circulaire. L'accent est mis sur la réduction et la
121 réutilisation.
- 122 5. **Soutenir l'innovation** pour assurer la transition vers une économie circulaire du
123 plastique.
- 124 6. **Evaluer et suivre** l'efficacité des politiques relatives aux plastiques pour cerner les
125 meilleures solutions en fonction des différents contextes nationaux et régionaux.
- 126 7. **Réglementer** le commerce international de déchets plastiques pour protéger les
127 populations et la nature. La Convention de Bâle représente une étape cruciale pour
128 améliorer la transparence et la réglementation du commerce mondial de déchets
129 plastiques.
- 130 8. **Utiliser** opportunément les plans de relance face à la pandémie de COVID-19 pour
131 investir dans les secteurs des « technologies vertes et bleues » et créer des emplois dans
132 ces secteurs. Il s'agit, entre autres « d'élaborer des indicateurs capables d'évaluer
133 l'impact des politiques publiques dans la lutte contre la pollution plastique. »

134 Parmi les recommandations, les points n°6 et n°8 concernent clairement la mise en place
135 d'indicateurs de la pollution plastique afin d'évaluer l'impact des politiques publiques visant à
136 sa réduction. Ils s'inscrivent en particulier dans le cadre de l'action 39 de la feuille de route
137 « Zéro déchet plastique en mer 2019-2025 » mise en œuvre par le Ministère de la Transition
138 Ecologique. Cette action prévoit de définir une méthodologie et un ou des indicateurs communs
139 pour « suivre le flux de déchets rejoignant le milieu marin en s'appuyant sur un suivi des déchets
140 dans les fleuves sur la base d'un recensement des méthodologies existantes ». C'est l'objet de

¹ https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/02/26/l-assemblee-des-nations-unies-pour-l-environnement-a-la-recherche-d-un-accord-mondial-sur-le-plastique_6115383_3244.html?fbclid=IwAR3YWSVoejYSMlp8dP4dgr4Q82IInjvIGPAfd7U6JbEghevXm6M9GsIWBko

² <https://www.resourcepanel.org/reports/policy-options-eliminate-additional-marine-plastic-litter>

141 l'**Axe 1** du projet PLASTOC qui propose des indicateurs, élargies à tous les déchets
142 anthropiques et à d'autres compartiments environnementaux pour plus de cohérence, mais
143 restreints aux macrodéchets anthropiques (> 5 mm), y compris plastiques. Ils seront détaillés
144 dans le chapitre 1 de ce rapport et sont de l'ordre de l'opérationnel/institutionnel avec
145 notamment l'idée de la création d'un Observatoire National de la Pollution en Macrodéchets
146 Diffus et financé de manière pérenne par les filières de Responsabilité Etendue du Producteur
147 (REP).

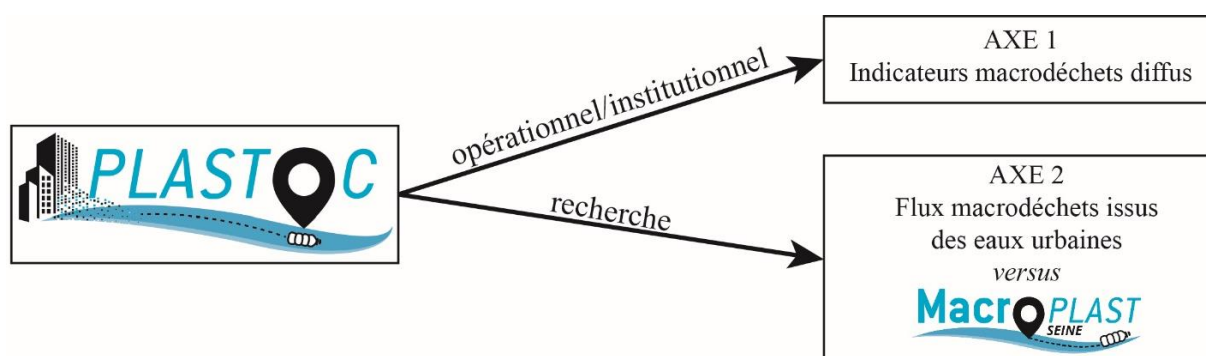
148

149 **ATTENTION** : Dans ce rapport, le terme « macrodéchet » sera principalement utilisé car il
150 englobe l'ensemble des déchets d'origine anthropique de plus de 5 mm. Il inclura donc
151 systématiquement les macroplastiques. Le terme « macroplastique » désignera donc les
152 macrodéchets plastiques de plus de 5 mm.

153

154 L'**AXE 2** du projet PLASTOC concerne l'estimation des flux de macrodéchets issus des eaux
155 urbaines. Ici, il s'agit plus d'une question de recherche que d'une question
156 opérationnelle/institutionnelle, dans la suite du projet MacroPLAST qui visait à quantifier les
157 flux de macrodéchets, en particulier plastique, transitant en Seine et dans l'Huveaune. Les flux
158 de macroplastiques estimés sont de l'ordre de 1 à 10 g/hab/an dans ces milieux. PLASTOC
159 s'inscrit dans une continuité cohérente de MacroPLAST, avec une remontée de la mer à la
160 rivière, de la rivière à l'exutoire du bassin versant et de l'exutoire à la surface du bassin *via*
161 notamment les eaux urbaines. Les eaux urbaines charrient des macrodéchets à travers les
162 réseaux qui sont susceptibles d'être directement rejetées dans le milieu aquatique par temps de
163 pluie. Ces eaux constituent donc une source potentielle de macrodéchets pour le milieu. Il s'agit
164 alors de savoir dans quelle mesure ces rejets, *via* les réseaux pluviaux et les déversoirs d'orage
165 (DO), contribuent au flux de macrodéchets (en particulier plastiques) en rivière. Par ailleurs,
166 ces mesures de flux permises par des dispositifs de piégeage des macrodéchets de type filet,
167 constituent un des indicateurs proposés dans l'**AXE 1**. Le projet PLASTOC est résumé par la
168 **Figure 1**.

169



170

171 **Figure 1** : Diagramme projet PLASTOC.

172 AXE 1 : INDICATEURS DE LA POLLUTION EN 173 MACRODÉCHETS DANS L'ENVIRONNEMENT

174 1. Etat de l'art

175 Durant les dix dernières années, la recherche scientifique sur les macrodéchets en rivière s'est
176 largement focalisée sur les comptages visuels depuis des ponts avec notamment le projet
177 RIMMEL en Europe (González-Fernández and Hanke, 2017). Ce projet a abouti à une
178 estimation des flux de macroplastiques flottants et entrant dans les océans *via* les rivières
179 européennes compris entre 6000 et 12000 tonnes/an. Elle a par ailleurs mis en exergue
180 l'importance des apports des petits fleuves côtiers (bassin versant < 100 km²) qui représentent
181 la majeure partie des apports (González-Fernández et al., 2021). Cette étude a également
182 contribué à mettre en évidence que 82% des macrodéchets flottants étaient en plastique avec
183 les fragments de plastiques durs non identifiés (38%), les bouteilles 10%), les emballages (8%),
184 les sacs (7%) et les fragments de polystyrènes expansés (6%) parmi les cinq premiers objets
185 présents. Notons que ces études se focalisent uniquement sur les macrodéchets anthropiques et
186 que les débris végétaux ne sont pas comptabilisés. Il est important de garder à l'esprit que ces
187 débris sont pourtant largement dominants en masse (> 95%, voire > 99%) et qu'ils contribuent
188 au transport des macrodéchets (Gasperi et al., 2014; van Emmerik et al., 2019a).

189 En parallèle, la fondation The Ocean Clean Up a multiplié les comptages visuels à travers les
190 rivières du monde, en particuliers celles les plus polluées en Asie du sud-est pour aboutir à des
191 estimations de flux de macroplastiques comprises entre 0,8 et 2,7 millions de tonnes par an à
192 l'échelle globale (Meijer et al., 2021). Dans le même esprit qu'en Europe, ce sont les petites
193 rivières urbaines qui ont été identifiées comme les plus significatives, en particulier en Asie du
194 sud-est. Par ailleurs, plus de 1500 rivières seraient responsables de 80% du flux global annuel,
195 contre 47 et 5 rivières pour respectivement Lebreton et al. (2017) et Schmidt et al. (2017).

196 Ce panorama rapide des dernières recherches montre que l'objectif final de la surveillance et
197 des mesures dans la communauté scientifique est d'estimer des flux de plastiques rejetés en
198 mer. Ce sont alors les associations dans le cadre d'OSPAR qui se sont plus focalisées sur les
199 sources et l'occurrence des macrodéchets dans l'environnement marin, d'abord, avec des
200 collectes de déchets sur le littoral³, puis plus récemment sur les berges des rivières. Il ressort
201 que les stratégies de surveillance des macrodéchets dans l'environnement – soit les collectes
202 sur berge/littoral, soit les comptages visuels – sont dépendantes des objectifs qu'elles servent.

203

204 1.1. La « feuille de route » développée aux Pays-Bas : vers une stratégie de surveillance de 205 long terme des macrodéchets en rivière

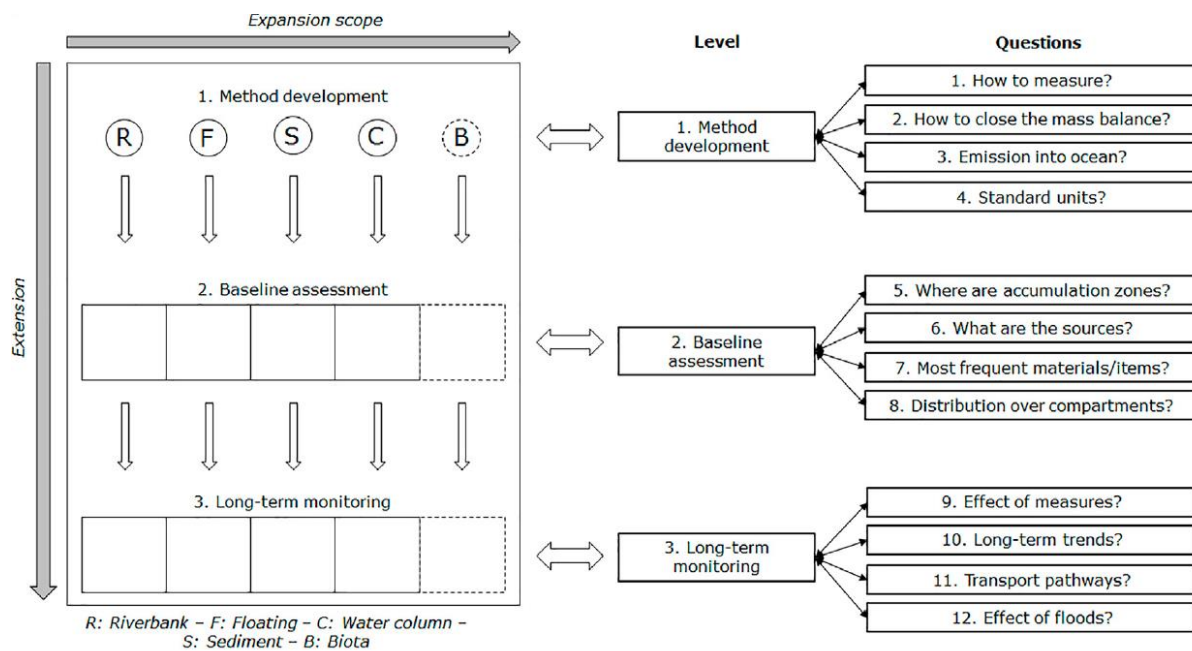
206 Une « feuille de route » a été proposée par van Emmerik et al. (2022) dans le but de développer
207 la surveillance pluriannuelle des macrodéchets, en particulier plastiques, en rivière. Elle dégage
208 quatre objectifs principaux pour ce type de suivi :

³ <https://www.ospar.org/work-areas/eiha/marine-litter>

- 209 1. **Elaboration et mise en œuvre des politiques publiques** : identification des déchets
 210 problématiques (récurrents et/ou dangereux) et évaluation de l'efficacité des politiques
 211 publique de réduction et d'atténuation.
 212 2. **Acquisition de connaissances fondamentales** : les sources, les flux, la dynamique de
 213 transfert des macroplastiques et le rôle des événements extrêmes comme les crues.
 214 3. **Opérations et maintenance** : nettoyage de zones d'accumulation ou d'infrastructures
 215 comme les barrages hydroélectriques.
 216 4. **Conception et mise en œuvre de solutions** : déterminer les solutions les plus efficaces
 217 pour prévenir, atténuer et réduire la pollution en macroplastique dans les milieux
 218 aquatiques.

219 Les auteurs ont ensuite identifié 12 questions scientifiques auxquelles la stratégie de
 220 surveillance mise en place doit permettre de répondre. Ces questions sont classées par trois
 221 niveaux d'avancement au sein d'une « feuille de route » (**Figure 2**). Les deux premiers niveaux
 222 sont relativement rapides à mettre en œuvre, bien qu'il n'existe pas toujours de consensus
 223 méthodologique pour la mesure des macroplastiques dans les différents compartiments de la
 224 rivière décrits dans la **Figure 2**. Ils sont par ailleurs essentiels pour atteindre le 3^e niveau qui
 225 est celui de la surveillance de long terme. Ce niveau est le seul capable de mettre en évidence
 226 les tendances longues et l'impact des politiques publiques de prévention et réduction des
 227 macroplastiques dans l'environnement. Ce qui est très intéressant avec cette « feuille de route »,
 228 c'est sa flexibilité. Si une nouvelle méthode de mesure des flux de macroplastiques est mise en
 229 œuvre, par exemple pour la colonne d'eau, alors ce compartiment peut être implémenté dans la
 230 « feuille de route » en repartant du niveau 1 (e.g. plaine d'inondation). Le nombre de
 231 compartiments suivi et la durée du suivi est donc flexible, en fonction des avancées ou des
 232 moyens disponibles.

233

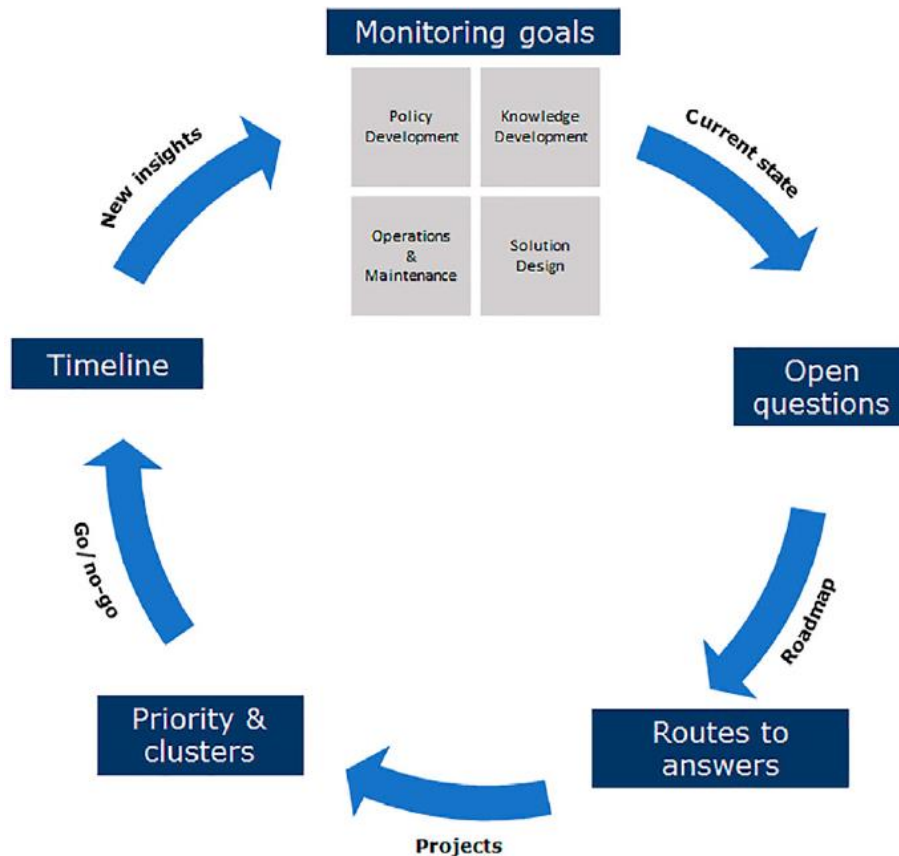


234

235 **Figure 2** : « Feuille de route » avec trois niveaux de développement (1. Développement de la méthode, 2.
 236 Évaluation du t_0 , et 3. Surveillance de long terme) pour chaque compartiment de la rivière. A droite, les questions
 237 auxquelles il est possible de répondre pour chaque niveau de développement. Les pointillés autour de B
 238 symbolisent l'option d'étendre la portée de la surveillance. Source : van Emmerik et al. (2022).

239 La « feuille de route » proposée est également itérative (**Figure 3**). Les objectifs de suivi sont
 240 d'abord fixés et les connaissances fondamentales sont acquises. Puis, des questions nouvelles
 241 peuvent être identifiées, auxquelles le suivi de base n'est pas en mesure de répondre. Alors, la
 242 feuille de route peut indiquer les voies à suivre pour répondre à ces nouvelles questions donnant
 243 naissance à de nouveaux projets scientifiques qui suivront les trois niveaux de développement.
 244 Une fois, ces nouvelles voies explorées, il est possible d'évaluer si les objectifs de suivi fixés
 245 au départ ont été remplis, ou s'ils sont encore pertinents. A partir de là, des objectifs nouveaux
 246 ou révisés peuvent être fixés et le processus itératif peut continuer.

247



248

249 **Figure 3** : Cycle itératif de la "Feuille de route" pour le suivi à long terme des macrodéchets en rivière. **Source** :
 250 van Emmerik et al. (2022).

251

252 La feuille de route peut être résumée ainsi :

- 253 - **Niveau 1.** Développement de la méthode de mesure pour chaque compartiment. Par
 254 exemple, comptages visuels pour les flottants sur le lit mineur, collecte manuelle pour
 255 les berges, filet pour la colonne d'eau).
- 256 - **Niveau 2.** Evaluations de base pour chaque compartiment. L'addition des
 257 compartiments constitue une approche intégrée des flux à l'échelle de l'hydrosystème
 258 investigué.
- 259 - **Niveau 3.** Surveillance de long terme. Les compartiments demeurent intégrés et
 260 connectés pendant une période de suivi prolongée (pluriannuelle).

261 - **Processus itératif.** Le nombre de compartiments suivi peut varier en fonction des
262 résultats acquis dans le temps, des développements méthodologiques ou des moyens,
263 mais toujours en suivant les niveaux de développement dans l'ordre.

264 A titre d'exemple, les eaux de surface avec les déchets flottants et les berges sont les deux
265 compartiments qui ont atteint le niveau 2 sur la Meuse (côté Pays-Bas) avec respectivement,
266 les comptages visuels et des collectes sur berge. Ce n'est pas le cas en France, malgré des
267 initiatives nombreuses mais encore pas assez coordonnées, avec un manque de centralisation
268 des données (en cours de développement avec la plateforme Zéro Déchet Sauvage).

269

270 1.2. Les limites de la « feuille de route ».

271 L'utilité de cette feuille de route est incontestable. Elle a le mérite de proposer un cadre
272 méthodologique clair pour mettre en place du suivi de long terme des flux de macrodéchets en
273 rivière à destination des pouvoirs publics, avec un retour d'expérience aux Pays Bas dans son
274 utilisation (van Emmerik et al., 2022b). Cependant, il persiste plusieurs limites en ce qui
275 concerne sa mise en œuvre.

276

277 *Les acteurs et les moyens*

278 D'abord, la question des acteurs et des moyens financiers n'est pas ou peu évoquée dans le
279 cadre d'une mise en œuvre concrète. Par conséquent, la mise en œuvre d'une stratégie de long
280 terme semble reposer par défaut sur les sciences participatives et le volontariat, encadré par le
281 monde professionnel de la recherche. Or cela nécessite un tissu associatif dense et bien
282 coordonné, ainsi que du temps d'encadrement souvent dans le cadre de « projets » ayant un
283 début, mais surtout une fin. Garder une bonne dynamique sur le long terme pour assurer un
284 suivi de qualité relève du défi.

285 Les suivis de la qualité de l'eau sur le long terme sont normalement plutôt pris en charge par
286 des institutions dédiés dans le cadre d'observatoires ou de la réglementation. Par ailleurs, cette
287 feuille de route met en avant la technologie comme le comptage visuel automatique par une
288 intelligence artificielle (Martin et al., 2018, 2021; Geraeds et al., 2019), dans le cas des flottants,
289 ou la détection de débris dans la colonne d'eau par écho sonar (Broere et al., 2021). Cependant
290 ces technologies ne sont pas mûres et n'ont pas encore atteint le niveau 1 de la feuille de route
291 décrite, ce qui constitue aussi une limite méthodologique. Les coûts liés à leur développement
292 et maintenance semblent également un frein (com. Pers. Rijkswaterstaat).

293

294 *Limites méthodologiques*

295 **Il semble aujourd'hui que seuls les compartiments de surface et la berge soient mûrs pour**
296 **un suivi de long terme.** Or, même les comptages visuels pour les flottants ne sont pas exempts
297 de biais car ils dépendent beaucoup de l'observateur, de la météo et nécessitent beaucoup de
298 temps du fait de la variabilité importante des flux (González-Fernández and Hanke, 2017; van
299 Emmerik et al., 2019a, 2019b; van Emmerik and Schwarz, 2020). Par ailleurs, il a été démontré
300 dans la Seine, et en particulier dans son estuaire, que les macroplastiques flottants et subflottants
301 se déposent systématiquement sur les berges où ils peuvent s'accumuler durant des décennies

302 (Tramoy et al., 2020a, 2020b, 2021). Il en a été conclu que **les berges seraient le compartiment**
303 **le plus intégrateur des flux**. Cela sous-entend également que les macroplastiques sont
304 susceptibles de transiter d'un compartiment à l'autre, tantôt par reptation/saltation sur le fond
305 de la rivière, tantôt flottant entre deux eaux ou en surface jusqu'à s'échouer sur une berge. Cette
306 interaction entre les différents compartiments peut rendre inopérant la mesure des flux par
307 compartiment si toutes les mesures ne sont pas faites au même endroit et au même moment.

308 En outre, les différents compartiments nécessitent des méthodes d'évaluation dédiées, avec
309 chacune leur incertitude et leur unité de mesure. Par exemple, le compartiment berge va donner
310 des quantités de déchets par linéaire de berge, alors que dans l'eau les résultats sont exprimés
311 en quantité de déchets par unité de temps tout en étant très dépendant de l'observateur. La
312 précision sur la qualité des déchets entre les berges et l'eau ne sera pas non plus la même, les
313 déchets de berge étant finement caractérisés dans le cadre du protocole OSPAR (*cf.* **2.3.3**).

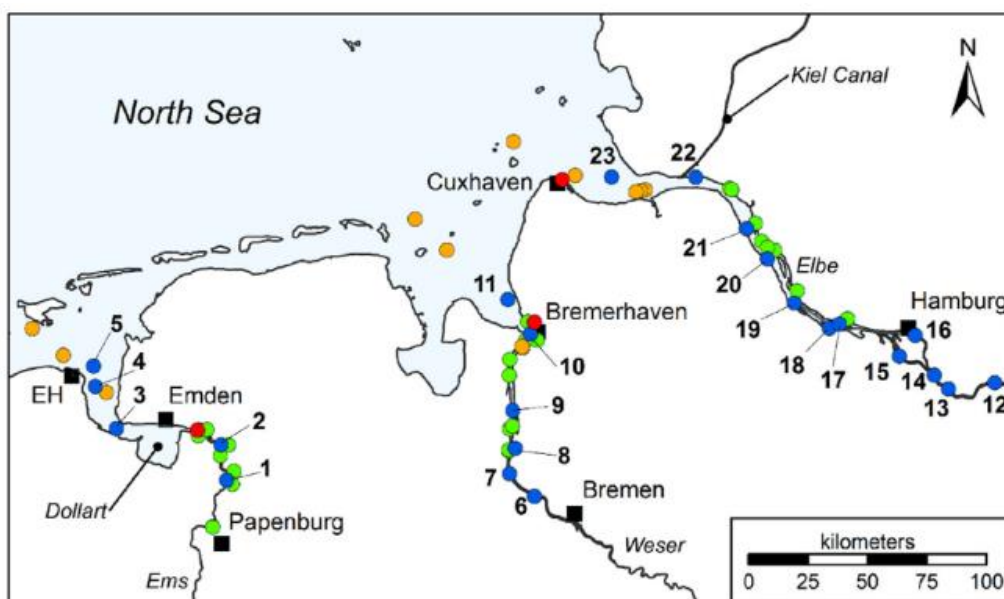
314 De rares études se sont focalisées sur plusieurs compartiments à la fois en tentant de résoudre
315 ces problèmes pour calculer des flux de manière holistique. Ce fut le cas en Allemagne sur les
316 fleuves Ems, Weser et Elbe, se jetant dans la mer du Nord (Schöneich-Argent et al., 2020,
317 2021). Dans cette étude, les différents compartiments, i.e. berge, eau de surface, colonne d'eau
318 et fond de rivière, ont été échantillonnés de la manière suivante :

- 319 - **Les eaux de surface** ont été suivies par comptages visuel (*cf.* **2.3.1**) à partir de points
320 hauts à l'exutoire de chaque rivière, une à deux fois par mois pendant 30 minutes, 1–4 h
321 après la pleine mer. La distance maximale visible était d'environ 20 m.
- 322 - **Les berges** ont été échantillonnées sur 9 sites par rivière, couvrant plusieurs types de
323 berges, selon le protocole OSPAR, deux fois par semaine pendant 10 semaines.
- 324 - **La colonne d'eau** a été échantillonnée sur 23 localités réparties sur les 3 rivières de
325 façon inégale, deux fois par an sur chaque localité (automne et printemps) avec des filets
326 de pêche fixes jusqu'à 10 m de profondeur. Les filets ont capté les déchets pendant un
327 cycle de marée, dans les deux sens, pour chaque prélèvement, tandis que le volume
328 d'eau filtré a été mesuré par un débitmètre. La maille des filets était de 6 à 12 mm.
- 329 - **Le fond de rivière** a été échantillonné une seule fois avec un filet de fond de 2 m, avec
330 une maille de 5 mm, tracté en bateau pendant 10 min à 2 nœuds

331

332 La stratégie d'échantillonnage est reportée sur la **Figure 4** de Schöneich-Argent et al. (2020).
333 Elle illustre bien la difficulté de l'approche holistique en rivières ; difficultés décuplées s'il
334 fallait la déployer partout. L'approche compartimentée se traduit également par une diversité
335 des unités de mesure de l'occurrence des déchets qui rendent difficiles l'estimation agrégée des
336 flux (**Tableau 1**). Ainsi, les compartiments de berges et de fonds de rivières sont écartés de
337 l'estimation des flux. Or, ce sont sur les berges que l'on retrouve la plus grande diversité de
338 déchets, renforçant l'idée que les berges sont représentatives des flux d'une rivière. Cela
339 constitue un paradoxe car les berges représentent un stock (temporaire) et pas un flux, puisque
340 les macrodéchets y sont échoués. Cependant, cette relation stock-flux reste très difficile à
341 appréhender comme en témoigne l'étude de (Schöneich-Argent et al., 2020). Malgré cela, les
342 berges restent à privilégier dans une stratégie de gestion des macrodéchets diffus que ce soit
343 pour du suivi ou du nettoyage, voire les deux à la fois lorsque cette relation stock-flux peut être
344 précisé (Tramoy et al., 2021).

345



346
 347 **Figure 4** : Echantillonnage des compartiments fonds de rivière (orange), berges (vert), eaux de surface (rouge),
 348 et colonne d'eau (bleu) sur l'Ems, le Weser et l'Elbe en Allemagne. D'après Schöneich-Argent et al. (2020).

349
 350 **Tableau 1** : Synthèse des flux de macrodéchets en fonction du compartiment visé sur l'Ems, le Weser et l'Elbe en
 351 Allemagne (Schöneich-Argent et al., 2020, 2021).

Compartiment	Unité de mesure	Flux macroplastique estimé (t/an)	Diversité de déchets
Berges	Déchets/100 m	na	++++
Eaux de surface	Déchets/jour	1,5–385,8	++
Colonne d'eau	Déchets/m ³		+++
Fonds de rivière	Déchets/km ²	na	+

352
 353 *Limites conceptuelles*

354 La principale limite de cette feuille de route réside dans le fait qu'elle se concentre uniquement
 355 sur la rivière, découpée en différents compartiments distincts. Certes, la rivière est une voie de
 356 transfert majeure des flux de macrodéchets du milieu terrestre vers le milieu marin (e.g.,
 357 González-Fernández et al., 2021; Meijer et al., 2021), mais elle ne constitue pas la source amont.
 358 **Se limiter aux voies de transferts majeures – par ailleurs complexes à suivre – c'est risquer**
 359 **de passer à côté des sources de la pollution plastique et des processus conduisant à sa**
 360 **diffusion dans les milieux à différentes échelles spatiales et temporelles.** Les sources et
 361 processus amont de diffusion (i.e., zones urbaines, dynamique de production/consommation)
 362 sont par conséquent invisibilisés. Il devient alors plus difficile d'évaluer l'impact des politiques
 363 publiques de prévention/réduction des déchets, à l'exception de grandes interdictions sur des
 364 produits ciblés comme les pailles ou les cotons tiges. Par contre, comment juger de l'efficacité
 365 d'une politique locale le long d'une rivière qui ne serait pas appliquée ailleurs le long de cette
 366 même rivière ? Ou encore, existe-t-il des catégories de déchets qui seraient sous-représentés en
 367 rivière par rapport à leur occurrence ailleurs comme par exemple les lingettes ou les mégots ?

368 Une seconde limite apparaît dans le concept même utilisé, celui de la roue de Deming. Il
369 manque une échelle de temps. En prenant en compte le temps de développement des méthodes
370 existantes pour les compartiments surface et berge, leur mise en œuvre et leur utilisation en
371 routine, on peut estimer à une dizaine d'année le temps nécessaire pour faire un tour complet.
372 Ce qui, dans le contexte actuel plus qu'incertain, rend la probabilité que cela arrive très faible.
373 **L'alternative à cette roue de Deming serait donc de mettre en place une surveillance avec**
374 **les services et les dispositifs existants, en limitant/simplifiant la phase de développement.**

375 Les zones urbaines sont les principaux lieux d'activité humaine et constituent donc la principale
376 source de macrodéchets (Barnes et al., 2009). Mais elles constituent aussi les premiers lieux de
377 lutte contre cette pollution, notamment dans les pays développés aux systèmes urbains
378 complexes. Ce sont donc des zones qu'il est également intéressant de suivre sur le long terme,
379 au plus près des fuites de macrodéchets.

380

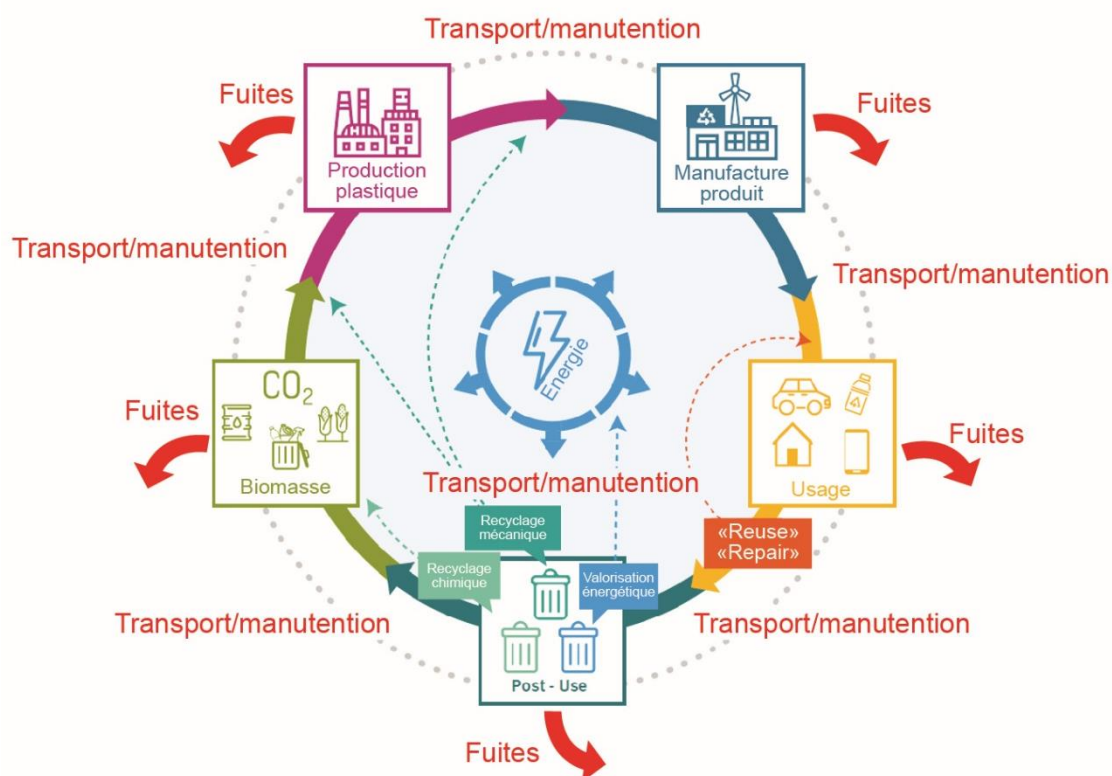
381 **2. Indicateurs imbriqués du système plastique sur le continuum Terre-Mer.**

382 La construction d'indicateurs macrodéchets dans l'environnement repose sur plusieurs constats
383 forts :

- 384 1. Les macroplastiques représentent la majorité des macrodéchets persistants dans
385 l'environnement (*e.g.*, Galgani et al., 2015; Van Emmerik et al., 2020; González-
386 Fernández et al., 2021; Treilles et al., 2021).
- 387 2. La pollution plastique est diffuse dans tous les compartiments de l'environnement, en
388 particulier sous forme de microplastiques (Gasperi et al., 2015; Akdogan and Guven,
389 2019).
- 390 3. La pollution plastique est directement liée aux activités humaines qui reposent sur la
391 croissance perpétuelle dans le contexte de la « grande accélération » marquant le début
392 de l'anthropocène au milieu du XX^{ème} siècle (Steffen et al., 2015a). La pollution
393 plastique est par conséquent vouée à croître selon le modèle « business as usual »
394 (Jambeck et al., 2015; Lau et al., 2020) jusqu'à la rupture.

395 Les fuites de plastique interviennent par ailleurs à toutes les étapes du cycle de vie des plastiques
396 (**Figure 5**), de leur production (*e.g.*, Karlsson et al., 2018; Turner et al., 2019) jusqu'à leur mise
397 au rebut, puis leur éventuelle « errance » dans l'environnement (Barnes et al., 2009). Cette
398 chaîne de production-consommation-rebut s'inscrit donc un continuum Terre-Mer sur le temps
399 long dans le cas des plastiques, car ils ne se biodégradent pas (ou très lentement) dans
400 l'environnement.

401



402

403 **Figure 5** : Cycle de vie théorique du plastique dans une vision circulaire de son économie (modifié d'après
 404 *PlasticsEurope, 2018*). Outre la très faible circularité actuelle de l'économie du plastique, des fuites diffuses sont
 405 présentes à chaque étape du cycle de vie des plastiques. Il n'est par ailleurs pas fait mention du rôle des additifs
 406 au sein des différents polymères qui viennent perturber cette circularité.

407

408 Dans ce contexte, une série d'indicateurs est proposée pour rendre compte de toute cette
 409 complexité, en complément de qui peut être proposé sur les rivières. **Il s'agit d'objectiver la**
 410 **pollution plastique sur un continuum terre-mer, mais également un continuum**
 411 **consommation-source-voie de transfert au sein d'un bassin versant et de son**
 412 **hydrosystème**. L'amont du système correspond au marché, c'est-à-dire à la
 413 production/consommation de plastique et l'aval correspond à la rivière, puis ultimement, à la
 414 mer. La ville, où se concentrent les activités humaines correspond au nœud fondamental des
 415 interactions entre l'amont et l'aval du système. Les indicateurs développés ci-dessous
 416 s'organisent en trois niveaux que sont (1) le marché, (2) la ville et (3) la rivière (**Figure 6**). A
 417 chaque niveau, plusieurs indicateurs peuvent être proposés, mais le focus sera mis sur les
 418 indicateurs pour lesquels les conditions d'acquisition sont scientifiquement fiables, homogènes
 419 dans le temps et l'espace, et les données renseignées riches et représentatives. Ces indicateurs
 420 permettent d'identifier les sources au travers les usages des objets (classification
 421 OSPAR/DCSMM, cf. encadré dans le §2.3.3), afin d'alimenter les politiques publiques de
 422 réduction des macrodéchets. Des unités de mesure communes entre les différents indicateurs
 423 permettront de les comparer entre eux. Enfin, un modèle économique adéquat à l'échelle
 424 nationale devra assurer la pérennité des indicateurs, leur bonne mise en œuvre, ainsi que le
 425 traitement des données tant du point de vue recherche que du point de vue institutionnel.

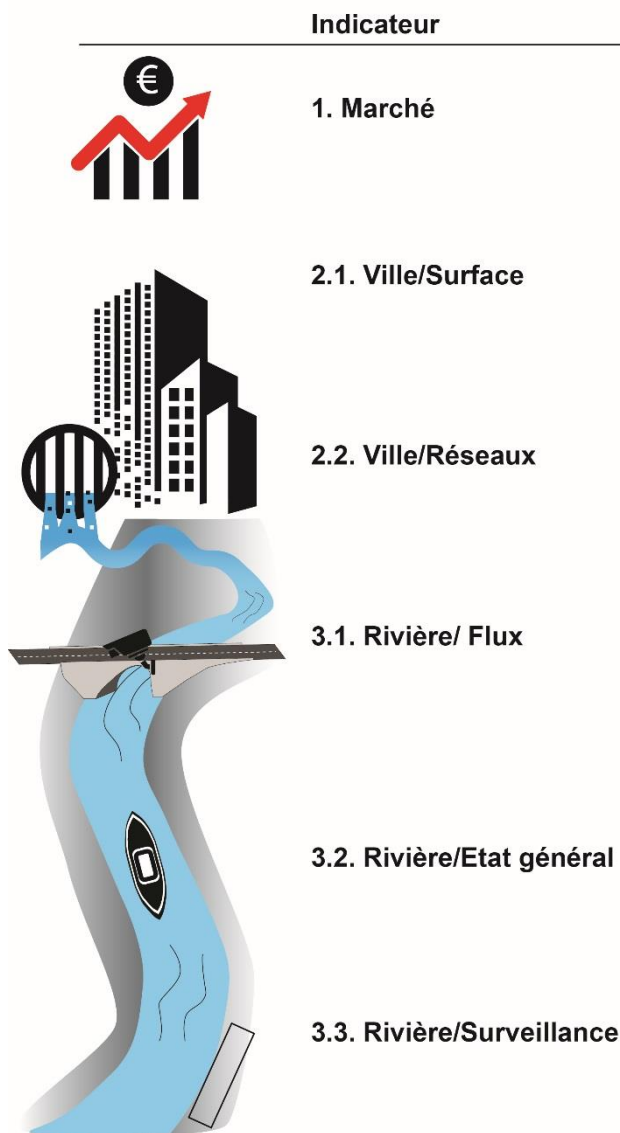


Figure 6 : Synthèse des indicateurs des flux de macrodéchets à différents niveaux du cycle de vie des plastiques dans le continuum Terre-Mer : (1) Marché, (2) Ville et (3) Rivière.

447

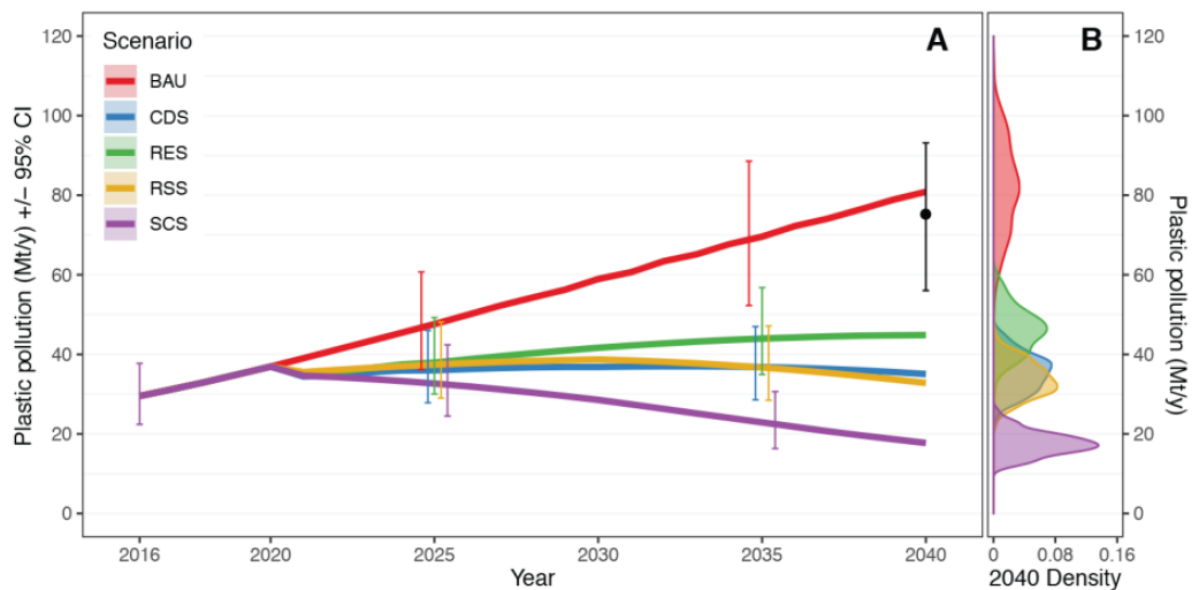
448 2.1. Indicateur Marché

449 Pour cet indicateur, seuls les macroplastiques sont pris en compte, mais le même principe
 450 pourrait être appliqué à d'autres types de matériaux, comme le verre ou les métaux pour les
 451 bouteilles et les cannettes, respectivement. L'idée est d'illustrer la dynamique de marché du
 452 matériau visé dans le temps et dans l'espace, puisque les fuites, bien que minimes, sont en
 453 première approximation considérées comme proportionnelles au volume de
 454 production/consommation de plastique.

455 En considérant des taux de fuites issus des travaux de Jambeck et al. (2015), Lau et al. (2020)
 456 ont montré à l'échelle mondiale que le scénario « business as usual », c'est-à-dire la croissance
 457 perpétuelle de la production/consommation de plastique jusqu'en 2040, se traduit par une
 458 hausse linéaire de la fuite de plastique dans l'environnement terrestre (2/3) et marin (1/3). Par
 459 conséquent, seul un changement systémique incluant la réduction de la production et de
 460 l'utilisation des plastiques, l'amélioration de la collecte et du recyclage, peut réduire de manière

461 significative les fuites de plastique dans l'environnement (**Figure 7**; Lau et al., 2020). Notons
 462 ici que les valeurs absolues sont probablement surestimées de un à deux ordres de grandeur du
 463 fait qu'elles reposent sur les estimations de fuites de Jambeck et al. (2015) comme l'ont souligné
 464 de nombreuses études de terrain (Van Emmerik et al., 2019; Schöneich-Argent et al., 2020;
 465 Vriend et al., 2020b; Weideman et al., 2020a; González-Fernández et al., 2021; Tramoy et al.,
 466 2021). Quoiqu'il en soit, la tendance de la courbe « Business as Usual », ainsi que la projection
 467 des actions envisagées avant 2019 et mises en place avant 2040 (le point noir de la **Figure 7**),
 468 sont inquiétantes avec un triplement de la pollution plastique dans l'environnement d'ici 2040.
 469 Dans ces projections, les fuites de plastiques sont proportionnelles à la
 470 production/consommation de plastique. Décider de réduire la pollution revient donc à faire
 471 baisser la production/consommation de plastique.

472



473

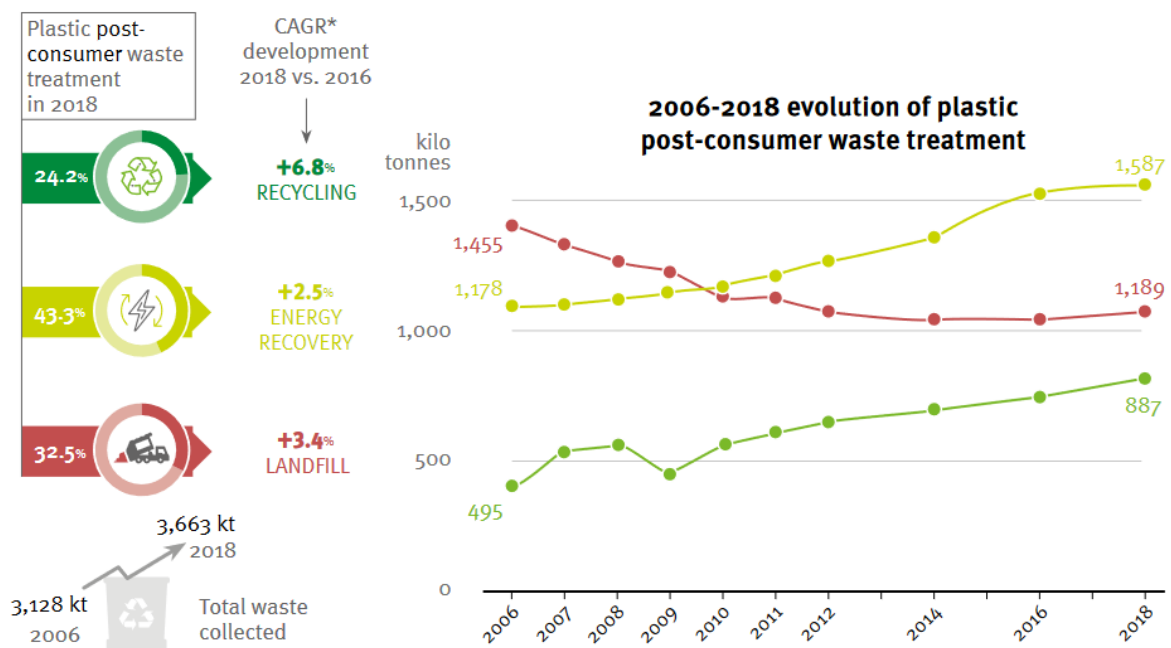
474 **Figure 7** : Flux annuels de plastique dans l'environnement terrestre (2/3) et marin (1/3) sur la base de 300
 475 simulations Monte Carlo. A, Série temporelle de l'évolution des flux dans l'environnement selon 5 scénari :
 476 Business as Usual (BAU) ; Collect and Dispose Scenario (CDS) ; Recycling Scenario (RES), Reduce and
 477 Substitute Scenario (RSS), System Change Scenario (SCS). Le point noir en 2040 correspond au niveau de
 478 pollution estimé en tenant compte des engagements mondiaux annoncés avant 2019 et appliqués avant 2040 dont
 479 le but est de réduire l'usage du plastique et d'augmenter le recyclage. B, densité de Kernel estimée par scénario
 480 pour la quantité de pollution plastique en millions de tonnes en 2040. **Source** : Lau et al. (2020).

481 Dans la réalité, il n'est pas certain qu'il existe réellement une proportionnalité entre production
 482 et fuites de plastiques. Surtout, cette relation dépend du type d'usage considéré ou encore des
 483 actions menées sur le terrain par exemple par les collectivités. Toutefois, ce sont les plastiques
 484 à usage uniques qui sont les plus susceptibles de se retrouver dans l'environnement, tout en
 485 constituant des plastiques dont l'usage est souvent discutable. D'où une action prioritaire sur
 486 ces types d'usage menée par les pouvoirs publics.

487 À l'échelle européenne, PlasticsEurope publie des rapports annuels sur la production, la
 488 demande et les déchets de plastiques en Europe dans une série de rapports intitulée "Plastics -
 489 the Facts (year)". Dans le rapport de 2020 (PlasticsEurope, 2020), il est montré que la
 490 production européenne de résines a diminué de 6,3 % entre 2018 et 2019, alors qu'elle a
 491 augmenté de 2,5 % à l'échelle mondiale dans le même temps. Par ailleurs, entre 2006 et 2018,

492 les déchets plastiques collectés en Europe ont augmenté de 18,8%, ce qui suggère que la
 493 consommation de plastique a augmenté sur cette période, probablement alimentée par les
 494 importations. Suivant la tendance européenne, la consommation de plastique a augmenté de
 495 17,1 % en France sur la même période (**Figure 8**). Par conséquent, l'approche quantitative des
 496 fuites de plastiques sur la base du modèle statistique de Jambeck et al. (2015) – dépendant de
 497 la quantité de déchet produite – conduit à **une augmentation du potentiel de fuite dans**
 498 **l'environnement** (Tramoy et al., 2019a, 2019b). L'indicateur marché sur les 15 dernières
 499 années suit donc une mauvaise tendance. D'autres indicateurs de terrain doivent être mis en
 500 place pour préciser cette relation de proportionnalité entre production/consommation de
 501 plastique d'une part, et flux de plastiques dans l'environnement d'autre part.

502



503

504 **Figure 8:** Traitement des déchets plastiques en France entre 2006 et 2018. En 2018, 3,6 millions de tonnes de
 505 déchets plastiques ont été collectées dans le cadre des dispositifs officiels. De 2006 à 2018, les volumes destinés
 506 au recyclage ont augmenté de 79 %, la valorisation énergétique a augmenté de 35 % et la mise en décharge a
 507 diminué de 18 %, mais cette dernière est restée stable et a même augmenté à nouveau depuis 2012. **Source :**
 508 *PlasticsEurope (2020).*

509

510 2.2. Indicateur Ville

511 Les zones urbaines sont considérées comme les principales sources de macrodéchets, car elles
 512 concentrent les activités humaines. Tandis que les réseaux d'assainissement et notamment les
 513 réseaux d'eaux pluviaux constituent une voie de transfert majeure vers les rivières par
 514 ruissellement urbain de temps de pluie (cf. **Axe 2**). Il convient donc de mettre en place des
 515 indicateurs de la pollution en macrodéchets à l'échelle des surfaces urbaines, mais aussi à
 516 l'exutoire des réseaux d'eaux pluviaux ou des déversoirs d'orage. Ainsi, les sources et les voies
 517 de transfert sont surveillées très en amont et documentent « l'usure de la ville ». La ville
 518 constitue probablement à la fois la première source, mais aussi le premier filtre des fuites de

519 plastiques à la faveur de piégeage involontaire (trous, murs, caniveaux, interstices, etc.) ou
 520 volontaire (grilles, décanteurs, siphons, etc.) des macrodéchets.

521

522 **2.2.1. Surface voirie**

523 La voirie est le réceptacle principal des macrodéchets issus des zones urbaines. Il existe
 524 différents types de voiries en fonction de l'occupation du sol (e.g. commercial, résidentiel,
 525 industriel, etc.). Différentes stratégies peuvent être mise en place pour surveiller les flux de
 526 macrodéchets sur les voiries en fonction de leur typologie. La première consiste à caractériser
 527 des flux de macrodéchets par mètre linéaire ; la seconde par surface.

528 La ville de Nice en la personne de Laurent Calatayud, directeur propreté de la ville, et son
 529 équipe expérimentent depuis 2021 la seconde stratégie pour le suivi des macrodéchets. Ils ont
 530 d'ores et déjà montré que cela était possible à l'échelle d'une grande métropole. Le protocole
 531 mis en place consiste à compter visuellement au moins deux fois par an et par site les
 532 macrodéchets au sol sur des surfaces de 500 m². Les résultats sont exprimés en densité de déchet
 533 par unité de surface, i.e., nombre/100 m². Mais ils peuvent être convertis en masse grâce à un
 534 ratio masse/nombre par catégorie de déchet. L'ensemble de la ville a été cartographié avec 400
 535 sites classés par type d'habitat (i.e., collinaire, riverain classique, riverain habitat social, mixte
 536 ou touristique) et par typologie de voirie (i.e. commerce, école, gare, pavillonnaire, collectif de
 537 centre-ville, collectif de périphérie, bureaux, mairie-équipement), dans un souci de
 538 représentativité de la ville. Les déchets au sol sont comptés sans être ramassés et classifiés selon
 539 18 grandes catégories (**Tableau 2**).

540 **Tableau 2** : Classification utilisée par la ville de Nice pour la caractérisation des macrodéchets au sol. D'après
 541 L. Calatayud, Directeur propreté de la ville de Nice.

Cannettes alu		Papier/carton	Emballage de vente à emporter (boîtes, sacs, etc.)
Bouteille en verre			Papier alimentaire (Sandwich, etc.)
Déjection canine			Paquet de cigarette
			Gobelet
Plastique	Mégot	Déchets volumineux	Publicité /tickets (tracts, brochures, tickets de caisse, bus, etc.)
	Emballage		Encombrants
	Bouteille		Sac ordure ménagère
	Sac		
	Gobelet		
	Paille		
	Bouchon		
	Masque		

542

543 Cela permet d'avoir une image instantanée des stocks de macrodéchets présents au sol avant
 544 qu'ils ne soient collectés par les services municipaux ou transférés vers les réseaux
 545 d'assainissement par les eaux pluviales. Le principal inconvénient ici est que les résultats
 546 obtenus correspondent à des stocks et non des flux et que la part de macrodéchets susceptible
 547 de fuir vers le milieu n'est qu'une fraction (inconnue, mais faible ?) du stock observée. La
 548 dimension temps correspondant au renouvellement de ces stocks reste également difficile à
 549 identifier. Deux approches de l'indicateur surface voirie peuvent alors apparaître :

- 550 1. **Indicateur des flux.** Une manière d'obtenir des flux serait d'augmenter la fréquence
 551 des comptages et de considérer que les stocks mesurés sur un même site sont
 552 entièrement renouvelés entre deux passages, en posant que (1) les agents de voirie sont
 553 passés nettoyer entre les deux comptages et/ou que (2) les macrodéchets résiduels ont
 554 été transférés dans les réseaux par la pluie. Ces deux points sont par ailleurs vérifiables
 555 soit par la gestion des nettoyages de voirie, soit par les données météo. Ainsi, si le taux
 556 de renouvellement réel des stocks de macrodéchets au sol est supérieur à la fréquence
 557 de comptage, alors les flux seront sous-estimés et *vis-versa*.
 558 2. **Indicateur potentiel de flux.** Dans ce cas, l'indicateur est pris pour ce qu'il est, c'est-
 559 à-dire une image instantanée. L'hypothèse faite est que plus il y a de macrodéchets en
 560 surface, plus les flux vers le milieu seront grands.

561 Il est toutefois intéressant de noter que cet indicateur a une très forte flexibilité. Il laisse la
 562 possibilité de déterminer les zones les plus problématiques par cartographie en fonction des
 563 catégories de déchet, du type d'habitat, de typologie de voie, etc. Les possibilités sont
 564 dépendantes des critères choisis pour le comptage visuel des déchets. Elles sont donc
 565 potentiellement très nombreuses. Un tel indicateur est un outil extrêmement puissant
 566 d'accompagnement à la gestion de la propreté des villes tant d'un point de vue opérationnel
 567 (*e.g.* allocation ciblée des moyens humains et matériels dans l'espace et dans le temps, mobilier
 568 urbain adapté), que d'un point de vue politique publique de réduction et prévention des déchets
 569 (*e.g.* médiation dans les espaces et avec les populations concernées par la problématique). C'est
 570 l'approche de la ville de Nice. En augmentant la fréquence des comptages sur quelques zones,
 571 la dimension temporelle de l'évolution des macrodéchets présents au sol peut être rajoutée.

572 Quoiqu'il en soit, cet indicateur peut fournir des ordres de grandeur des stocks de macrodéchets
 573 sur les surfaces urbaines, tandis que des hypothèses peuvent être faites sur les flux. Complété
 574 par des caractérisations de macrodéchets présents dans les corbeilles de propreté et balayés au
 575 sol, ces flux numériques peuvent être convertis en flux massiques. Une telle approche permet
 576 également d'identifier les différents flux de macrodéchets dans l'espace urbain (**Figure 9**).

577

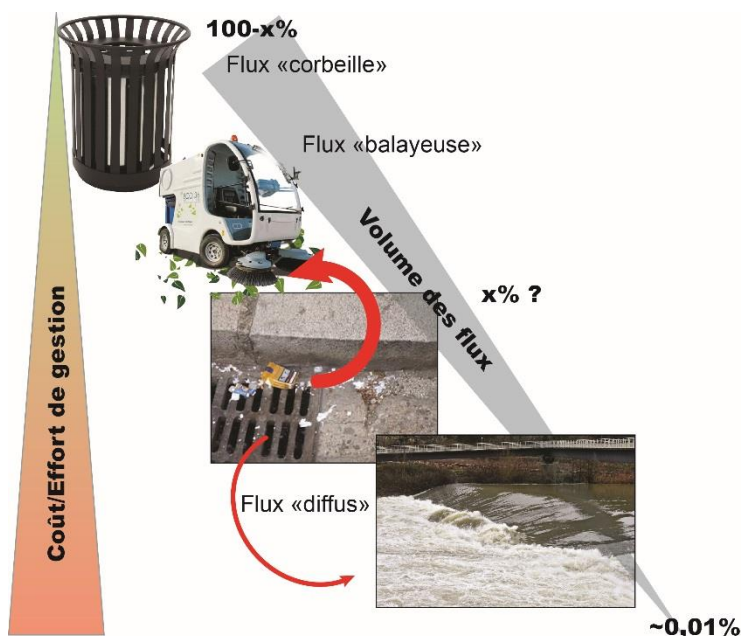


Figure 9 : Conceptualisation de la gestion des flux de macrodéchets en zone urbaine. La performance du système de gestion est exprimée sur la gauche avec une augmentation de l'effort de gestion à mesure que les déchets sont diffus et en petits volumes.

585 Dans cette représentation conceptuelle, trois flux peuvent être identifiés :

- 586 - **Le flux « corbeilles »**, c'est-à-dire le flux de macrodéchets dit bien géré.
- 587 - **Le flux « balayé »**, c'est-à-dire le flux de macrodéchets dit mal géré, mais qui réintègre
- 588 le système de gestion grâce à une action supplémentaire de nettoyage (cf. Jambeck et
- 589 al., 2015).
- 590 - **Le flux « diffus »**, c'est-à-dire le flux de macrodéchets présent au sol avant le
- 591 nettoyage et dit mal géré.

592 C'est ce flux diffus qui potentiellement pourra rejoindre les avaloirs et les réseaux urbains pour
593 être transféré au milieu. Il constitue donc le « **flux parent** » des flux de macrodéchets situés à
594 l'aval du processus de transfert, c'est-à-dire en sortie de réseau, puis en rivière et enfin en mer.
595 A chaque étape de transfert, les flux sont potentiellement abattus dans une ampleur qui reste
596 encore à définir. D'après MacroPLAST, le flux de macroplastique dans le milieu, issu de ce
597 flux parent est de l'ordre de 10 g/hab/an, soit de l'ordre de 0,01% de la consommation moyenne
598 par habitant (**Figure 9**). Bien que cette fuite soit très faible, cela représente près de 1000
599 tonnes/an de macroplastique à l'échelle métropolitaine. Les macrodéchets sont ici assimilés aux
600 macroplastiques car ces derniers sont majoritaires dans les macrodéchets issus des rivières.

601

602 2.2.2. Réseaux d'assainissement

603 Les réseaux d'assainissement ont été identifiés comme des voies de transfert importantes de
604 macrodéchets dans le milieu (Rognard and Finck, 2020; Weideman et al., 2020a; Treilles et al.,
605 2021). De plus en plus de collectivités cherchent des solutions techniques pour intercepter les
606 macrodéchets provenant des réseaux d'assainissement avant qu'ils n'atteignent les rivières.
607 Certaines d'entre elles installent des filets anti-macrodéchets aux exutoires des réseaux
608 d'assainissement, soit à l'exutoire de réseaux d'eaux pluviales strictes (**Figure 10**), soit sur un
609 déversoir d'orage (DO ; **Figure 11**). Les types de réseaux d'assainissement sont détaillés dans
610 l'**AXE 2**.

611



612

613

614

Figure 10 : Filet anti-macrodéchets disposé sur un émissaire d'eau pluvial par Pollustock® à Goussainville, janvier 2021.

615 Ces filets capturent les macrodéchets. Les plastiques en particulier permettent de rendre visible
616 la pollution pluviale et plus largement celle issue des eaux urbaines, notamment à cause des
617 problèmes de gestion qu'elle engendre (e.g. les lingettes dans les stations d'épuration). Par
618 ailleurs, ils permettent de **quantifier** des flux relatifs au nombre d'habitant raccordés au réseau
619 ou encore à la surface drainée. Quel que soit le type de réseau, l'emprise du réseau est relatif au
620 nombre d'habitants sur le bassin, lui-même représentatif de sa fréquentation. **Capter** ces flux
621 permet de les **caractériser** précisément selon la classification OSPAR/DCSMM (cf. encadré
622 dans le 2.3.3).

623



624

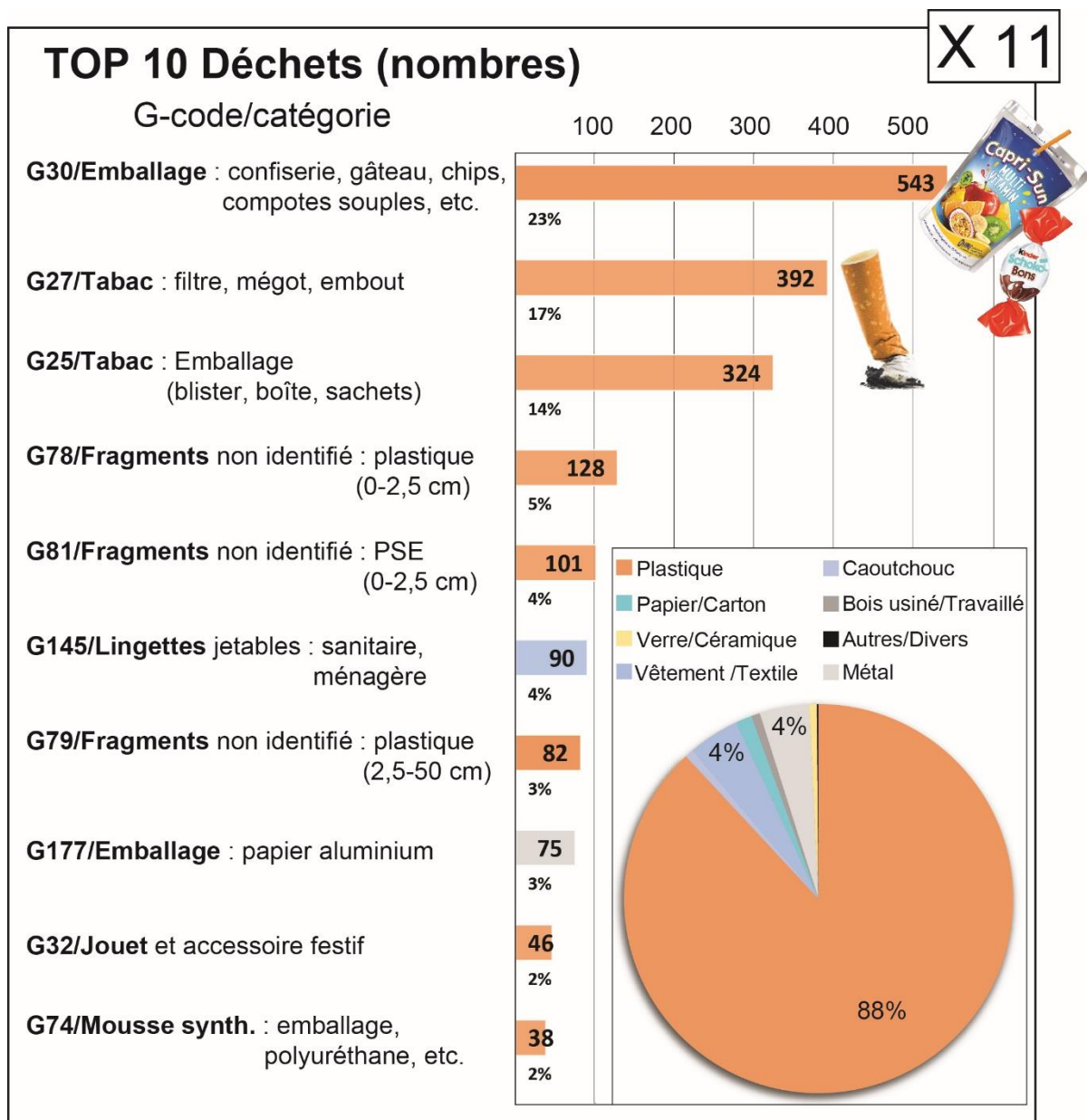
625 *Figure 11 : Double filet anti-macrodéchets disposé sur un DO par Pollustock® à Rouen,*
626 *Avril 2022. Noter la forte présence visuelle de lingettes dans le filet, caractéristique des DO.*

627

628 Les matières collectées par les filets sont un mélange de sédiments fins à grossiers, de matières
629 organiques en décomposition, voire de matières fécales (dans le cas des DO) et de macrodéchets
630 d'origine anthropique. Le LEESU a donc développé un protocole spécifique sur ces matières
631 difficiles à traiter qui sera développé dans l'AXE 2. Il consiste à laver les matières prélevées
632 pour en extraire les macrodéchets anthropiques > 5 mm. Les macrodéchets sont ensuite séchés,
633 triés, comptés et pesés par catégories de déchet. C'est ce qui permet d'obtenir des flux
634 massiques précis, mais également de ne pas manquer de petits macrodéchets souillés comme
635 des mégots.

636 Ce protocole permet également d'établir la distribution des matériaux, ainsi que les Top 10 des
 637 catégories de déchets les plus représentées, en nombre et en masse (**Figure 12**). L'examen des
 638 secteurs économiques responsables de la pollution permet d'orienter les politiques publiques
 639 de réduction des déchets à l'échelle locale. Sur le long terme, l'impact de ces dernières peut
 640 également être apprécié. Par exemple, après l'interdiction de tel ou tel produit en plastique, est-
 641 il encore présent dans les déchets diffus en ville et en quelle proportion ? Les éventuels
 642 changements d'organisation du nettoyage en surface ont-ils un effet sur les flux de
 643 macrodéchets issus des eaux urbaines ? Cet indicateur, avec son aspect intégrateur des flux issus
 644 des eaux urbaines, pourrait répondre à ces questions d'ordre local.

645



646

647 **Figure 12** : Top 10 (nombre) des catégories de déchets dans un échantillon de Goussainville (Mars 2021). La
 648 distribution des matériaux (nombre) est indiquée en bas à droite. En haut à droite est indiqué le coefficient
 649 d'extrapolation à l'ensemble du filet. Le même type de fiche synthétique est possible pour les masses.

650 Enfin, cet indicateur a deux avantages majeurs. D’abord, il est exhaustif dans la limite de taille
651 inférieure de la maille des filets (*e.g.*, les mégots ne sont pas toujours efficacement capturés
652 avec des mailles de 30*30 mm). Tous les déchets transitant par les réseaux sont capturés par le
653 filet. Ainsi, les mégots ou les lingettes sont bien collectés, alors que ces déchets font parfois
654 défauts sur les berges car les mégots se délitent rapidement et les lingettes coulent. Ensuite, les
655 macrodéchets collectés par les filets sont en meilleur état que ceux collectés sur les berges où
656 les fragments non identifiés sont souvent les catégories ultra majoritaires, tout comme pour les
657 comptages visuels (Van Emmerik et al., 2020; González-Fernández et al., 2021). Il arrive que
658 l’on retrouve des papiers/carton encore identifiables comme des gobelets en carton avec leur
659 film plastique. Dans les filets, moins de 10% des macrodéchets sont des fragments non
660 identifiés (*cf.* AXE 2). Ainsi, le suivi des eaux urbaines *via* les filets anti-macrodéchets constitue
661 un indicateur très important des fuites de macrodéchets, en particulier de macroplastiques, à
662 l’interface ville-milieu.

663

664 2.3. Indicateur rivière

665 Les rivières sont les voies de transfert les plus efficaces pour transporter les macrodéchets de
666 l’amont à l’aval des bassins. Les rivières charrient les déchets sur de longues distances, mais
667 pas de manière linéaire, avec un rôle probablement prépondérant des crues mais encore mal
668 connu (Roebroek et al., 2020; Kerhervé et al., 2021). Avant d’atteindre la rivière, notons qu’il
669 existe de nombreuses zones de piégeages où des macrodéchets s’accumulent et restent *a priori*
670 sur place. Ce sont des zones grises pour lesquelles il n’existe que très peu d’étude dans le
671 monde : bords de routes (Ledieu et al., 2022b), d’autoroutes, voies de chemin de fer, où les
672 déchets s’accumulent et se fragmentent. Lorsque les macrodéchets atteignent la rivière, les
673 flottants et sub-flottants s’accumulent d’abord au plus près des sources, c’est-à-dire des zones
674 urbaines (Weideman et al., 2020b), puis montrent de nombreux cycles de stockage (parfois
675 définitifs) et de remobilisation sur les berges, en particulier dans les estuaires macro tidaux
676 (Tramoy et al., 2020a, 2020b; Ledieu et al., 2022a). Les berges sont donc un espace privilégié
677 pour mettre en place une surveillance des flux de macrodéchets en rivière avec un suivi
678 qualitatif qui pourra être rapporté aux indicateurs mis en place en ville. Elles permettent par
679 ailleurs de surveiller d’autres types de déchets qui ne seraient pas directement issus des surfaces
680 urbaines (*e.g.* déchets agricoles, pellets, biomédias). Cependant, l’estimation des flux transitant
681 sur la base de stocks accumulés sur les berges n’est pas aisé et nécessite des approches
682 complémentaires comme des déchets marqués (Tramoy et al., 2021).

683 Mais cette approche est très fastidieuse à mettre en place et demande des nettoyages intensifs
684 des berges. Dès lors, les comptages visuels en surface depuis des structures surélevées
685 demeurent une bonne méthode d’estimation des flux apparents.

686

687 2.3.1. Comptages visuels des flux

688 Plusieurs méthodes ont été développés pour estimer les flux de macroplastiques en rivière (van
689 Emmerik and Schwarz, 2020). Parmi ces méthodes, celle des comptages visuels est la plus
690 utilisée car la plus simple à mettre en œuvre pour une estimation rapide des flux de surface
691 (*e.g.*, González-Fernández and Hanke, 2017; Crosti et al., 2018; van Emmerik et al., 2018;
692 Castro-Jiménez et al., 2019; Vriend et al., 2020). Elle consiste tout simplement à compter les

693 objets visibles à la surface d'une rivière depuis un point haut, généralement un pont, ou depuis
 694 une berge (**Figure 13**). Les comptages sont normalisés au temps et extrapolés à la largeur de la
 695 rivière si le comptage a été réalisé sur une section partielle. Bien que cette méthode simple
 696 fournisse des données cohérentes dans le temps et l'espace, elle a certaines limites. Il existe par
 697 exemple un biais lié aux observateurs qui ne voient pas ou n'interprètent pas tous de la même
 698 manière ce qu'ils voient. Par ailleurs, la limite inférieure de taille des objets est contrainte par
 699 la distance (et la vue...) de l'observateur ou la turbidité. Enfin, les comptages ne donnent pas
 700 de flux massiques car les macrodéchets comptés ne sont pas capturés pour être précisément
 701 caractérisés et analysés, ce qui rend également plus difficile l'identification des sources. Mais
 702 des masses peuvent être obtenus facilement en appliquant une masse moyenne ou médiane par
 703 macrodéchets (*e.g.*, Schöneich-Argent et al., 2020). Il est également souvent nécessaire de
 704 compter sur toute la section de rivière car la distribution des macrodéchets en surface peut être
 705 influencée par le vent, les courants, la morphologie de rivière, etc. (*e.g.*, van Emmerik et al.,
 706 2018, 2019a). La facilité de mise en œuvre de la méthode permet en outre à chacun de s'en
 707 emparer dans le cadre des sciences participatives par exemple. Des applications peuvent y aider
 708 comme l'application CrowdWater⁴.

709



710

711 **Figure 13** : Exemple de comptages visuels depuis le pont Thu Thiem sur la rivière Saïgon au Vietnam dans un
 712 contexte de courant bidirectionnel lié aux marées. Les nombres correspondent à l'emplacement des observateurs.
 713 Parmi les 12 observateurs, 4 sont également équipés d'un filet de collecte pour capturer des flottants afin de les
 714 analyser plus finement (distribution de taille, de masse, etc.). **Source** van Emmerik et al. (2018).

715 Cependant, la grande variabilité des flux dans le temps et dans l'espace nécessite de faire des
 716 comptages nombreux et fréquents et surtout de capter les périodes où les débits sont les plus

⁴https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-22406_presentation.pdf

717 élevés (Castro-Jiménez et al., 2019; van Emmerik et al., 2019b). Malheureusement, ces périodes
718 sont aussi caractérisées par des eaux plus turbides et plus chargés en débris naturels que l'on
719 peut parfois confondre avec des déchets anthropiques, ce qui augmente le risque d'erreur. Il est
720 également recommandé de mesurer ces flux sur toute la largeur de la rivière – ce qui nécessite
721 plus d'observateurs – compte tenu de la variabilité latérale fortement influencée par les vents
722 (Blondel and Buschman, 2022). C'est pourquoi la perspective d'une automatisation des
723 comptages visuels par intelligence artificielle, *via* des caméras ou des drones, est intéressante
724 (Martin et al., 2018; Geraeds et al., 2019). Ces nouvelles avancées technologiques permettront
725 une mise à l'échelle rapide des observations à travers les rivières du monde. Jusqu'à présent, les
726 flux de plastique n'ont été mesurés que dans une poignée d'entre elles. Grâce à des méthodes de
727 mesure automatisées, abordables et précises, telles que les caméras ou les drones, une
728 couverture mondiale de la surveillance des débris plastiques dans les rivières est à portée de
729 main. Déjà, des initiatives associatives comme Plastic Origins de Surfrider permettent une
730 première approche semi-automatisée de reconnaissance des macrodéchets sur les berges, les
731 plages ou en zone urbaine : <https://www.plasticorigins.eu/>.

732

733 2.3.2. Etat général des cours d'eau sur la base des sciences participatives

734 De nombreuses initiatives existent afin de sensibiliser le grand public à la pollution des cours
735 d'eau par les macrodéchets. Elles sont souvent portées par des associations à l'envergure locale
736 ou internationale et promeuvent la science participative. C'est par exemple le cas de Plastique
737 à la loupe à destination des scolaires ou de Plastic Origins à destination des citoyens. Plastique
738 à la loupe est une initiative de Tara Océan⁵. C'est « une opération pédagogique au service de
739 l'éducation à la science et au développement durable qui propose aux élèves de contribuer à
740 l'état des lieux de la pollution plastique des plages et berges de la France ». Des collectes de
741 macroplastiques et même microplastiques sont réalisées par des scolaires. Une partie du travail
742 d'analyse est réalisée en classe et les résultats sont bancarisés dans une base de données et mis
743 à disposition. L'hétérogénéité des données tant dans l'espace et le temps que dans les acteurs
744 concernés, ne permet pas à cette initiative d'être un indicateur fiable sur le long terme. Ici, c'est
745 l'intérêt pédagogique qui est important.

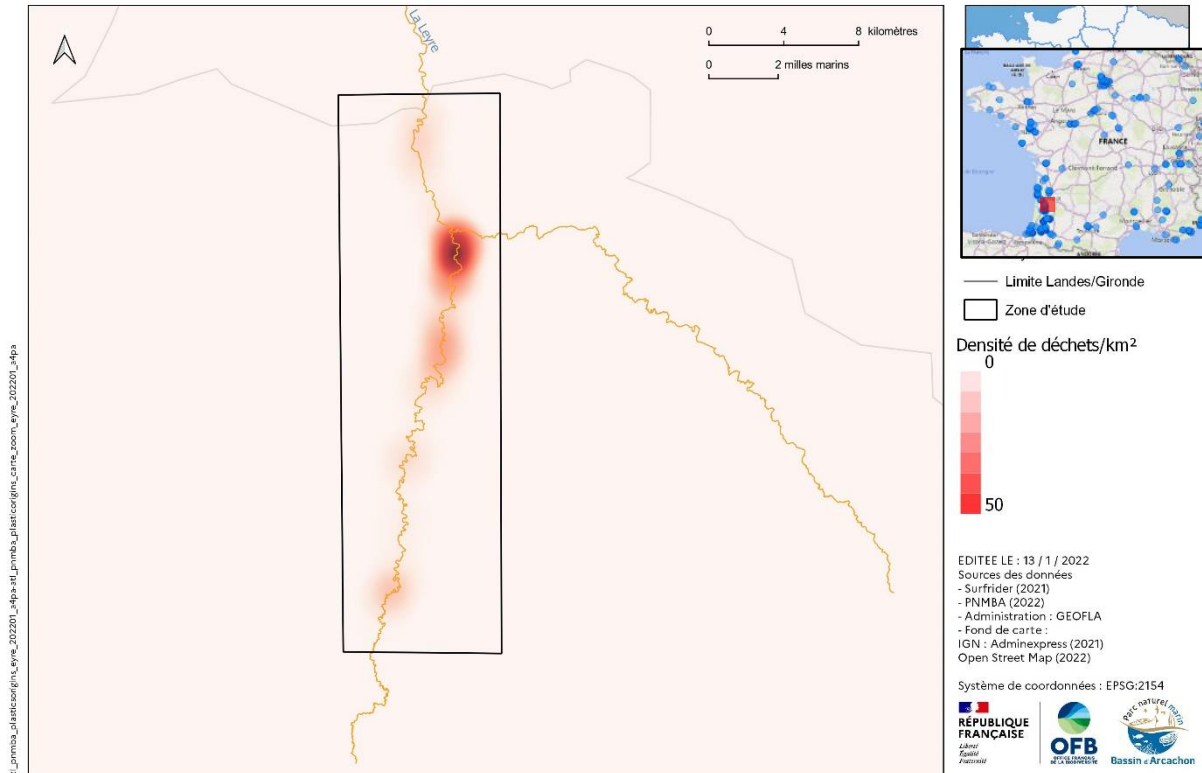
746 Plastic Origins est une application mobile développée par l'ONG Surfrider Foundation. C'est
747 un outil collaboratif dont l'objectif est de cartographier la pollution plastique dans les rivières
748 européennes en kayak ou à pied le long des berges. Des bénévoles formés collectent des images
749 sur la pollution plastique sur les berges des rivières ou dans l'eau avec l'application. Les
750 macrodéchets repérés sont soit entrés manuellement dans l'application au travers de quelques
751 catégories de déchets prédéfinis, soit de manière automatique via la reconnaissance d'image
752 par un algorithme apprenant. Des contributeurs en ligne étiquettent les images de macrodéchets
753 avec la plateforme Trashroulette : <https://www.trashroulette.com/#/>. Les données collectées
754 sont analysées et partagées en open source sur <https://www.plasticorigins.eu/>. Un exemple de
755 carte de chaleur a été édité grâce au travail de collecte du parc naturel du bassin d'Arcachon
756 (**Figure 14**). On y distingue clairement une zone d'intérêt où la densité de déchets est plus
757 importante qu'ailleurs. Ce travail collaboratif s'adresse de fait à des gens qui sont déjà

⁵<https://plastiquealaloupe.fondationtaraoccean.org/>

758 sensibilisés à la pollution des cours d'eau. Mais il peut impliquer les citoyens plus concrètement
759 dans la lutte contre la pollution par les macrodéchets, en particulier plastiques.

760 Bien que ne constituant pas des indicateurs pérennes et très fiables scientifiquement, ces
761 initiatives peuvent aider à sélectionner des sites appropriés pour une surveillance plus poussée
762 au niveau des berges. Il faut toutefois mettre en garde sur les risques de concurrence entre les
763 différentes initiatives qui pourraient desservir les indicateurs. Une bonne communication et
764 articulation entre les différents acteurs est donc primordiale.

PARC NATUREL MARIN DU BASSIN D'ARCACHON Géoréférencement de macrodéchets de la Leyre



765

Figure 14 : Carte de densité des déchets géoréférencés sur la Leyre dans le bassin d'Arcachon réalisée par le Parc Naturel Marin du Bassin d'Arcachon. Il s'agit d'une des zones où des suivis sont effectués dans le cadre de Plastic Origins (points bleus sur la carte en haut à droite).

766

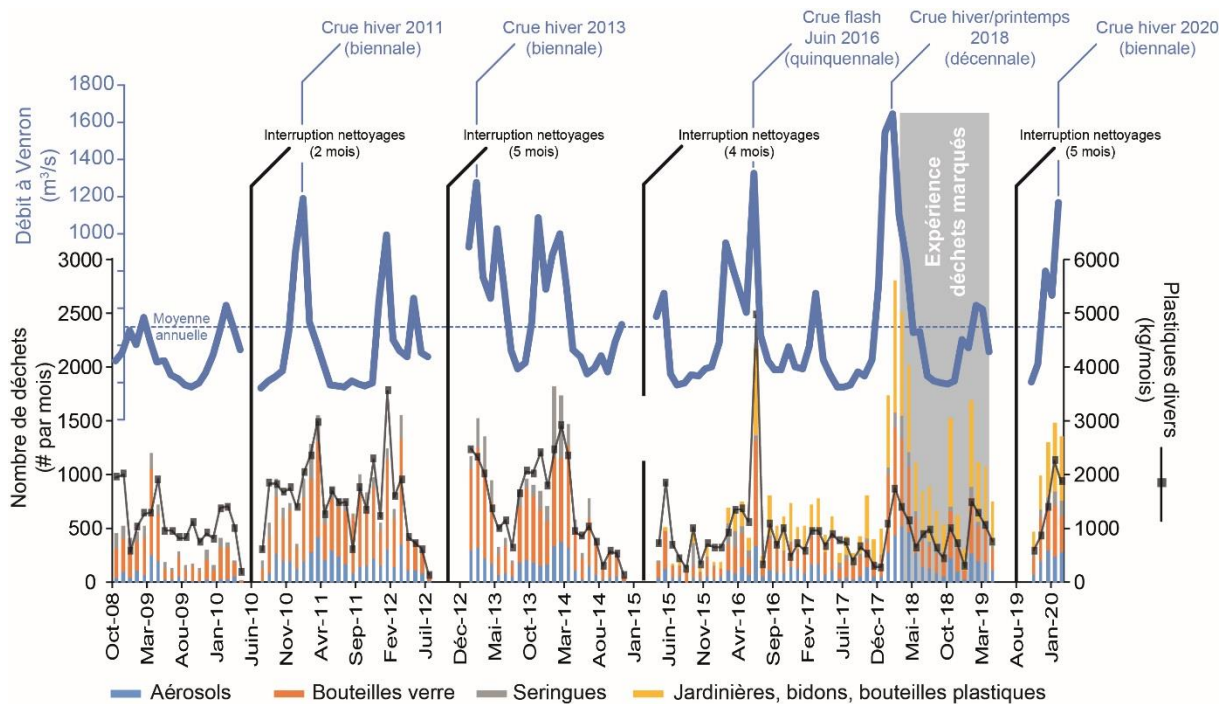
767 2.3.3. Surveillance OSPAR

768 Comme évoqué plus haut, les berges présentent la plus grande diversité de macrodéchets et
769 montrent parfois de fortes accumulations de débris plastiques, même des plastiques susceptibles
770 de couler comme des films (MacroPLAST, 2019). Une étude récente a par ailleurs montré que
771 bien que la charge de fond en plastique soit importante dans une rivière, la composition de ces
772 derniers est similaire à ceux retrouvés en surface (Blondel and Buschman, 2022). Qu'ils soient
773 en profondeur ou en surface, ces déchets sont donc susceptibles de s'échouer avec divers débris
774 organiques. Ces embâcles concentrent d'ailleurs les débris plastiques comme le suggère une
775 autre étude récente sur la distribution des débris plastiques en fonction de l'environnement de
776 dépôt dans une rivière en montagne (Liro et al., 2022).

777 La présence de macrodéchets sur les berges des rivières a conduit les autorités à développer un
 778 suivi similaire au suivi déjà mis en place sur le littoral par le CEDRE selon le protocole OSPAR.
 779 Le protocole consiste à collecter tous les macrodéchets > 5 mm sur environ 100 m de berge, de
 780 la ligne d'eau à la limite supérieure de la berge définie par une digue, une levée ou de la
 781 végétation dense. Cependant, ce flux ne correspond pas directement à une fuite puisqu'il est
 782 collecté. Il est en revanche très probablement représentatif des flux transitant car il semble
 783 corrélé avec les débits, comme illustré par les collectes de Nautraul'un dans l'estuaire de la
 784 Seine (**Figure 15**).

785 La relation débits-déchets collectés s'observe malgré un suivi hétérogène et des interruptions
 786 de collecte liés aux renouvellements fréquents du marché de nettoyage des berges. Cette relation
 787 n'est pas directe car les collectes sont légèrement décalées dans le temps par rapport à la hausse
 788 des débits. Sur la période récente par exemple, deux crues ont eu lieu. Celle de 2016 fut
 789 exceptionnelle pour sa célérité et la période durant laquelle elle se produisit : en juin. Celle de
 790 l'hiver 2018 correspond à une crue hivernale décennale, plus lente. Ces caractéristiques se
 791 retrouvent parfaitement dans la dynamique de collecte des flux de déchets sur les berges avec,
 792 (i) des collectes importantes sur un temps très bref, i.e., le mois de juin 2016 uniquement, et (ii)
 793 des collectes importantes sur un temps plus long, i.e., de janvier à mai 2018. Le protocole
 794 OSPAR n'est pas appliqué par Nautraul'un, ce qui empêche un suivi précis des flux, tant du
 795 point de vue quantitatif (les nettoyages ne sont pas exhaustifs car effectués dans une perspective
 796 curative) que qualitatif (manque de catégories et catégories évolutives dans le temps).

797

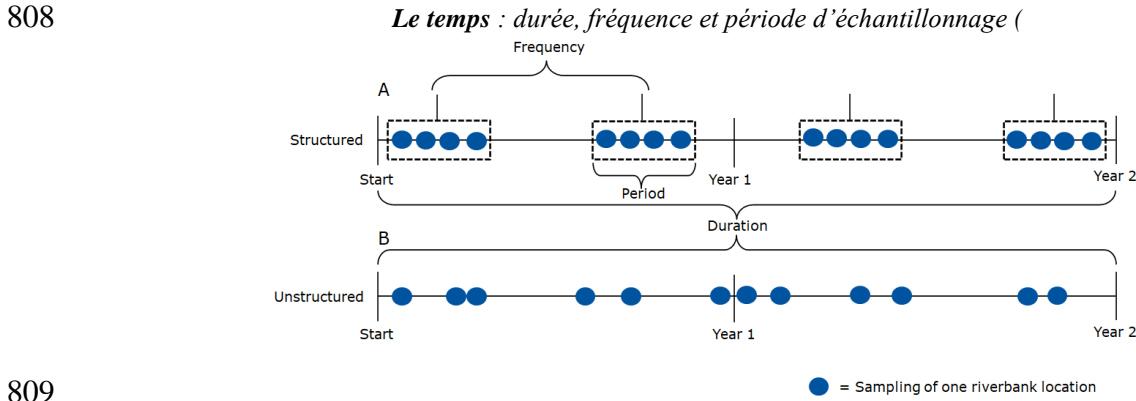


798

799 **Figure 15** : Macro-déchets collectés par Nautraul'un de 2008 à 2020. Les interruptions de nettoyages
 800 correspondent à des renouvellements de marché et induisent des manquements dans le suivi des quantités. La
 801 qualité du suivi n'est pas la même sur la période avec l'apparition tardive (2015) de la catégorie numérique
 802 jardinières + bidons + bouteilles plastiques auparavant comptée dans plastique divers en masse. D'après
 803 MacroPLAST (2019).

804 La déclinaison sur les berges du protocole OSPAR appliquée au littoral a été réalisée par Vriend
 805 et al. (2020a) et comparée à d'autres protocoles (**Figure 16**). Quatre points majeurs ont été
 806 identifiés parmi ces différents protocoles :

807 1. **L'espace** : nombre et localisation des sites.



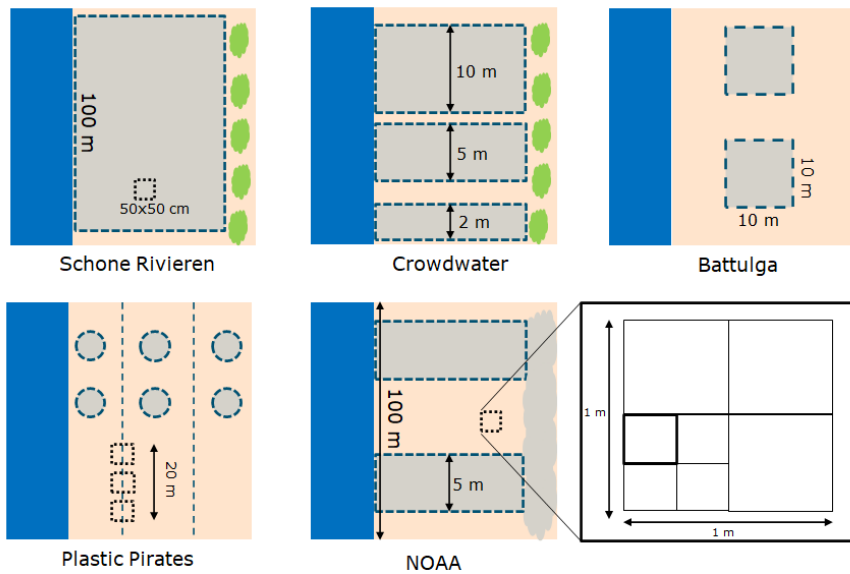
809

810 2. **Figure 17)**

811 3. **Les observateurs** : formation, encadrement, statut des observateurs.

812 4. **La caractérisation des macrodéchets** : sélection de la grille, classe de taille. Ici, il
 813 s'agit de la classification OSPAR/DCSMM. Voir encadré grisé.

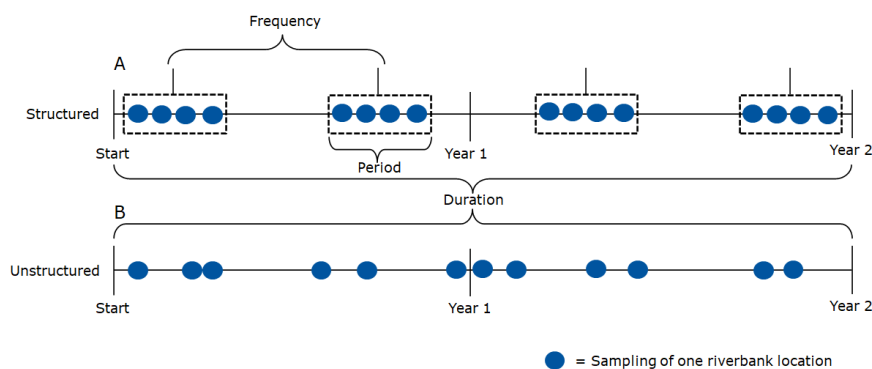
814



815

816 **Figure 16** : Stratégie spatiale d'échantillonnage en fonction de différents protocoles
 817 de suivi des macrodéchets sur les berges. Le protocole NOAA fait référence aux
 818 plages. D'après Lippiat et al. (2013) dans Vriend et al. (2020a).

819



820

821

822

823

824

825

826

827

828

Figure 17 : Stratégie temporelle d'échantillonnage en fonction de différents protocoles de suivi des macrodéchets sur les berges. Les quatre éléments du temps sont représentés sur deux lignes de temps, la ligne de temps A représentant l'échantillonnage temporel structuré et la ligne de temps B l'échantillonnage temporel non structuré. La durée est le temps total pendant lequel les échantillons sont prélevés, la fréquence est le nombre d'échantillons qui sont prélevés annuellement et la période est le temps pendant lequel les échantillons sont considérés comme un cycle de mesure.

829

830 Sur la base de l'expérience de Naturaul'un dans l'estuaire de la Seine et du CEDRE à la fois
 831 sur le littoral et en rivière, il semble pertinent de mettre en œuvre ces suivis à haute résolution
 832 sur tout le territoire. Le CEDRE est l'organisme le plus compétent pour piloter ce déploiement.
 833 L'enjeu est également de garder une certaine cohérence avec les autres indicateurs proposés.

834

835 *L'espace*

836 Il a été montré que la variabilité spatiale de la distribution des macrodéchets est beaucoup plus
 837 importante que la variabilité temporelle (Van Emmerik et al., 2020). Il est donc préférable de
 838 multiplier le nombre de sites et de varier les caractéristiques géomorphologiques des sites,
 839 plutôt que de multiplier les ramassages sur un même site. A l'heure actuelle, il n'existe aucune
 840 règle, aucun modèle, permettant de prédire le nombre de sites nécessaires par rivière ou le type
 841 de sites à suivre pour être représentatif des flux de macrodéchets d'une rivière. L'approche
 842 empirique et la littérature permettent toutefois de dégager certains facteurs favorisant
 843 l'accumulation des macrodéchets comme la végétation, les méandres, les enrochements, la
 844 pente des berges, les activités récréatives, la pression anthropique sur le bassin, etc. (Ivar do Sul
 845 et al., 2014; Kiessling et al., 2019; Mazarrasa et al., 2019; Schöneich-Argent et al., 2020;
 846 Tramoy et al., 2020a, 2020b; Van Emmerik et al., 2020; van Emmerik et al., 2022a). La
 847 sélection des sites doit donc prendre en compte ces différents critères tout en évitant les zones
 848 récréatives car elles génèrent des flux qui ne sont pas issus de la rivière, et en favorisant les
 849 zones aval des grandes agglomérations où les macrodéchets sont plus susceptibles de
 850 s'accumuler (Weideman et al., 2020b). L'accessibilité est également un point important d'un
 851 point de vue pratique. Ainsi, les sites avec enrochements doivent être évités du fait de leur
 852 dangerosité.

853

854 Le CEDRE a émis des critères supplémentaires (Paul and Zakrewski, 2022) avec notamment :

- 855 - L'occupation des sols dans le bassin à l'amont du site suivi. Des sols non artificialisés
- 856 ne générant pas de déchets, il est inutile de suivre des sites à leur aval direct.
- 857 - Le site doit se situer au-delà de la limite de remonté des déchets marins. Dans le cas de
- 858 la Seine, cela correspond à plus de 10 km de l'embouchure.
- 859 - Longueur de site comprise entre 50 et 100 m
- 860 - Le site ne doit pas déjà être soumis à des nettoyages

861 Une question reste en suspens : **combien de sites faut-il suivre ?** Une méthode de
 862 rationalisation du nombre relatif de sites à suivre par bassin est proposée sur la base de la taille
 863 du bassin visé et du potentiel de macrodéchets mal gérés, assimilés aux plastiques mal gérés
 864 (MPW pour Mismanaged Plastic Waste). Plus le bassin sera grand et le potentiel de
 865 macrodéchets mal gérés important, plus le nombre de sites à suivre sera important pour tenir
 866 compte de la variabilité spatiale attendue (**Figure 18**). Un bassin comme celui de la Seine
 867 nécessite probablement le plus grand nombre de sites de suivi du fait (i) du potentiel de déchets
 868 mal gérés le plus élevé (MPW élevé), (ii) d'un débit relativement faible de son fleuve et donc
 869 d'un faible pouvoir de « dilution » de la pollution, (iii) de grands méandres, (iv) de zones
 870 végétalisées qui conduisent à l'accumulation de déchets, et (v) de la présence d'anciennes
 871 décharges fluviales générant potentiellement des sources rémanentes de déchets. La Loire
 872 présente un bassin plus grand et un moindre potentiel de macrodéchets mal gérés (MPW plus
 873 faible que le bassin de la Seine). Le nombre de sites pourrait donc être similaire à celui de la
 874 Seine, mais être plus dispersés dans l'espace, à l'aval des villes. Le Rhône est un peu particulier
 875 du fait du mode de calcul des MPW par Lebreton et al. (2017) qui ne compte que les MPW
 876 générés à l'aval des barrages. Par ailleurs, le Rhône est le fleuve le plus anthropisé de France
 877 avec de nombreux barrages et des digues sur une grande partie de son cours rendant les
 878 échouages de déchets plus difficiles. Le nombre de site de suivi peut donc être grandement
 879 diminué et concentré dans les zones naturelles à l'aval.

880

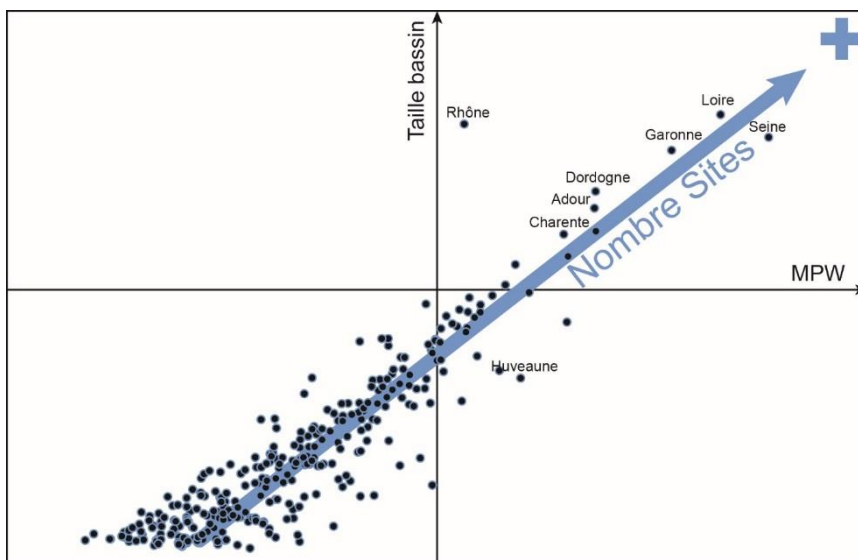


Figure 18 : Diagramme conceptuel de détermination du nombre de sites OSPAR sur berge en fonction de la taille du bassin et du potentiel de MPW (Mismanaged Plastic Waste, c'est-à-dire les déchets plastiques mal gérés). Les deux axes sont en échelle logarithmique. Plus le bassin est grand et avec un potentiel de MPW élevé, plus le nombre de sites devra être important pour être représentatif. Les données sont issues des fleuves et rivières françaises compilées par Lebreton et al. (2017).

899

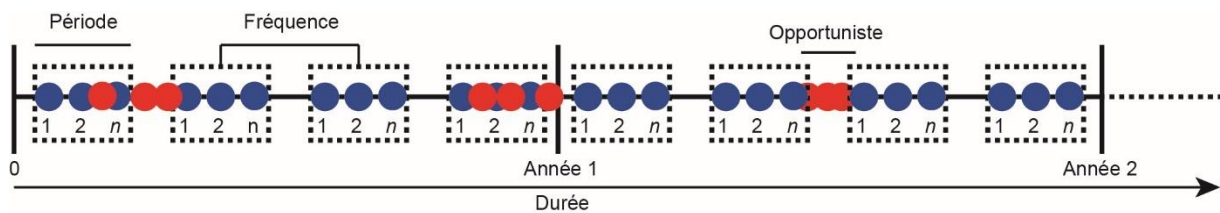
900

901 *Le temps*

902 Une fois les sites à suivre déterminés, il convient de les inscrire dans une temporalité de suivis
 903 qui permette de répondre aux objectifs du suivi. Sur le littoral, les suivis sont effectués une fois
 904 par trimestre, avec une période d'un mois pour réaliser les nettoyages sur chaque site. Puisque
 905 la variabilité spatiale est plus importante que la variabilité temporelle, la même fréquence a été
 906 choisie par le CEDRE pour les sites en rivière. Cette fréquence peut ainsi être considérée
 907 comme la fréquence minimale de suivi avec un suivi par site en janvier, avril, juillet et octobre.
 908 Elle permet de mettre en évidence les catégories principales de macrodéchets échoués au cours
 909 du temps, mais aussi d'identifier des tendances longues d'un point de vue quantitatif. Toutefois,
 910 les premiers retours du CEDRE nuancent l'utilité d'un échantillonnage durant la période
 911 estivale (com. Pers.). Cette période est en effet marquée par les débits et les niveaux d'eau les
 912 plus faibles ce qui rend plus difficile à la fois le transport et le dépôt des déchets sur les berges.
 913 Les déchets de la période estivale seraient donc *a priori* échantillonnés durant l'automne
 914 suivant.

915 Par ailleurs, une fréquence structurée de ce type ne permet pas de mettre en évidence la
 916 dynamique d'échouage et de remobilisation des macrodéchets ou l'impact des crues. Pour ce
 917 faire, il convient de procéder à des ramassages plus fréquents sur de courtes périodes ciblées
 918 sur des événements particuliers ou des questions particulières. La temporalité des ramassages
 919 est alors une combinaison entre des ramassages structurés et déstructurés dans le temps (**Figure**
 920 **19**).

921



922 ● Echantillonnage structuré sur n sites ● Echantillonnage déstructuré sur n sites (sur tout ou partie des sites bleus)

923 **Figure 19** : Stratégie temporelle d'échantillonnage structurée (n points bleus pour n sites) avec une composante
 924 déstructurée (points rouges). L'échantillonnage sur n sites est effectué tous les trimestres lors d'une période d'un
 925 mois par échantillonnage. Des échantillonnages opportunistes peuvent être effectués en complément sur tout ou
 926 partie des sites échantillonnés régulièrement afin de cibler des événements tels que les crues ou de répondre à des
 927 questions de recherche spécifiques telles que la dynamique de dépôt/remobilisation.

928

929 Dans les zones à marée où les cycles de dépôt/remobilisation sont fréquents (Tramoy et al.,
 930 2020a), les ramassages doivent être beaucoup plus fréquents et centrés autour des périodes de
 931 grandes marées où les hauteurs d'eau sur les berges sont maximales. Ainsi, il faudrait prévoir
 932 trois ramassages par site tous les 15 jours avec un ramassage le jour du plus gros coefficient de
 933 marée, un autre deux jours avant et un dernier deux jours après.

934

935 *Les observateurs*

936 Van Emmerik et al. (2020) a déjà montré que les sciences participatives pouvaient être utiles
 937 pour mobiliser de nombreux volontaires et ainsi suivre beaucoup de sites, en l'occurrence plus
 938 de 150 sites dans le delta de la Meuse et du Rhin. Cependant, ils ont souligné la nécessité

939 d'encadrer les observateurs par des professionnels afin de s'assurer du bon déroulement du
940 protocole de collecte, puis de la bonne assignation des macrodéchets dans la bonne catégorie.
941 Car le premier biais d'observation est par définition lié à l'observateur lui-même.
942 L'encadrement professionnel semble bien un minimum pour la mise en place de l'indicateur
943 OSPAR en rivière, mais n'est pas suffisant pour garantir sa pérennité dans le temps et dans
944 l'espace. Il est par exemple plus aisé de mobiliser des volontaires lors de périodes estivales que
945 par de froides et pluvieuses journées d'hiver. Or le suivi temporel proposé nécessite une certaine
946 disponibilité des observateurs. C'est pourquoi des équipes professionnelles doivent être
947 plébiscitées en complément desquelles pourraient intervenir des bénévoles. Ici, c'est l'équipe
948 professionnelle qui est éventuellement accompagné de volontaires et pas l'inverse, ce qui
949 n'empêche pas le suivi lorsque les volontaires viennent à manquer. Se pose donc ici la question
950 de la professionnalisation des indicateurs détaillés dans le **2.5.1**.

951

952

953

954 *La caractérisation des macrodéchets collectés*

955 Lorsque les déchets ont été collectés, peu importe le protocole de collecte, l'enjeu suivant est
956 de les caractériser. Il existe de nombreuses « grilles de tri » qui permettent la caractérisation.
957 Mais la grille privilégiée en Europe (car très complète) est la grille, ou classification,
958 OSPAR/DCSMM.

959

960 ***Classification OSPAR/DCSMM***

961 Tous les macrodéchets > 5 mm collectés sont triés et comptés en fonction de leur type de
962 matériau, puis de catégories de déchets selon la classification OSPAR/DCSMM (Technical
963 Subgroup on Marine Litter, 2013). En revanche, dans le cadre de l'évaluation auprès des
964 institutions OSPAR et DCSMM, les fragments < 25 mm sont retirés du fait de l'extrême
965 variabilité de leurs quantités en fonction des acteurs. La classification OSPAR/DCSMM permet
966 de caractériser les macrodéchets en fonction de leur source et de leur secteur économique grâce
967 à des catégories de déchets labellisés par des G-codes. Récemment, la grille de caractérisation
968 a été mise à jour par le JRC de la commission européenne avec la J-list (Joint-list regroupant
969 des catégories de déchets de plusieurs listes existantes ; Fleet et al., 2021). Le nouveau codage
970 des catégories de déchets dans la J-list permet l'attribution de secteurs économiques aux
971 différentes catégories sans aucune ambiguïté, ce qui n'est pas le cas avec les G-codes. Mais la
972 correspondance établie entre la J-list et les G-code permet des conversions (liste disponible dans
973 Fleet et al., 2021 ou auprès du CEDRE). En 2022, la J-list était toujours au stade d'élaboration
974 entre les différentes parties (CEDRE, Com. Pers.) La maîtrise de cette grille et de l'ensemble
975 du protocole implique *de facto* une certaine professionnalisation (cf. p38 ; **2.5.1**).

976

977 **2.4. Compatibilité des indicateurs**

978 La comparaison entre les différents indicateurs n'est possible que s'il existe des systèmes de
979 mesures communs sur des échelles de temps cohérentes. Pour un même type d'indicateur, la

980 méthode utilisée doit être homogène. Par exemple, sur l'indicateur ville/surface, la ville de Nice
981 effectue des comptages visuels réguliers de surface des déchets en régie publique et aboutit à
982 des densités de macrodéchets par unité de surface. La ville de Grenoble a quant à elle choisit
983 l'entreprise privée Litterati[©] pour évaluer la présence de macrodéchets au sol. Cette évaluation
984 s'est faite en deux campagnes avec des résultats en nombre de déchets par mètre de voirie.
985 Outre le fait que la compétence n'ait pas été développée au sein des équipes comme à Nice, le
986 suivi mis en place n'est pas pérenne et les unités de mesure sont différentes de celles utilisées
987 habituellement. En outre, le développement au sein des équipes d'une « culture » du suivi est
988 impossible avec des suivis ponctuels effectués par un prestataire extérieur.

989 Il est recommandé de veiller à une certaine homogénéité dans les unités de mesure entre les
990 indicateurs pour permettre des comparaisons, bien que ce ne soit pas toujours possible. Par
991 exemple, il n'y a pas de lien évident entre un flux capté sur la berge exprimé en
992 déchets/100 m/an et un flux estimé par des comptages visuels exprimé en déchets/h. Mais ces
993 deux indicateurs sont complémentaires. Le premier exprime précisément les types de
994 macrodéchets transitant dans la rivière. Le second est une approximation quantitative des flux
995 transitant dont les ordres de grandeur en g/hab/an peuvent être comparés aux flux issus des
996 villes, grâce à l'extrapolation de l'indicateur ville/réseau.

997 La classification OSPAR/DCSMM (*cf.* encadré dans le 2.3.3) est utilisée pour les indicateurs
998 ville/réseau et Rivière/OSPAR. Elle permet la comparaison entre les déchets des eaux urbaines
999 et ceux collectés sur les berges. Sans être aussi précis, les autres indicateurs peuvent également
1000 fournir des données sur de grands secteurs économiques tels que l'emballage ou le tabac. Cela
1001 permet des comparaisons sur le continuum terre-mer avec l'indicateur OSPAR sur les plages.

1002 C'est l'articulation de tous ces indicateurs qui pourra montrer si oui ou non les politiques
1003 publiques sont efficaces et de quelle efficacité il s'agit. Quand bien même les mesures en rivière
1004 montreraient une diminution des flux de macrodéchets, cela reste indispensable de savoir quelle
1005 politique en amont est responsable de cette diminution : une politique locale de prévention ou
1006 une politique curative comme l'augmentation du nettoyage des rues ? Une politique nationale
1007 ou locale de réduction à la source de production des déchets ? Une politique Européenne et
1008 nationale de « bans » portant ses fruits partout sur le territoire pour zéro euro d'investissement
1009 technique ? En effet, augmenter la proportion de déchets dit bien gérés en jetant dans la bonne
1010 poubelle ou en augmentant le curatif ne change pas en soit le fait que 30% des déchets plastiques
1011 sont encore enfouis en France et que leur production a augmenté de près de 20% entre 2006 et
1012 2018 (PlasticsEurope, 2020). Cela ne casserait pas fondamentalement la croissance
1013 exponentielle de la production de plastique qui transforme des ressources en déchets, qu'elles
1014 soient fossiles ou agricoles dans le cas des bioplastiques. Tout dépend des objectifs poursuivis
1015 par les indicateurs et donc des acteurs qui souhaitent les mettre en œuvre avec des objectifs
1016 variés en fonction des acteurs.

1017

1018 2.5. Mise en œuvre des indicateurs

1019 Parmi les 6 indicateurs proposés sur 3 niveaux (marché, ville et rivière), certains doivent
1020 surmonter des obstacles structurels dans leur mise en œuvre (i.e., indicateur ville/surface en
1021 régie) et d'autres nécessitent un soutien financier permanent et important (i.e. Ville/réseau ou
1022 Rivière-OSPAR). D'autres encore peuvent être mis en place rapidement, sans grandes
1023 difficultés (**Figure 20**).

	Indicateur	Unités	Coûts/Contraintes	Avancement
 	1. Marché - Flux consommé - Secteurs économiques	tonnes/an % massique	na	Existant
	2.1. Ville/Surface - Stock/flux? - Secteurs économiques	nbr, tonnes % nbr, massique	€ (régie)/fortes	En développement
	2.2. Ville/Réseaux - Flux capté - Secteurs économiques	nbr, tonnes/an % nbr, massique	€€€/faibles	Prêt à déployer
	3.1. Rivière/ Flux - Flux fuite - Secteurs économiques	nbr/an* % nbr*	€/faibles	Néant
	3.2. Rivière/Etat général - Stock - Secteurs économiques	nbr/km* % nbr*	€/faibles à moyennes	En cours
	3.3. Rivière/Surveillance - Stock/flux - Secteurs économiques	nbr/km* % nbr*	€€€/moyennes à fortes	En cours A déployer, professionaliser

Figure 20 : Synthèse des indicateurs proposés, de leur unité de mesure, des facteurs de leur mise en œuvre et de leur état d'avancement. *Conversion possible des nombres en masse. En rouge, les indicateurs principaux pour chaque grand niveau du continuum Terre-Mer.

Au moins un indicateur majeur, c'est-à-dire scientifiquement fiable, doit pouvoir être suivi par niveau sur le continuum Terre-Mer. Concernant l'indicateur Ville/Réseau, le LEESU s'est doté d'une plateforme analytique (DataPLAST) réunissant les outils et l'expertise pour renseigner cet indicateur. L'indicateur Rivière-OSPAR est quant à lui porté par le CEDRE et nécessite de monter en puissance en s'appuyant sur des acteurs locaux de terrain.

Peu importe les indicateurs théoriques développés, pour être utiles dans la pratique, ils doivent être mis en place de manière pérenne. Seuls des indicateurs pérennes pourront être en mesure d'évaluer l'impact des politiques publiques de réduction des déchets. La pérennité, ainsi que la rigueur nécessaire à la bonne réalisation des suivis ne peuvent s'obtenir que par la professionnalisation des acteurs renseignant les indicateurs.

2.5.1. Professionnalisation et rationalisation des acteurs

La multiplication des acteurs et des initiatives en lien avec les macrodéchets dans l'environnement est à double tranchant. D'une part, cela démontre l'intérêt des pouvoirs publics et des acteurs privés à s'emparer de la question. D'autre part, cela complique la mise en place

cohérente d'indicateurs avec des initiatives amont et méconnues qui peuvent les parasiter. Il existe par exemple de nombreuses opérations de nettoyages, souvent subventionnées par le secteur industriel, dont la seule vocation est de « nettoyer la nature » (Blot and Désert, 2019). Ici, la motivation est morale et permet de perpétuer, voire de justifier, un modèle économique de consommation et de croissance absolument insoutenable (Meadows et al., 1972; Steffen et al., 2015b). La mise en place des indicateurs vient contrebalancer cette position dominante des « nettoyages citoyens » en passant d'une motivation morale à une motivation réglementaire des nettoyages grâce à l'acquisition de données. C'est pourquoi la mise en place d'indicateurs pérennes, en-dehors de toute coloration morale des actions, nécessite la professionnalisation des acteurs renseignant ces indicateurs, voire la création d'un statut dédié. Il s'agit ici *a minima* de créer une base de professionnels assurant les suivis minimums sur laquelle peut se greffer des bénévoles dans l'objectif d'enrichir ponctuellement ces suivis. Des associations comme SOS Mal de Seine, Hammerdirt (Suisse), MerTerre, etc. plaident toutes pour une professionnalisation de leur métier de surveillance qui repose pour l'instant quasi exclusivement sur le bénévolat et les bonnes volontés. Et c'est sans compter les aspects hygiène & sécurité qui peuvent mettre certaines associations en difficulté s'il y avait un accident grave de personne. Il existe par ailleurs des raisons scientifiques à la professionnalisation des acteurs, notamment à propos de la qualité et de l'homogénéité des données.

Comme évoqué précédemment, le biais principal de l'acquisition de données pour tous les indicateurs, à l'exception de l'indicateur marché et d'éventuelles automatisations des comptages visuels, est lié aux observateurs chargés d'acquérir la donnée (Kiessling et al., 2019; Van Emmerik et al., 2020). **Multiplier les observateurs, a fortiori non professionnels, revient donc à multiplier les biais.** Des Sociétés Coopératives d'Intérêt Collectifs (SCIC), acteurs professionnels de l'ESS, tels que Naturaul'un (nettoyage des berges de l'estuaire de la Seine) ou T.E.O. (Les bacs à marées ; <https://bacamaree.fr/statistiques/>), illustrent la réussite de leur modèle tant d'un point de vue environnemental que social. Les premiers ont permis une méthodologie novatrice des flux de macroplastiques dans l'estuaire de Seine (Tramoy et al., 2021), tandis que les seconds, grâce à la caractérisation OSPAR/DCSMM (*cf.* encadré dans le 2.3.3) des déchets collectés par les bacs à marées, identifient les sources et estiment les flux de macrodéchets échoués sur le littoral. La professionnalisation permet donc des suivis de meilleure qualité.

La professionnalisation des acteurs représente en outre l'opportunité de créer de l'emploi peu qualifié (mais qualifiant) ouvert à tous et toutes, y compris pour des personnes qui en sont éloignées habituellement comme les travailleurs handicapés ou en insertion. C'est d'ailleurs souvent une des caractéristiques des SCICs. C'est le cas de Naturaul'un dans l'estuaire de la Seine (MacroPLAST, 2019). Ces nouveaux métiers sont également porteurs de sens car le travail concret effectué est reconnecté à sa dimension abstraite, c'est-à-dire que la tâche accomplie est tout de suite comprise et rattachée à son utilité, i.e. mesurer une pollution pour la combattre à la source. Le sens au travail est d'autant plus grand que l'utilité perçue par les travailleurs·es leur paraît noble. Or, dans le cas de ces nouveaux métiers, il s'agit de travailler pour « réparer » les dommages causés à l'environnement par d'autres activités productives humaines. **Ces nouveaux métiers s'inscrivent donc dans le développement de l'économie verte prônée par l'Union Européenne⁶.** Leur financement dans ce cadre ferait sens.

⁶https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/protecting-environment-and-oceans-green-deal_en

Afin d'assurer la coopération entre les acteurs, dans un souci d'homogénéité des données, mais aussi de gouvernance partagée, il est nécessaire de s'appuyer sur des acteurs économiques non lucratifs dont la mission principale serait la surveillance des macrodéchets dans l'environnement. Des SCIC comme Natural'un, dans l'estuaire de la Seine, ou T.E.O. avec les bacs à rives sont tout à fait adaptées à ce travail en coopération non lucratifs, inscrit dans leurs statuts. **Selon les choix politiques qui seront fait, ces nouvelles activités économiques tournées vers l'environnement peuvent générer un nouveau marché à conquérir par des acteurs privés lucratifs et donc un effet d'aubaine.** Cette perspective ne permettrait probablement pas une bonne mise en œuvre des indicateurs pour plusieurs raisons :

- **L'objectif du privé lucratif est de pérenniser son marché**, de l'agrandir et de générer des profits en développant son activité, ce qui est contradictoire avec l'objectif de réduction à la source des déchets.
- Qui dit entreprises privées lucratives dit **marché concurrentiel « libre et non faussée »**, c'est-à-dire avec la possibilité pour n'importe quel acteur de rentrer sur ce marché. Cela constitue un risque de multiplier les acteurs et donc d'augmenter les biais liés à la surveillance. Une solide formation de base est nécessaire auprès de professionnels de la caractérisation afin de développer une expertise homogène dans l'ensemble des structures. Cela demande une très forte coopération et une forte transparence entre les différentes structures, ce qui n'est pas bien compatibles avec les lois du marché et de la concurrence. Par ailleurs, ces mêmes lois font et défont différents acteurs sur un marché, encore plus sur un marché nouveau, ce qui n'est pas compatible avec les besoins de pérennité des indicateurs.
- La **forte demande en main d'œuvre** est également peu compatible avec la rentabilité sans renchérir les prix demandés auprès des collectivités, ce qui équivaldrait donc à subventionner le secteur privé avec de l'argent public.
- Se pose également une **question morale** : doit-on encore faire du profit sur une pollution engendrée en amont par la recherche de profit des metteurs sur le marché, elle-même non compatible avec la nécessaire réduction de la production de plastiques ? Or, cette question de la réduction de la production et d'un changement de paradigme complet de l'économie du plastique ne fait pas débat dans la communauté scientifique (*e.g.*, Lau et al., 2020).

En résumé, la mise en place des indicateurs proposés repose largement sur du travail humain, manuel et à faible intensité technologique incarnée dans de nouveaux métiers de l'environnement. Leur bonne mise en œuvre n'est pas compatible avec l'idéologie de marché. Au contraire, les indicateurs proposés par les Pays-Bas sont à plus forte intensité technologique et plus basés sur le bénévolat. Bien que ces deux visions ne soient pas contradictoires, l'une requiert des fonds pérennes et une forte structuration (France) tandis que l'autre s'expose à une forte irrégularité spatiale, temporelle et qualitative dans les données (Pays-Bas).

2.5.2. Bancarisation et exploitation des données : vers un observatoire des macrodéchets diffus

Le Muséum National d'Histoire Naturelle, piloté par l'association MerTerre et financé par le MTE, a développé la plateforme Zéro Déchet Sauvage (ZDS)⁷. Elle vise à fédérer les collecteurs de déchets sauvages en rassemblant leurs données de collecte avec plusieurs niveaux de détails, laissant la place aux amateurs et aux professionnels. Il serait pertinent d'utiliser cette plateforme pour bancariser les données liées aux indicateurs, avec une interface dédiée et un accès contrôlé pour les renseigner. L'exploitation des données et leur traduction en matière d'efficacité des politiques publiques pourraient être assurées conjointement entre la plateforme ZDS, pour son ancrage au sein de la société civile, et les laboratoires de recherche comme le LEESU, pour son expertise scientifique. Le CEDRE, vu son expertise, serait également un acteur pertinent. L'ensemble constituerait un Observatoire National des Macro-déchets Diffus.

Concrètement, ZDS serait chargé de collecter et bancariser les données des indicateurs, tandis que l'Observatoire serait chargé de leur interprétation et validation scientifique au travers de rapports annuels. Les structures non lucratives en charge de renseigner les indicateurs auraient une mission de rapportage auprès de l'Observatoire dans une approche remontante, que ce soit pour renseigner les indicateurs à ZDS ou faire remonter d'éventuelles difficultés de terrain à l'Observatoire. En retour, l'Observatoire et les associations à mission de service public comme le CEDRE pour l'indicateur Rivière-OSPAR pourraient assurer la coopération, ainsi que la formation continue au sein de ces structures dans une approche descendante.

Enfin, dans un souci de cohérence avec les autres enjeux environnementaux globaux, l'Observatoire aura également pour mission d'articuler les enjeux liés aux macrodéchets à ces enjeux globaux, comme la biodiversité ou le changement climatique, dans une approche systémique. Les déchets sont le reflet de nos sociétés (Monsaingeon, 2017). Bien les connaître et lutter contre leur prolifération, c'est déjà lutter pour des changements structurels de société, ce qui est absolument nécessaire pour les autres enjeux globaux⁸. L'approche systémique est nécessaire dans le cadre de la planification écologique récemment évoquée par le gouvernement et mis en avant par d'autres forces politiques depuis 15 ans. Elle permet de prévenir d'éventuels effets collatéraux négatifs de politiques publiques. C'est par exemple le cas des bioplastiques issus de ressources renouvelables agricoles, mais qui entrent en concurrence avec l'usage vivrier des terres agricoles. *A contrario*, l'approche systémique permet d'identifier des initiatives qui ont un effet positif au-delà des seules cibles visées par lesdites initiatives. C'est par exemple le cas avec la création de régies agricoles municipales pour alimenter la restauration collective lancée par une commune des Alpes Maritimes⁹. Non seulement la commune est en mesure de proposer des produits bio, locaux, de saison aux cantines scolaires (dont les besoins annuels sont couverts à 70%), mais elle est aussi en mesure de limiter le gaspillage, les déchets (notamment les emballages) et la bétonisation en préservant les terres agricoles, tout en sensibilisant les jeunes sur ces enjeux.

⁷<https://www.zero-dechet-sauvage.org/>

⁸<https://www.ipcc.ch/> ; <https://ipbes.net/>

⁹<http://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/une-regie-municipale-agricole-pour-alimenter-la-restauration-scolaire-de-la-commune>

2.5.3. Modèle économique

Professionnalisation des personnels et pérennité des indicateurs impliquent financements pérennes. Un modèle économique robuste est alors nécessaire pour assurer ce financement. L'arrêt des financements est la principale raison des arrêts des actions professionnelles. C'est le cas de Naturaul'un à chaque renouvellement de marché (cf. **Figure 15**). C'est également la cause de la suppression du filet anti-macrodéchets à Goussainville après 1 an de service et environ 300 kg de macrodéchets collectés (masses sèches), dont le suivi constitue un des apports principaux de l'AXE 2 de PLASTOC. Ainsi, il est essentiel de flécher une partie du budget des REPs vers le financement de ces personnels *via* des structures, typiquement des coopératives comme Naturau'lun (SCIC) qui sont aussi éligibles à d'autres financements/subventions pour leur impact économique et social. Ces structures, en lien avec les collectivités, pourraient par ailleurs remplir d'autres missions d'utilité publique sur la thématique déchet : de la prévention, de la sensibilisation, de la gestion des déchets, ou encore des interventions ciblées sur les événements de crue (monitoring et nettoyage) dans le cadre de GEMAPI. Un modèle économique est proposé pour pérenniser et professionnaliser les indicateurs (**Figure 21**). Les collectivités percevant les subventions des REPs seront donc conjointes à financer ces structures locales dans lesquelles elles pourront prendre part à la gouvernance. Ces structures seront formées et conventionnées par l'observatoire pour réaliser la surveillance sur tel ou tel indicateur. En échange, ces structures renseigneront les données à l'observatoire *via* la plateforme Zéro Déchet Sauvage.

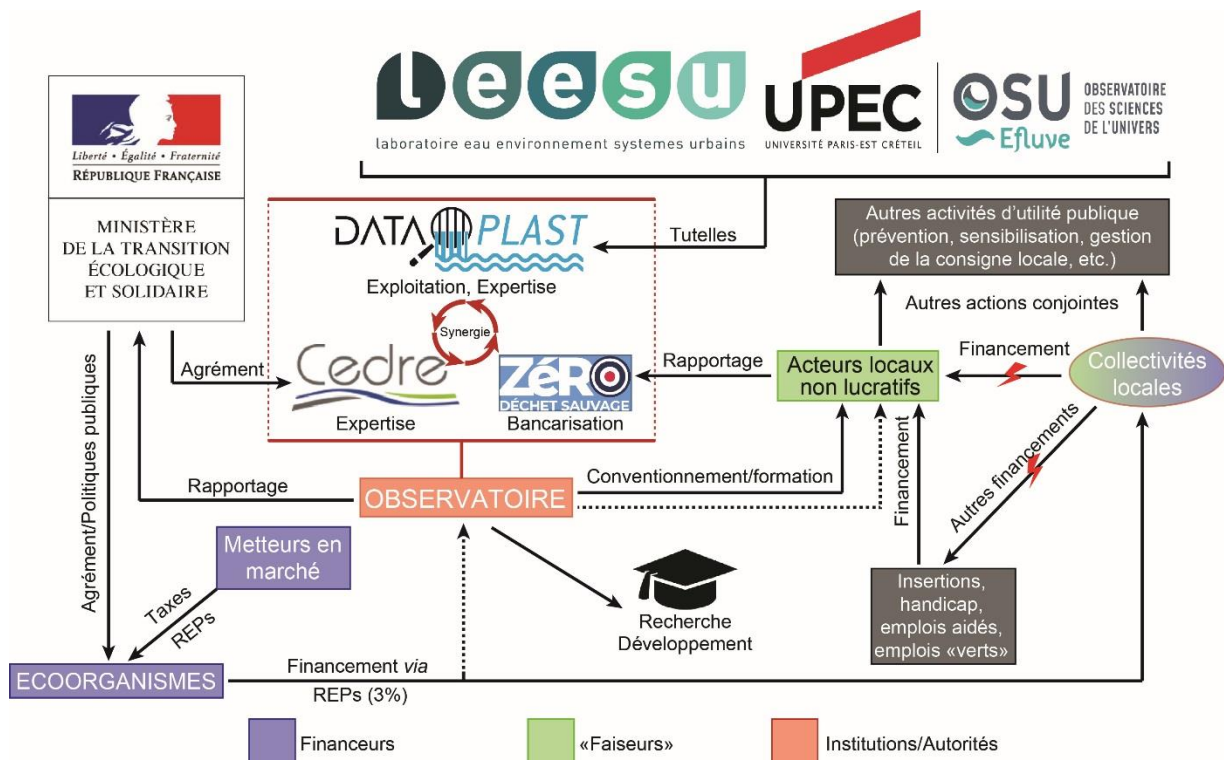


Figure 21 : Modèle économique soutenant la mise en place des indicateurs de manière pérenne et professionnelle. Le financement via les filières REPs est plébiscité, à hauteur de 3% du budget total. Le fléchage par l'intermédiaire des collectivités est cependant soumis à risque pour la pérennité des indicateurs car les REPs sont constituées pour se substituer à l'impôt. Concrètement, ces financements supplémentaires auprès des collectivités sont faits pour se substituer aux budgets de collecte et de gestion des déchets. C'est pourquoi un fléchage intermédiaire du financement est proposé (tirets). Le LEESU est représenté par DataPLAST.

Une attention particulière est toutefois portée sur le fléchage du budget des REPs au travers des collectivités car ce fléchage expose la pérennité des indicateurs à un risque d'arrêt, voire de non-financement. La raison est simple. Il existe une relative contradiction entre l'objectif des REPs et leur principe. L'objectif affiché des filières REPs est, selon l'ADEME, « d'agir sur l'ensemble du cycle de vie des produits, de l'écoconception des produits à la gestion de leur fin de vie¹⁰. » Le financement des indicateurs peut entrer dans le cadre de la « gestion de fin de vie », considérant les déchets diffus comme en fin de vie par définition. Mais dans le même temps, l'Ademe précise qu'en principe les REPs « transfèrent tout ou partie des coûts de gestion des déchets vers les producteurs », d'après le slogan « pollueur-payeur ». Les coûts de gestion assurés par les collectivités sont donc financés non plus par l'impôt (le contribuable), mais par des taxes (le consommateur). Dans les faits, les financements issus des REPs représentent un budget de substitution aux budgets des collectivités alloués à la collecte et à la gestion des déchets. Les collectivités n'ont aucune obligation de financer les indicateurs avec les REPs. Au contraire, elles peuvent soit faire des économies, soit réallouer les budgets ailleurs. Par conséquent, il est proposé de **sanctuariser une partie du budget des REPs pour qu'il soit dédié à la surveillance des macrodéchets dans l'environnement**. Si cette sanctuarisation n'est pas possible par le biais des collectivités pour des raisons constitutionnelles (ingérence de l'Etat dans les collectivités territoriales), alors le budget alloué aux indicateurs peut être fléché directement à l'observatoire. C'est alors l'observatoire qui financera les acteurs locaux sur demande éventuelle des collectivités locales en fonction de critères scientifiques, environnementaux et éventuellement économiques et sociaux.

Boucher et Billard (2019) ont compilé les sources de micros et macroplastiques disponibles pour le littoral (i.e., Jambeck et al., 2015), les fleuves (i.e., Lebreton et al., 2017; Schmidt et al., 2017), les microplastiques primaires et les filets de pêche abandonnés. Sur cette base, ils estiment que les fuites de plastique dans l'environnement correspondent à 3% de la production mondiale. Puisque (i) les budgets des filières REPs sont répartis au prorata de la masse de déchets qu'elles concernent, et que (ii) 3% des déchets à l'échelle globale fuiraient dans l'environnement, alors il semble raisonnable de proposer d'allouer 3% du budget total des REPs à la surveillance des macrodéchets dans l'environnement.

L'autre écueil à surmonter est la prolifération des REPs et des écoorganismes correspondants à chaque filière (Figure 22). Chaque écoorganisme est indépendant et il n'y a pas ou très peu de coordination entre les différents organismes. Ce manque de coordination pose problème pour les financements, car il s'agit de savoir qui finance quoi et à quelle hauteur. Instaurer la règle des 3% résout en parti ce problème car chaque écoorganisme contribuera à proportion égale. Les écoorganismes les plus riches, notamment CITEO, contribueront donc plus que les autres. Par ailleurs, on peut imaginer que la contribution de chaque écoorganisme soit modulable en fonction de son empreinte environnementale et de l'évolution de celle-ci dans le temps. Mais il n'est pas certain que les indicateurs proposés permettent d'identifier ces évolutions sur la base de critères comparables. Par exemple, les dépôts sauvages concentrés liés au BTP ont assez peu de chance d'être bien caractérisés au travers des indicateurs proposés conduisant à leur sous-représentation par rapport aux autres déchets, notamment ceux liés au

¹⁰<https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/elements-contexte/filieres-a-responsabilite-elargie-producteurs-rep>

tabac ou à la consommation nomade. Quoiqu'il en soit, le développement des REPs est tautologiquement signe de l'extension de la responsabilité des producteurs de biens... Il concoure donc à augmenter les financements disponibles destinées à améliorer la collecte, la gestion et à l'avenir la prévention et la surveillance des déchets diffus dans l'environnement.

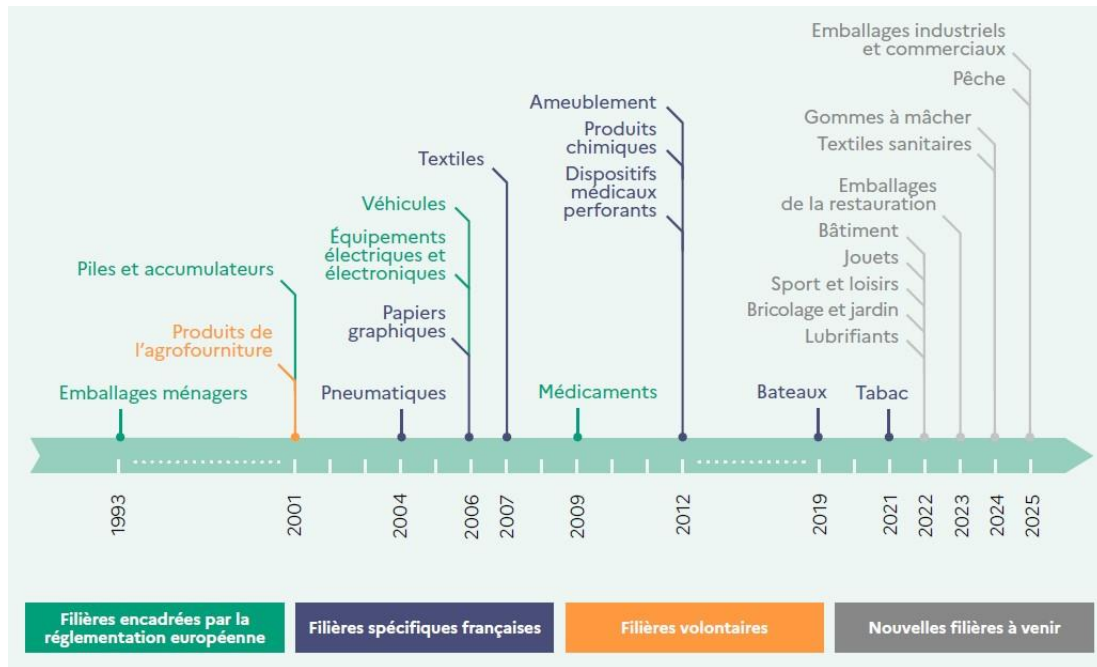


Figure 22 : Date de mise en œuvre opérationnelle des différentes filières REP passées et futures. Source : ADEME⁹.

AXE 2 : FLUX DE MACRODECHETS ISSUS DES EAUX URBAINES

Il s'agit de quantifier et caractériser les flux de macrodéchets issus des eaux urbaines au regard des flux estimés dans le milieu (projet MacroPLAST). En rivière, les macrodéchets sont largement dominés par les plastiques. Les flux de macroplastiques estimés sont de l'ordre de 1 à 10 g/hab/an. PLASTOC s'inscrit dans une continuité cohérente de MacroPLAST, avec une remontée de la mer à la rivière, de la rivière aux eaux urbaines qui s'y déversent. Les eaux urbaines charrient des macrodéchets à travers les réseaux qui sont susceptibles d'être directement rejetées dans le milieu aquatique par temps de pluie.

L'étude vise à (i) préciser les ordres de grandeur des flux sur différents types de réseaux, suite à une étude théorique sur ces flux effectuée par le CEREMA (Rognard et Finck, 2020), et (ii) tester la faisabilité de l'indicateur ville/réseau développé dans l'AXE 1 (cf. 2.2.2).

1. Etat de l'art

Très peu d'études se sont jusqu'à présent penchées sur les flux de macrodéchets issus des eaux urbaines, surtout en ce qui concerne les eaux pluviales. Dans les pays développés, les réseaux d'assainissement sont complexes et sont dits unitaires, séparatifs ou mixtes (**Figure 23**). L'assainissement a d'abord émergé sous la forme du « tout à l'égout », c'est-à-dire unitaire, dans une approche hygiéniste. Il fallait évacuer les excréta loin des villes pour éviter les désagréments dans l'espace urbain : odeurs et maladies. Ici, eaux usées et eaux pluviales cohabitent au sein d'une grande canalisation commune, avant d'être rejetées dans le milieu loin des centres urbains.

Ces eaux souillées ont par la suite été collectées et traitées au sein de stations d'épuration de plus en plus complexes, afin de limiter la pollution rejetée dans le milieu naturel *via* les effluents. Les eaux pluviales, d'abord utiles pour lessiver le réseau unitaire et diluer la pollution rejetée dans le milieu, sont alors devenues des volumes d'eau superflus à traiter par temps de pluie. Pire, les eaux pluviales participent à la montée en charge du réseau unitaire nécessitant des surverses au sein du réseau ou en entrée de station afin de préserver les infrastructures. Ces délestages s'opèrent *via* des déversoirs d'orage (DO). Les eaux rejetées ne sont donc pas traitées. Les réseaux dits séparatifs se sont développés dans la seconde moitié du XXe siècle, afin de limiter les rejets d'eau usée dans le milieu. Ici, les eaux usées et les eaux pluviales sont séparées dans des canalisations distinctes. Aujourd'hui, les eaux pluviales sont rejetées directement dans le milieu sans traitement (la plupart du temps), ni surveillance, alors que les eaux usées sont acheminées à la station d'épuration et font l'objet d'une auto-surveillance sous contrôle des agences de l'eau (réglementaire). Les eaux pluviales, ainsi que les eaux usées par temps de pluie sont par ailleurs susceptibles de transférer des macrodéchets des réseaux vers le milieu (Rognard et Finck, 2020).

Une étude en Israël s'est attachée à caractériser les macrodéchets dans les avaloirs d'une ville côtière juste avant une grosse pluie (Pasternak et al., 2021). Puis les macrodéchets retrouvés sur la plage à la sortie de l'exutoire du réseau d'eau pluvial ont été caractérisés après la pluie. Dans les avaloirs où près de 2 600 déchets ont été collectés, les mégots, les sacs en plastique, les papiers cartons et les plastiques à usage unique étaient, par ordre décroissant, les types de

déchets les plus fréquents (~95% du total). Sur la plage, à l'exutoire du réseau d'eau pluvial, près de 2 100 déchets ont été collectés. Par ordre décroissant, les plastiques à usage unique, les sacs plastiques et les mégots représentaient ~75% des macrodéchets totaux. Les fragments de polystyrène (10% des déchets totaux) étaient présents sur la plage, mais pas dans les avaloirs. Le fait de retrouver des macrodéchets sur la plage en sortie de réseau après une pluie est pour les auteurs une preuve suffisante que ces réseaux contribuent à la pollution marine, bien que leur composition soit différente. Ils expliquent cette différence par le type de matériel composant les déchets. Par exemple, il y a moins de mégots sur la plage que dans les avaloirs car les mégots sont probablement facilement transportés en mer et perdus. Il y a moins de papiers cartons sur la plage que dans les avaloirs, car le papier se désintègre rapidement dans l'eau durant leur transport. Enfin, les polystyrènes proviendraient d'autres réseaux dont les avaloirs n'ont pas été analysés. **Ces différences de compositions appuient d'ailleurs la nécessité de surveiller différents compartiments comme proposé dans l'axe 1.** Quoi qu'il en soit, les plastiques à usage unique, les sacs plastiques et les mégots, majoritaires dans l'ensemble de l'étude sont également les déchets les plus fréquents sur les côtes israéliennes, illustrant bien le continuum terre-mer *via* les avaloirs, les réseaux et le littoral.

Plusieurs études sur les macrodéchets dans les eaux urbaines ont été menées en Afrique du Sud depuis la fin des années 90. Armitage et Rooseboom (2000) ont par exemple estimé sur plusieurs bassins d'Afrique du Sud des flux de macrodéchets transitant dans les eaux pluviales compris entre 50 et 100 kg/ha/an, en ordres de grandeur, dont 60% de plastique. Ces flux ont été estimés sur la base de différents dispositifs de rétention et en considérant une masse volumique de 95 kg de déchet anthropique par mètre cube de matières captées par les dispositifs. Ces tentatives d'estimations de flux sont néanmoins grossières et partielles.

A Cape Town, Weideman et al. (2020a) ont estimé et caractérisé des flux de macrodéchets dans les eaux urbaines en fonction du type d'occupation des sols sur différents bassins de quelques hectares (< 10 ha) : résidentiel, commercial/résidentiel ou industriel. C'est l'étude la plus détaillée à l'international sur le sujet. L'échantillonnage a consisté à intercepter les macrodéchets à l'exutoire des réseaux d'eau pluviaux grâce à des filets anti-macrodéchets durant des épisodes pluvieux ciblés. Des échantillons ont été prélevés sur 7 événements pluvieux couvrant 17 jours en 2018-2019. Les résultats sont exprimés en nombre ou en masse par hectare (surface totale du bassin) par jour de pluie avec les flux les plus importants dans la zone industrielle (576 déchets/ha/jour ou 377 g/ha/jour), puis dans la zone commerciale/résidentielle (203 déchets/ha/jour ou 115 g/ha/jour) et enfin dans la zone résidentielle (5 déchets/ha/jour ou 2,4 g/ha/jour), dont ~60% de plastique en masse. Comparés à une étude similaire en 1996, les flux ont globalement diminué de 20% en nombre, mais ont été multipliés par trois au sein de la zone commerciale (par deux en masse). Les flux massiques récents ont été extrapolés à l'année sur la base du nombre moyen d'événements pluvieux > 5 mm ou sur la base du nombre de jours de pluie > 5 mm. Les flux obtenus sont de 9–20 kg/ha/an pour la zone industrielle, 3–6 kg/ha/an pour la zone commerciale/résidentielle et 0,05–0,13 kg/ha/an pour la zone résidentielle. Ces flux sont donc bien inférieurs à ceux estimés dans les années 2000 par Armitage and Rooseboom (2000).

Sur la base des flux annuels estimés par type de sol, Weideman et al. (2020a) ont pu calculer des flux annuels à l'échelle de Cape town et les comparer aux modèles globaux, notamment celui de Jambeck et al. (2015). A l'échelle de la ville, le modèle de Jambeck prévoit des flux de plastiques vers le milieu de 23 000–63 000 tonnes/an alors que l'analyse des eaux urbaines, au

travers différentes approches d'extrapolation des flux, estiment les flux de plastiques entre 60 et 570 t/an. Comme toutes les études de terrain à notre connaissance, les flux estimés sont inférieurs d'un à deux ordres de grandeur aux flux modélisés par Jambeck (Tramoy et al., 2019b, 2021; Van Emmerik et al., 2019; Schöneich-Argent et al., 2020; Vriend et al., 2020b). **Cape Town comptant environ 4,5 millions d'habitants, l'ordre de grandeur du flux annuel de macroplastique par habitant issu des eaux pluviales serait de 10 à 100 g/hab/an en ordre de grandeur.**

En France, deux études se sont penchées sur les macrodéchets issus des eaux urbaines :

- Une **étude théorique** sur toute la France élaborée par le CEREMA (Rognard and Finck, 2020). Cette étude repose principalement sur des rapports d'auto-surveillance des stations d'épuration et des hypothèses concernant la composition des matières rejetées. Elle fait donc principalement référence aux **eaux usées**.
- Une **étude de terrain sur les eaux pluviales strictes** du bassin de Sucy-en-Brie (Treilles et al., 2021). Cette étude repose sur les matières dégrillées au sein d'une station de dépollution dédiée aux eaux pluviales.

L'étude liée au projet PLASTOC est une étude de terrain sur les deux types de réseaux explorés par le CEREMA et Treilles et al. (2021).

Dans le détail, l'étude du CEREMA estime des flux de macrodéchets rejetés grâce aux rapports d'auto-surveillance renseignant (i) les matières dégrillées dans les stations d'épuration, (ii) les volumes d'effluents traités et (iii) les volumes d'effluents rejetés sans traitement par les DO à la fois au sein du réseau et en entrée de station. L'étude du CEREMA estime les flux de macrodéchets totaux générés par les réseaux d'assainissement unitaires compris entre 40 et 108 g/hab/an, dont seulement 3% de plastique et près de 90% de textiles sanitaires. Ces proportions viennent de la thèse de Le Hyaric (2009) qui s'est attaché à caractériser les macrodéchets dégrillés en entrées de station d'épuration. Il n'y a pas d'étude actualisée sur ce sujet. Considérant ces 3% de plastique, les flux de macroplastiques issus des rejets de temps de pluie par les réseaux d'eaux usées seraient compris entre 1,2 et 3,2 g/hab/an. En incluant les textiles sanitaires dans les plastiques, alors la proportion de plastique atteint 89% en moyenne dans les macrodéchets dégrillés, ce qui donne des flux de macroplastiques compris entre 35,6 et 96,1 g/hab/an. En ordre de grandeur, les flux de macroplastiques issus des réseaux d'assainissement seraient donc compris entre **1 et 100 g/hab/an**, dont plus de 80% seraient composés de textiles sanitaires.

Du fait de l'absence de données sur les rejets liés aux réseaux pluviaux strictes dans le rapport du CEREMA, les estimations de flux de macrodéchets liés à l'assainissement ne tiennent pas compte de leur contribution. Treilles et al. (2021) ont caractérisé les macrodéchets dégrillés au sein d'une station de dépollution des eaux pluviales à Sucy en Brie. Les macrodéchets les plus communs sont tout à fait caractéristiques des eaux pluviales avec des plastiques souples (sacs, emballages), des mégots, des fragments plastiques non identifiés ou des gobelets. La présence d'applicateurs de tampon et de pansements est en revanche assez inhabituels dans les eaux pluviales et témoignent respectivement de mauvais branchements et d'une influence locale particulière. Les plastiques représentent 62% des macrodéchets en nombre et 53% en masse. La concentration de plastique est comprise entre **7 et 134 mg/m³ dans les eaux pluviales**. C'est une donnée particulièrement rare et donc précieuse. Enfin, les flux de macroplastique à l'échelle du bassin sont estimés à 0,1–0,5 kg/ha/an ou **5–19 g/hab/an**. Les flux sont également reportés

par unité de surface imperméable, i.e. 0,4–1,7 kg/ha/an. La surface imperméable représente 27% de la surface totale du bassin. Les flux à l'échelle du bassin sont donc de l'ordre de **100 à 500 g/ha/an**, similaires à ceux estimés dans la zone résidentielle à Cape Town. Par ailleurs, les flux par habitant sont du même ordre de grandeur que ceux estimés dans les milieux (10 g/hab/an), suggérant que les réseaux séparatifs, *via* le pluvial, contribueraient plus aux flux que les réseaux unitaires (**Figure 23**). Les flux estimés dans le pluvial tombent effectivement dans la gamme large des flux de plastiques estimés par le CEREMA, mais que si l'on considère les lingettes dans les plastiques.

Cependant, Sucy-en-Brie ne représente qu'un seul site d'étude de terrain et l'étude du CEREMA est théorique à une large échelle spatiale. Il est donc nécessaire d'approfondir les connaissances sur les flux de macroplastiques issus des réseaux d'eau pluviaux stricts dans des contextes variés. Il s'agit là d'étendre l'étude de Treilles et al. (2021) et de préciser les ordres de grandeurs du CEREMA.

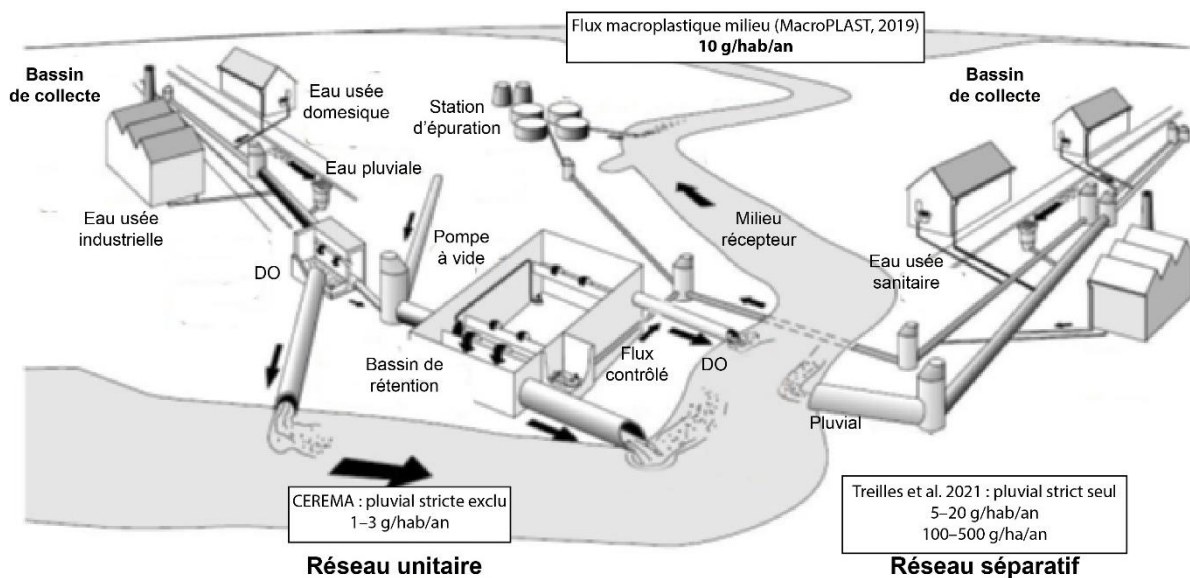


Figure 23 : Flux annuels de macroplastiques issus des réseaux d'assainissement unitaires et séparatifs. Les flux du CEREMA concernent l'ensemble des réseaux à l'exclusion des réseaux d'eau pluviale strictes dont les données sont issues d'un bassin résidentiel à Sucy-en-Brie (Treilles et al., 2021). Illustrations d'après Bromback et al. (2005), in Brennan et al. (2019).

2. Méthodologie

Compte tenu du caractère relativement nouveau de l'objet d'étude, il a fallu d'abord trouver des sites d'études propices, puis développer une méthodologie efficace et fiable pour répondre aux attentes. Tous les aspects ont dû être développés de front dans un temps très limité à cause de la pandémie de COVID-19 qui a engendré 4 mois de confinement, mais une perturbation sur l'ensemble du projet. Malgré ces obstacles, plusieurs bassins ont été suivis au cours du projet PLASTOC et une méthodologie adéquate a été développée.

Les sites d'étude sont listés dans le **Tableau 3**. Leur sélection dépend d'abord des opportunités permises par la mobilisation d'un large réseau d'acteurs par l'intermédiaire de Pollustock[®], l'entreprise prestataire qui installe les filets pour le compte des collectivités. Ensuite, nous avons sélectionné les sites proches géographiquement pour faciliter les relations avec les gestionnaires. Enfin, les sites ont été choisis en fonction du type de réseau et d'occupation des sols afin de couvrir des situations contrastées.

Tableau 3 : Sites d'études et leurs caractéristiques principales

Site	Réseau	Population concernée*	Surface bassin (ha)	Densité (hab/km ²)	Nombre éch.
Goussainville (95)	Pluvial	15500-31000	270	5741-11481	8
Malaunay Z1 (Métropole Rouen)	Pluvial	500	8,2	6098	3
Malaunay Z2 (Métropole Rouen)	Mixte	1300	23,6	5508	4
Grenoble	Unitaire (DO)	16500	165-280**	10000-5893	2

*Source : INSEE 2019

**Varie selon le type de pluie (Com. Pers. Métropole Alpes Grenoble)

Les résultats seront présentés et discutés site par site avec une présentation en amont de chaque bassin, ainsi que de leurs spécificités. L'échantillonnage a été opéré partout de la même manière dans les grandes lignes avec quelques spécificités en fonction des capacités de chaque collectivité et des moyens disponibles.

2.1. Echantillonnage des macrodéchets issus des eaux urbaines

Pour l'ensemble des sites étudiés, le principe est le même. Un filet anti-macrodéchet est placé à l'exutoire du réseau d'assainissement ciblé. Tous les filets ont été dimensionnés et installés par la société Pollustock[®]. La plupart ont des mailles de 30 mm × 30 mm, sauf exception. Leur taille varie en fonction de l'exutoire à équiper. Chaque exutoire est soit équipé d'un trop-plein, soit recouvert aux 2/3 par le filet (**Photo 1**). Ces dispositions servent à prévenir la montée en charge du réseau et les inondations résultantes à l'amont, liées au colmatage du filet lors d'évènements pluvieux importants.



Photo 1 : Filet anti-macrodéchets installé à Malaunay par Pollustock en 2021. Un trop-plein a été installé pour permettre une éventuelle surverse et prévenir la montée en charge du réseau.

38 Lorsque le filet est rempli de
39 macrodéchets charriés par le réseau,
40 celui-ci est levé à l'aide d'un camion
41 grue (**Photo 2A**) et son contenu est vidé
42 dans un camion benne (**Photo 2B**) ou
43 dans une cuve. Une fois vidé, le filet est
44 tout de suite remis en place. Puis, la
45 totalité du contenu ou un échantillon de
46 plusieurs dizaines de kilogrammes est
47 mis dans une caisse pour être analysé
48 (tri et caractérisation des macrodéchets
49 >5 mm). L'échantillon est prélevé de
50 manière aléatoire. En parallèle, un sous-
51 échantillon de $1 \text{ kg} \pm 500 \text{ g}$ est prélevé
52 dans un sac étanche afin de mesurer la
53 teneur en eau des matières contenues
54 dans le filet et d'obtenir des masses
55 sèches.

56 La masse humide des matières totales
57 est soit mesurée sur place lors du levé à
58 l'aide d'un peson électronique¹¹, soit
59 déduite du bon de mise en décharge
60 (masse du camion à l'entrée moins
61 masse du camion à la sortie). Les
62 matières humides totales, l'échantillon,
63 ainsi que le sous-échantillon sont donc
64 toujours pesées humides quasiment en
65 même temps. De cette manière, la
66 proportion de matière échantillonnée est
67 toujours connue. Cette mesure est
68 indispensable à l'extrapolation des
69 résultats à l'ensemble du contenu d'un
70 filet. Les proportions échantillonnées
71 varient de 1 à 100% en fonction des
72 possibilités d'échantillonnage sur place.
73 Par exemple, la régie publique de
74 l'assainissement de la Métropole Rouen
75 Normandie a permis d'échantillonner
76 100% des filets grâce à l'aide de ses
77 agents et du matériel mis à disposition
78 sur place. Ce qui ne fut pas le cas à
79 Goussainville où le levage était délégué
80 à une société privée.



Photo 2 : A, Levé du filet de Goussainville à l'aide d'une grue sur camion. B, Matières collectées vidées dans un camion benne et pesées lors de la mise en décharge. 2021.

¹¹Peson électronique digital de type balance industrielle avec crochet pour une charge maximum de 10 t et une précision à $\pm 5 \text{ kg}$.

2.2. Caractérisation des macrodéchets issus des eaux urbaines

Les matières collectées à caractériser sont d'abord triées sur un grand tamis de 5 mm de maille avec un jet d'eau continu afin de séparer les macrodéchets anthropiques des matières organiques et des sédiments (cailloux, sables, voire argiles). Matières organiques et sédiments sont éliminés pour se focaliser uniquement sur les macrodéchets anthropiques. Une fois lavés à l'eau claire, ces macrodéchets sont mis à sécher à l'air ou à l'étuve pour les déchets les plus humides. Lorsque les déchets sont secs, ils sont triés et comptés en fonction de la classification OSPAR/DCSMM (cf. encadré dans le 2.3.3) avant d'être pesés par catégorie (**Photo 3**).

Dans le cadre de l'Axe 2 de PLASTOC, c'est bien la liste « G-code » de la classification OSPAR/DCSMM qui a été utilisée car la J-List n'était pas encore disponible.



Photo 3 : Macrodéchets triés disposés dans des bacs avant d'être comptés et pesés par catégorie

2.3. Estimation qualitative des flux

Pour chaque échantillon, les proportions de matériaux en nombre et en masse sont calculées. Il s'agit des proportions de plastique, caoutchouc, vêtement/textile, papier/carton, bois usiné/travaillé, métal, verre/céramique, autres/divers. Les matériaux regroupant plusieurs catégories de déchets, des TOP 10 de catégories de déchets sont ensuite établis en nombre et en masse. En général, ces TOP 10 représentent environ 80% de l'ensemble des macrodéchets et donnent donc une bonne appréciation qualitative des flux.

Ce sont ces estimations qualitatives qui permettent de déterminer les catégories de déchets qui pourront faire l'objet de politiques publiques dédiées à l'avenir. Elles permettent par ailleurs d'identifier les types de réseaux, mais aussi des spécificités locales liées aux activités humaines.

2.4. Estimation quantitative des flux

La quantité de macrodéchets en nombre et en masse par unité de temps permet de calculer des flux numériques ou massiques. Dans le cadre de l'AXE 2, les flux massiques sont privilégiés et particulièrement les flux de plastiques. Ces flux sont extrapolés à l'année par une simple règle de trois et ramenés à l'habitant (g/hab/an) ou à la surface du bassin (g/ha/an) concerné par le réseau étudié.

3. Goussainville – Réseau d'eau pluvial strict

3.1. Périmètre de l'étude

Goussainville (95) est située à environ 20 km au nord de Paris et compte environ 31 000 habitants selon l'INSEE¹². C'est une population plus jeune comparée à la moyenne nationale avec 65% de moins de 44 ans à Goussainville contre 54% à l'échelle nationale¹³.

Le système d'assainissement de Goussainville est un système séparatif. Un filet anti-macrodéchets de 30 mm de maille a été placé en Janvier 2021 par Pollustock[®] sur un exutoire pluvial de 2 600 mm. Cet exutoire refoule les eaux de pluie dans un vallon aménagé jusqu'au ruisseau du Crould. La zone couverte par le réseau pluvial étudié regroupe la majorité du centre-ville et une partie des quartiers pavillonnaires du nord-est de la ville (**Figure 24**). La population concernée par l'étude est donc très probablement au-delà des 50% de la population totale. Une fourchette de population comprise entre 15 500 et 31 000 habitants sera donc considérée pour l'estimation des flux de macrodéchets par habitant (cf. **Tableau 3**).

¹²<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-95280>

¹³<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=FRANCE-1>

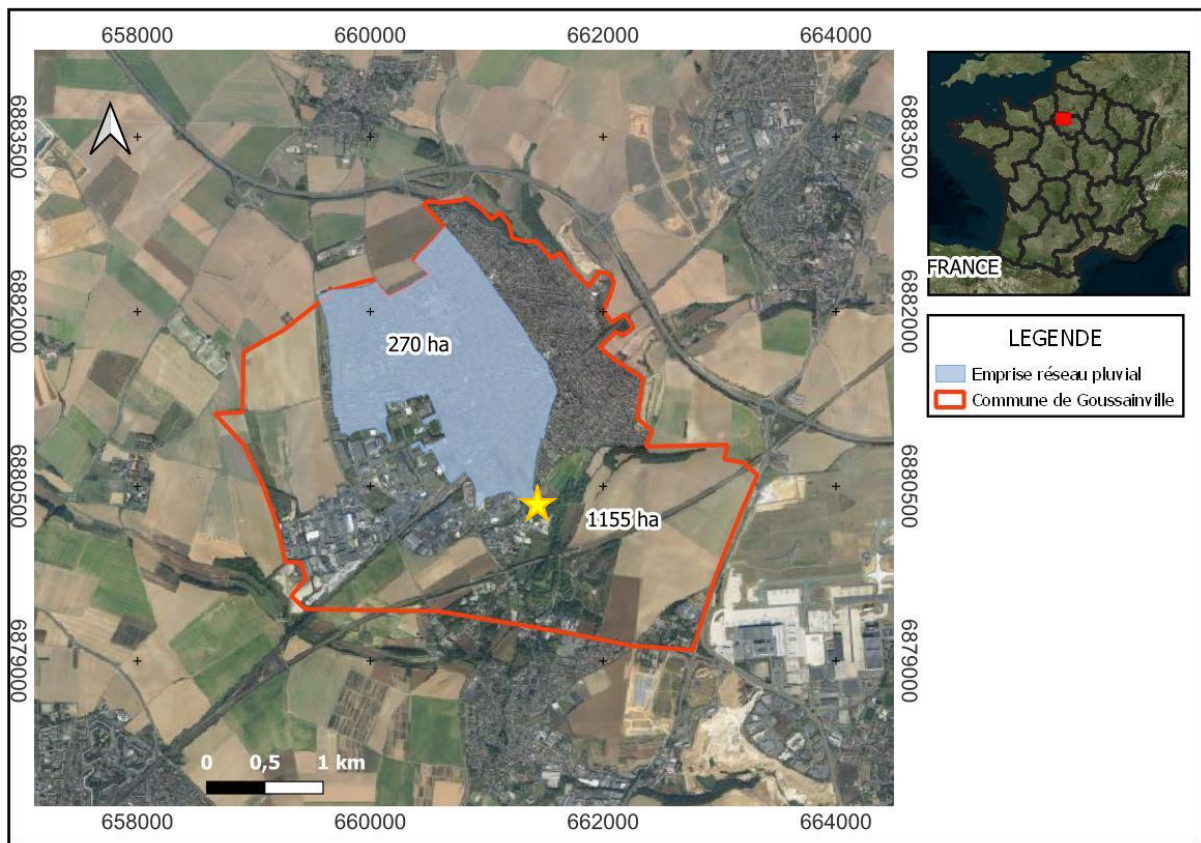


Figure 24 : Délimitation de la commune Goussainville et de l'emprise du réseau étudié avec son exutoire au sud-ouest (étoile jaune).

3.2. Spécificités du site d'étude

A Goussainville, une visite de terrain a montré que les **avaloirs sont majoritairement non dégrillés**, offrant peu d'obstacle au transfert de macrodéchets dans le réseau. Une partie du réseau est par ailleurs à ciel ouvert, avec probablement des dépôts sauvages. Les **systèmes de gargouilles pour canaliser les eaux pluviales des toitures** sont très répandus, ce qui augmente le ruissellement sur la voirie, en particulier au niveau du caniveau. Le SIAH Croult et Petit Rosne en la personne de Gaëlle Rabdon avait la charge de la gestion de ces filets et notamment de la demande de leur levage en faisant le lien avec le LEESU.

3.3. Echantillonnage et météorologie

Le filet a été posé par Pollustock[®] le 26 Janvier 2021 et 8 échantillons ont été prélevés en tout, dépendant du remplissage du filet et donc de la dynamique des pluies (**Figure 25**). Les échantillons prélevés couvrent une période de 276 jours comprenant toutes les saisons, avec toutefois une sous-représentation de la période automne-hiver par rapport à la période printemps-été. De 1 à 100% des matières humides contenues dans un filet a été échantillonné (**Tableau 4**). Les deux premiers échantillons ont été prélevés par Pollustock[®] et représentent 100% de la masse totale. Pour ces deux échantillons, les déchets n'ont été ni lavés, ni pesés par catégorie de déchet, ce qui empêche d'avoir une estimation de masse précise par catégorie. Ils ont cependant pesé les déchets par type de matériau. Par ailleurs, la caractérisation des déchets

n'a pas été aussi précise que pour les six échantillons suivants, bien qu'utilisant la même classification. En témoigne une majorité de fragments inconnus (dans lesquels ont en fait été introduits les films plastiques, majoritairement composant les catégories liées aux emballages).

Les échantillons suivants ont été prélevés et envoyés dans des caisses de 1 m³ au LEESU par une société tierce. Le premier de ces prélèvements a été supervisé par le LEESU, mais pas les suivants. Or, les salariés chargés de ces prélèvements n'étaient pas toujours les mêmes, ce qui a posé des problèmes de cohérence de l'échantillonnage. Les quantités prélevées ont été très variables et certains échantillons ont nécessité un ré-échantillonnage au LEESU pour aboutir au final à une fraction échantillonnée comprise entre 1% et 9% du total de la masse totale.

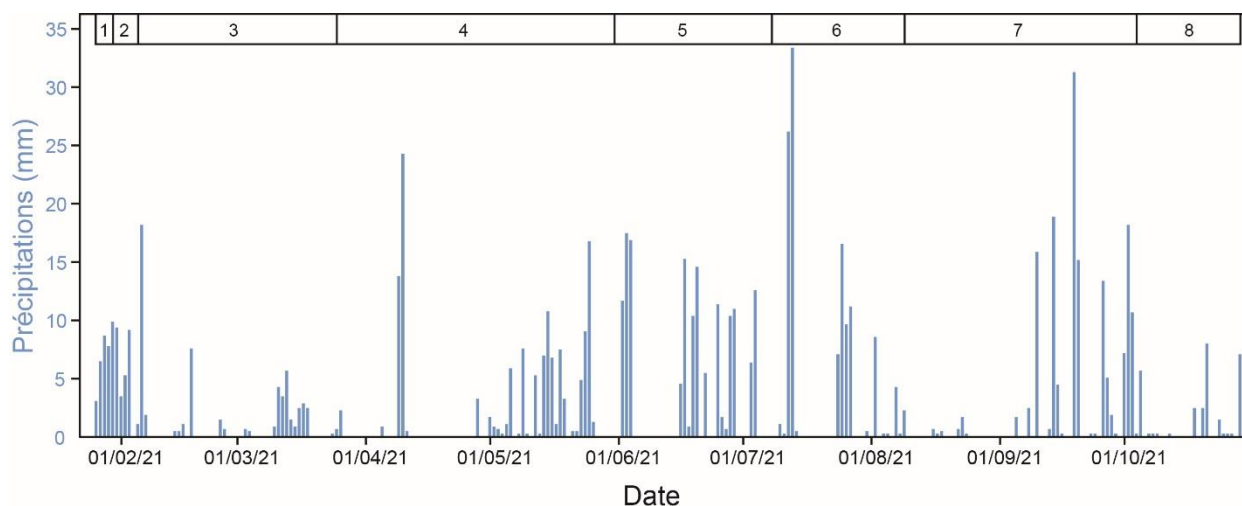


Figure 25 : Périodes de remplissage du filet à Goussainville en fonction des précipitations journalières (bleu).
Source : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2021/roissy-charles-de-gaulle/valeurs/07157.html>

Tableau 4 : Prélèvements sur le site de Goussainville.

N°	Prélèvement (2021)	Accumulation filet (2021)		Durée (j)	Masse totale (kg)		Fraction échantillonnée (%)	Taux H ₂ O (%)
		Début	Fin		humide	sec		
1	Pollustock®	26/01	30/01	4	NA	NA	100%	NA
2	Pollustock®	30/01	05/02	6	NA	NA	100%	NA
3	25/03	05/02	25/03	48	1328	544	9%	59
4	31/05	25/03	31/05	67	1442	594	3%	59
5	08/07	31/05	08/07	38	2034	1068	3%	48
6	09/08	08/07	09/08	32	2173	1520	1%	30
7	04/10	09/08	04/10	56	1345	1153	3%	14
8	29/10	04/10	29/10	25	1873	457	1%	76

En résumé, les flux estimés sont basés sur l'ensemble des échantillons, y compris ceux de Pollustock®, car les masses par type de matériau suffisent. Le TOP 10 en nombre est également basés sur tous les échantillons. En revanche, les masses par catégorie de déchet n'étant pas disponibles pour les deux premiers échantillons, le TOP 10 en masse ne repose que sur les six échantillons suivants.

3.4. Résultats

Plus de 10 tonnes de matières humides ont été collectées par le filet. Ramené à l'année, cela revient à 14 tonnes de matières humides, avec un taux d'humidité compris entre 14% (printemps-été avec des sables) et 76% (automne-hiver avec des feuilles). La proportion de macrodéchets anthropiques par rapport à la masse totale des matières est comprise entre 3 et 6% (en masses sèches). Le plastique (43%), le verre (29%) et le métal (16%) sont les principaux types de matière en masse (**Figure 26**). Des évolutions saisonnières sont observées dans la distribution des types de matériaux collectés avec une prédominance du verre durant la saison estivale et du plastique le reste du temps (

Figure 27). Ces évolutions sont probablement liées à la surconsommation de boissons à l'extérieur à la belle saison.

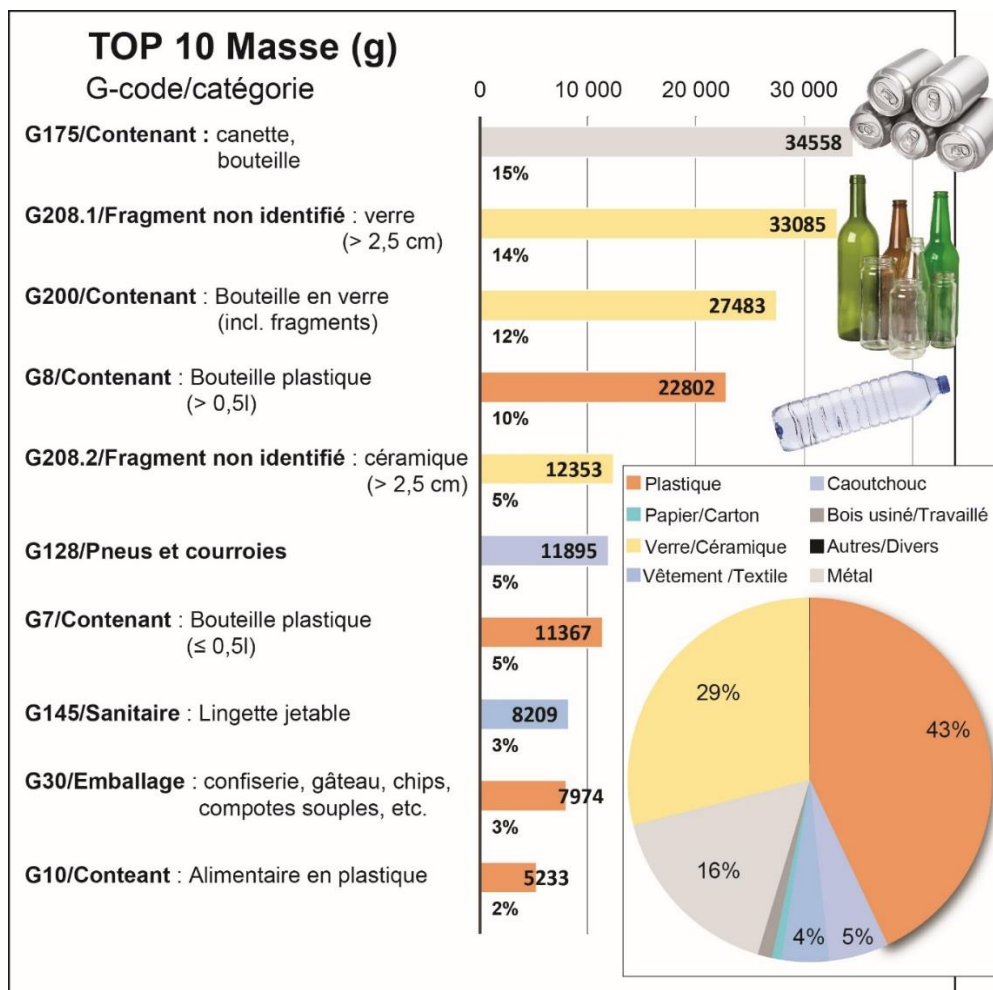


Figure 26 : Top 10 (masse) des catégories de déchets à Goussainville (janvier-octobre 2021), extrapolés à l'ensemble des matières collectées. La distribution des matériaux (masse) est indiquée en bas à droite.

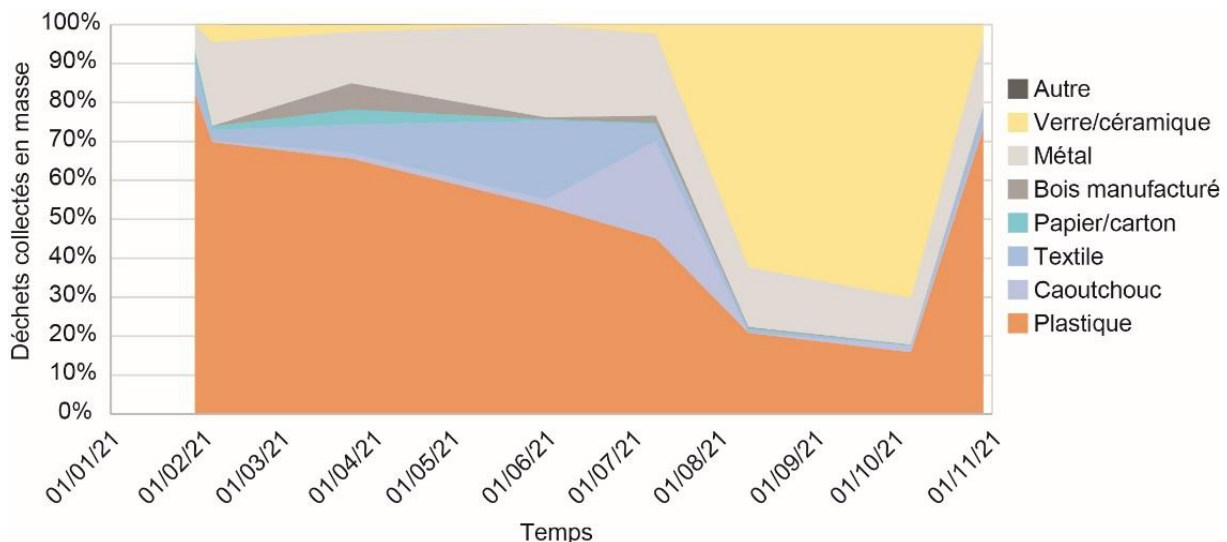


Figure 27 : Distribution des types de matériaux en pourcentages de la masse dans les macrodéchets anthropiques de Goussainville

Les contenants en métal type canettes aluminium arrivent en tête (15%) du TOP 10 des déchets en masse (**Figure 26**). Ils font jeu égal avec les bouteilles en plastique (15% en regroupant les grandes et les petites). Suivent les fragments et bouteilles en verre (14% et 12%, respectivement). Les emballages alimentaires hors boissons représentent seulement 5% de la masse (3% d’emballages souples et 2% de contenants durs). Ils représentent en revanche plus de 11% des macrodéchets en nombre. Les lingettes jetables sont non négligeables (3% de la masse) malgré le fait que le réseau étudié soit exclusivement réservé aux eaux pluviales. Ces lingettes sont alors issues soit de mauvais branchements, soit de rejets directs dans le caniveau (obs. pers.). Ces rejets peuvent être volontaires ou involontaires, i.e., des fuites de poubelle. En regroupant les canettes, les bouteilles en verre (incluant les fragments) et en plastique en tant qu’objets consignables, **ce sont plus de 50% des macrodéchets (en masse) qui pourraient être évités si une consigne nationale était rétablie**. En plus de prévenir des fuites délétères vers l’environnement, cela éviterait à de précieuses ressources (notamment les métaux) d’être perdues.

A noter que les **déchets issus du tabac (principalement mégots : 11% et blisters : 7%) sont les déchets majoritaires en nombre** devant les fragments de verre, **malgré une maille de filet de 30*30 mm**. Cela illustre la forte capacité de rétention des filets liée au colmatage avec notamment des débris organiques ou d’autres déchets plastiques.

Le flux annuel de macrodéchets est estimé à plus de 250 000 (350 kg) macrodéchets par an, dont 150 000 (150 kg) macroplastiques. Les ordres de grandeur des flux sont présentés dans le **Tableau 5**. Les flux de macroplastiques par habitant (5–10 g/hab/an) sont cohérents avec les flux estimés par (Treilles et al., 2021) compris entre 5 et 20 g/hab/an. Cependant, les flux de macroplastiques par hectare à Goussainville sont un ordre de grandeur au-dessus de ceux estimés à Sucy par les mêmes auteurs. Ceci peut s’expliquer d’une part par des différences de nettoyage en surface et d’autre part par une densité de population plus élevée sur le site de Goussainville (jusqu’à 10 000 hab/km²) que celui de Sucy-en-Brie (2 500 hab/km²).

Au regard de l’investissement pour installer le filet et sa maintenance (30 k€), les coûts estimés à la tonne de macrodéchets sont de l’ordre de 40–80 k€ la tonne, plus du double si l’on considère

uniquement les plastiques. Même si l'investissement de départ s'amortit au fil du temps, le levage du filet et la gestion des déchets par un prestataire reste très chère.

Tableau 5 : Ordre de grandeur des flux de macrodéchets et de plastiques à Goussainville rapportés à une année.

	Flux par habitant	Flux par hectare	Coût indicatif
Matières sèches	0,2 à 0,5 kg/hab/an	30 kg/ha/an	4 k€/tonne
Macrodéchets	10 à 20 g/hab/an	1 kg/ha/an	40 à 80 k€/tonne
Plastiques	5 à 10 g/hab/an	0,5 kg/ha/an	100 à 200 k€/tonne

4. Malaunay (Métropole Rouen Normandie) – Réseau d'eau pluvial strict et mixte

4.1. Périmètre de l'étude

Malaunay (76) est située à environ 10 km au nord de Rouen et compte 6 000 habitants selon l'INSEE¹⁴. La structuration de la population par tranche d'âge ou par catégorie socio-professionnelle est similaire à la moyenne nationale, excepté pour la proportion de retraité (28% à Malaunay contre 12% à l'échelle nationale). Par ailleurs, la commune est traversée par la route de Dieppe, très empruntée pour aller en direction de Rouen. Selon l'INSEE, la commune compte 2,4 habitants par ménage. Cette base sera utilisée pour estimer la population présente dans chacun des deux sites étudiés.

Le système d'assainissement à Malaunay est mixte et trois filets ont été installés sur deux zones distinctes (**Figure 28**), mais seulement deux ont collecté des déchets : les filets du Parc Georges Pellerin et de la rue du Docteur Leroy dans la zone commerciale (zone 1), et le filet de la rue Georges Pellerin de la zone résidentielle (zone 2). Le filet du parc n'a jamais été sollicité car il est situé sur un exutoire de décharge du réseau d'eau pluvial strict de la zone 1. La zone 2, résidentielle, est quant à elle drainée par un réseau mixte avec deux déversoirs d'orage (DO) en amont de l'exutoire équipé du filet (**Photo 4**). A l'aval de ces exutoires, le réseau est séparatif. Les eaux usées peuvent donc se déverser dans le pluvial *via* les DO connectés. Cela peut être résumé ainsi : de l'eau pluviale avec plus ou moins de surverses unitaires.

Dans la zone 1, un filet anti-macrodéchets de 6*6 mm de maille a été placé en Novembre 2020 par Pollustock[®] sur l'exutoire pluvial de 600 mm de la rue du Docteur Leroy. Cet exutoire refoule les eaux de pluie dans le Cailly, un affluent de la Seine. La zone couverte par le réseau pluvial est caractérisée par de nombreux magasins de bouche au sein d'un bassin de collecte d'environ 8,2 ha (**Figure 29**). Cette zone est traversée par la route de Dieppe. La population y est relativement faible avec 158 maisons et 50 appartements. Sur la base du ratio habitants/foyer de l'INSEE, la population concernée par l'étude est estimée à environ 500 habitants dans cette zone (*cf.* **Tableau 3**).

Dans la zone 2, un filet anti-macrodéchets de 1,2*1,2 mm de maille a été placé en novembre 2020 par Pollustock[®] sur un exutoire pluvial de 800 mm. Mais après le premier échantillon, la maille a été élargie à 6*6 mm. Cet exutoire refoule les eaux de pluie et les eaux usées déversées dans le Cailly. La zone couverte par le réseau (~25 ha) est résidentielle (**Figure 30**). La population est plus élevée que dans la zone 1 avec 307 maisons et 242 appartements. Sur la

¹⁴<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-76402>

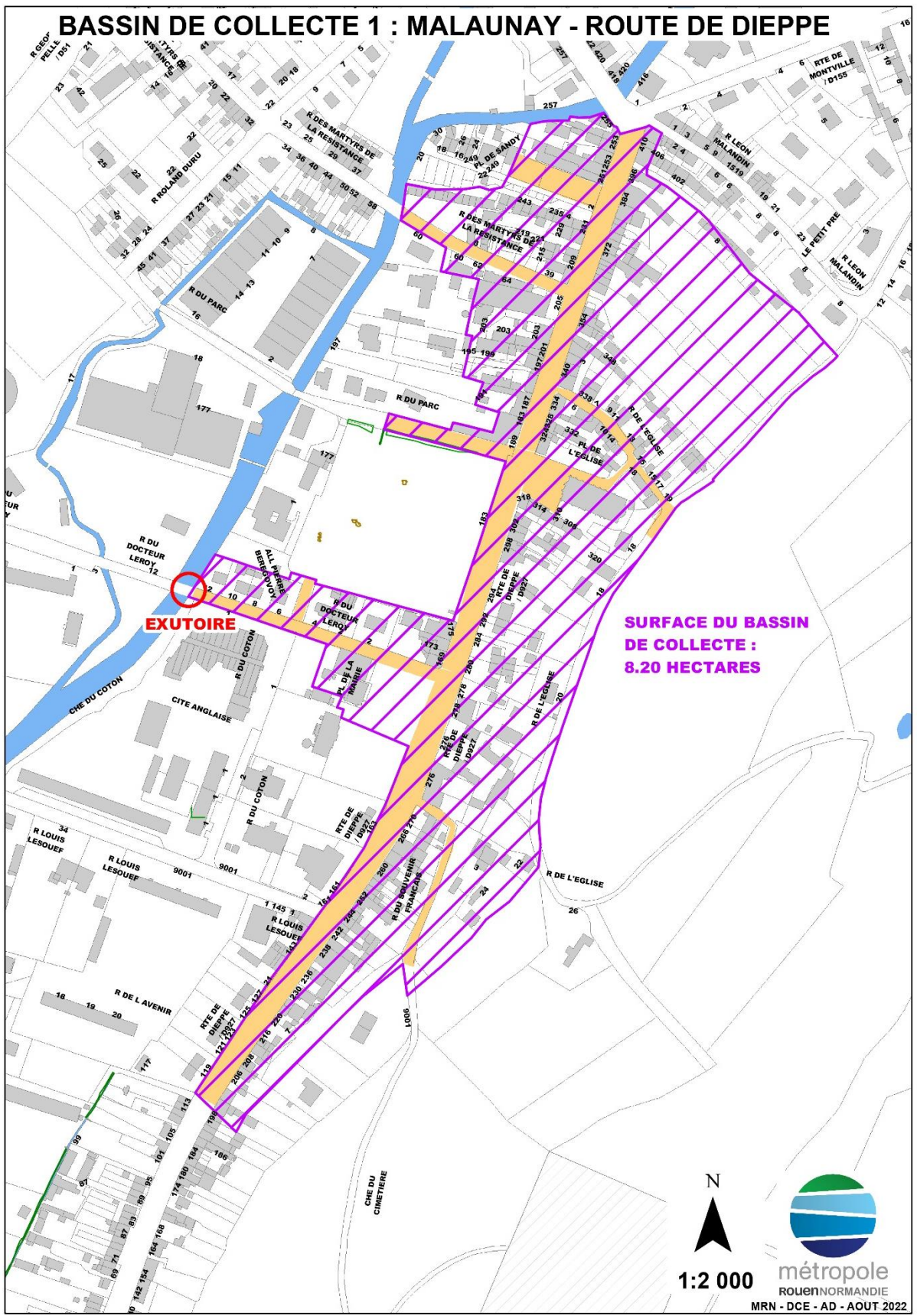


Figure 29 : Emprise du réseau étudié (rayures violettes) sur la commune de Malaunay avec son exutoire à l'ouest (cercle rouge). Source : Métropole Rouen Normandie.

BASSIN DE COLLECTE 2 : MALAUNAY - ROUTE DE BARENTIN

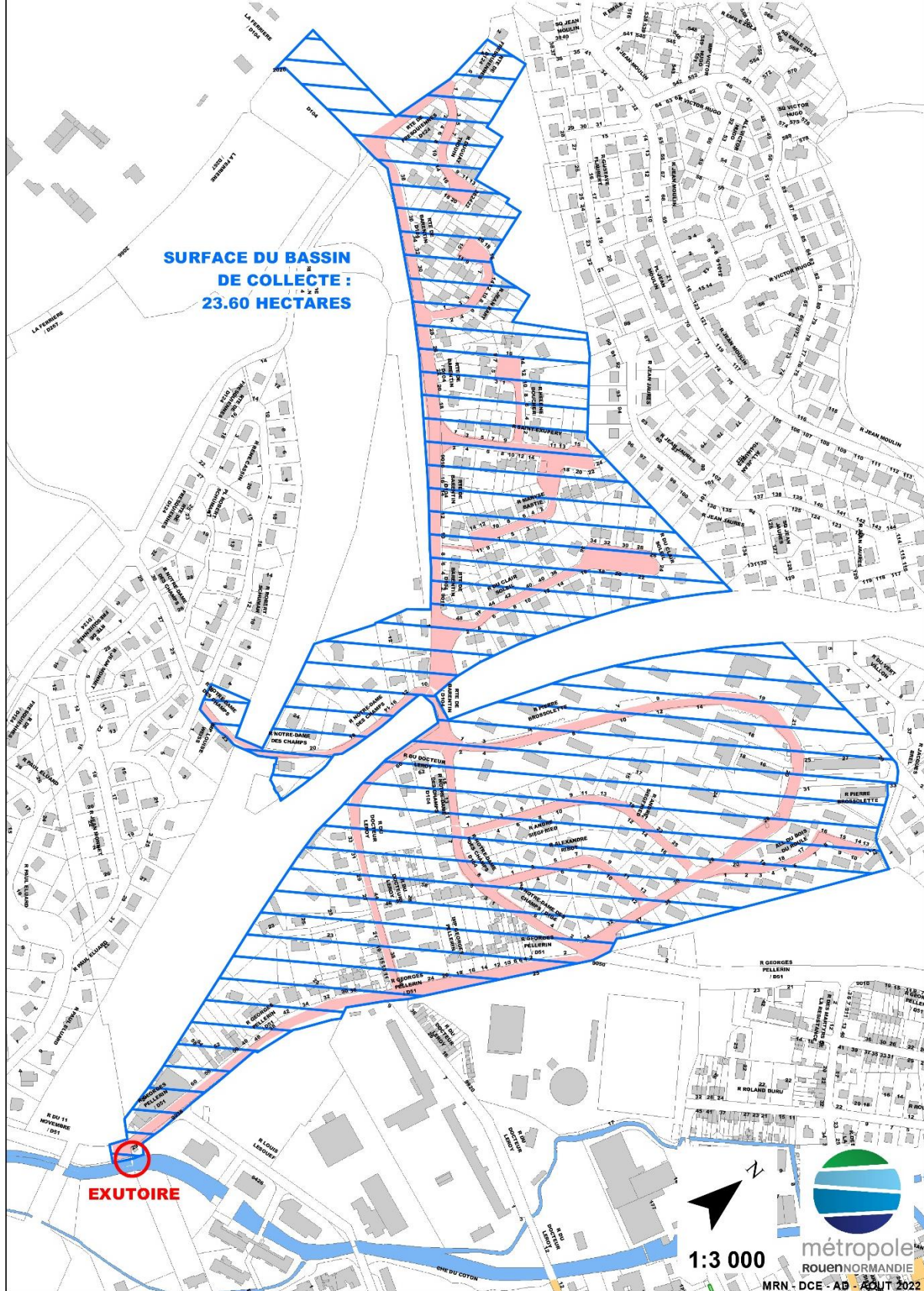


Figure 30 : Emprise du réseau étudié (rayures bleues) sur la commune de Malaunay avec son exutoire au sud-ouest (cercle rouge). Source : Métropole Rouen Normandie.

4.2. Spécificités des zones d'étude

A Malaunay, les **avaloirs sont majoritairement dégrillés (~5 cm)**, ce qui prévient le transfert de macrodéchets dans le réseau. Par contre, il n'y a ni décantation, ni siphon au sein de ces avaloirs. La route de Dieppe concentre le trafic routier et piéton. Le nettoyage des rues sur les deux zones a été intense les deux premiers mois avec un piquetage hebdomadaire. Entre novembre 2020 et novembre 2021, les balayeuses ont fait un passage par mois et par zone. L'échantillonnage et la caractérisation des déchets ont été effectués sur l'ensemble des matières collectées par les filets avec un pré-tri réalisé dans les services techniques de Malaunay par un agent de la Métropole Rouen Normandie. Ce travail a été possible grâce à la dynamique initiée par S. Vannier, chargé d'exploitation réseau. Ce pré-tri a consisté à séparer les déchets anthropiques des autres débris sur un tamis équipé d'un maillage de 5 mm. Les déchets anthropiques ont donc été caractérisés de manière exhaustive. Par conséquent, la représentativité de l'échantillonnage est très forte, avec risque de biais maîtrisé.

4.3. Echantillonnage et météorologie

Les deux filets ont été posés par Pollustock[®] le 25 novembre 2020 et sept échantillons ont été prélevés au total (**Figure 31**) : trois pour la zone 1 et quatre pour la zone 2 (**Tableau 6**). Les échantillons prélevés couvrent une période de 345 jours dans chaque zone. L'ensemble des matières humides contenues dans les filets a été échantillonné à chaque fois. Les déchets anthropiques prélevés à Malaunay ont été caractérisés au LEESU après un second lavage plus poussé en suivant le protocole décrit dans le paragraphe 2.

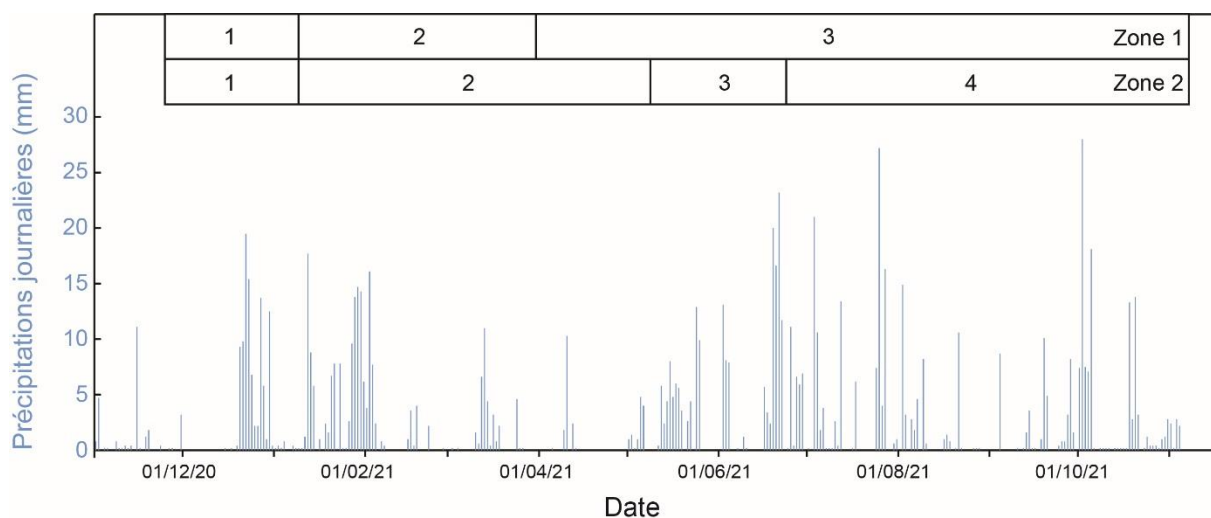


Figure 31 : Périodes de remplissage du filet à Malaunay (Zone 1 et 2) en fonction des précipitations journalières (bleu) relevées à la station Rouen-Boos. **Source** : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2021/rouen-boos/valeurs/07037.html>

Tableau 6 : Prélèvements sur le site de Malaunay, Zones 1 (commerciale) et 2 (résidentielle).

ZONE	N°	Prélèvement (2021)	Accumulation filet (2020-2021)		Durée (j)	Masse totale (kg)		Taux H ₂ O (%)
			Début	Fin		humide	sec	
1	1	5/02	25/11	8/01	44	72	20	72
	2	30/04	8/01	30/03	81	320	135	58
	3	17/12	30/03	5/11	220	290	121	58
2	1	5/02	25/11	8/01	44	37	8,4	77
	2	17/05	8/01	7/05	119	674	302,3	55
	3	30/09	7/05	23/6	47	286	231,0	19
	4	17/12	23/6	5/11	135	366	119,3	67

4.4. Résultats sur la zone 1 (pluvial strict en zone commerciale)

Près de 700 kilos de matières humides ont été collectées par le filet, avec un taux d'humidité compris entre 58% et 72% (cf. **Tableau 6**). La proportion de macrodéchets anthropiques par rapport à la masse totale des matières est comprise entre 0,1 et 0,7% (en masses sèches), soit un ordre de grandeur en-dessous de Goussainville. Le plastique (83%) est le matériau largement majoritaire en masse, suivis du métal (9%) et des textiles (3%) (**Figure 32**). Il n'y a pas d'évolution saisonnière significative, probablement liée au faible nombre d'échantillons et au fait que le dernier échantillon rassemble à lui tout seul 81% des macrodéchets totaux en masse pour 64% du temps d'exposition du filet.

Les mégots arrivent largement en tête (28%) du TOP 10 des déchets en masse. Ils sont suivis des fragments non identifiés (10% cumulés), puis des contenants alimentaires en plastique dur (9%). En nombre, les produits liés au tabac représentent 61% des déchets (51% de mégots et 10% de blisters). Les emballages liés à la consommation nomade ne représentent que 7% des déchets en nombre et 3% en masse. Il n'y a pas de bouteilles plastiques et canettes en aluminium, du fait probablement que les avaloirs sont dégrillés. Ainsi, le transfert des déchets éventuellement présents au sol jusqu'aux réseaux semble très limité.

La pollution liée aux produits du tabac est largement majoritaire en nombre et en masse. Agir sur cette pollution grâce à de la prévention ciblée sur les fumeurs aurait donc le plus d'impact dans la réduction des déchets sur ce site.

Le flux annuel de macrodéchets est estimé à plus de 3 000 (> 1,1 kg) macrodéchets par an, dont 2 900 (0,9 kg) macroplastiques. Les ordres de grandeur des flux sont présentés dans le **Tableau 7**. Les flux de macroplastiques par habitant (2 g/hab/an) sont inférieurs aux flux estimés par (Treilles et al., 2021) et à ceux estimés à Goussainville. Cependant, les flux de macroplastiques par hectare dans la zone commerciale de Malaunay sont du même ordre de grandeur que ceux estimés à Sucy par les mêmes auteurs. La fréquence élevée du nettoyage des rues en surface ainsi que le dégrillage des avaloirs sont sans doute responsables de l'abattement des flux. Par conséquent, les petits macrodéchets (mégots, fragments) sont largement majoritaires.

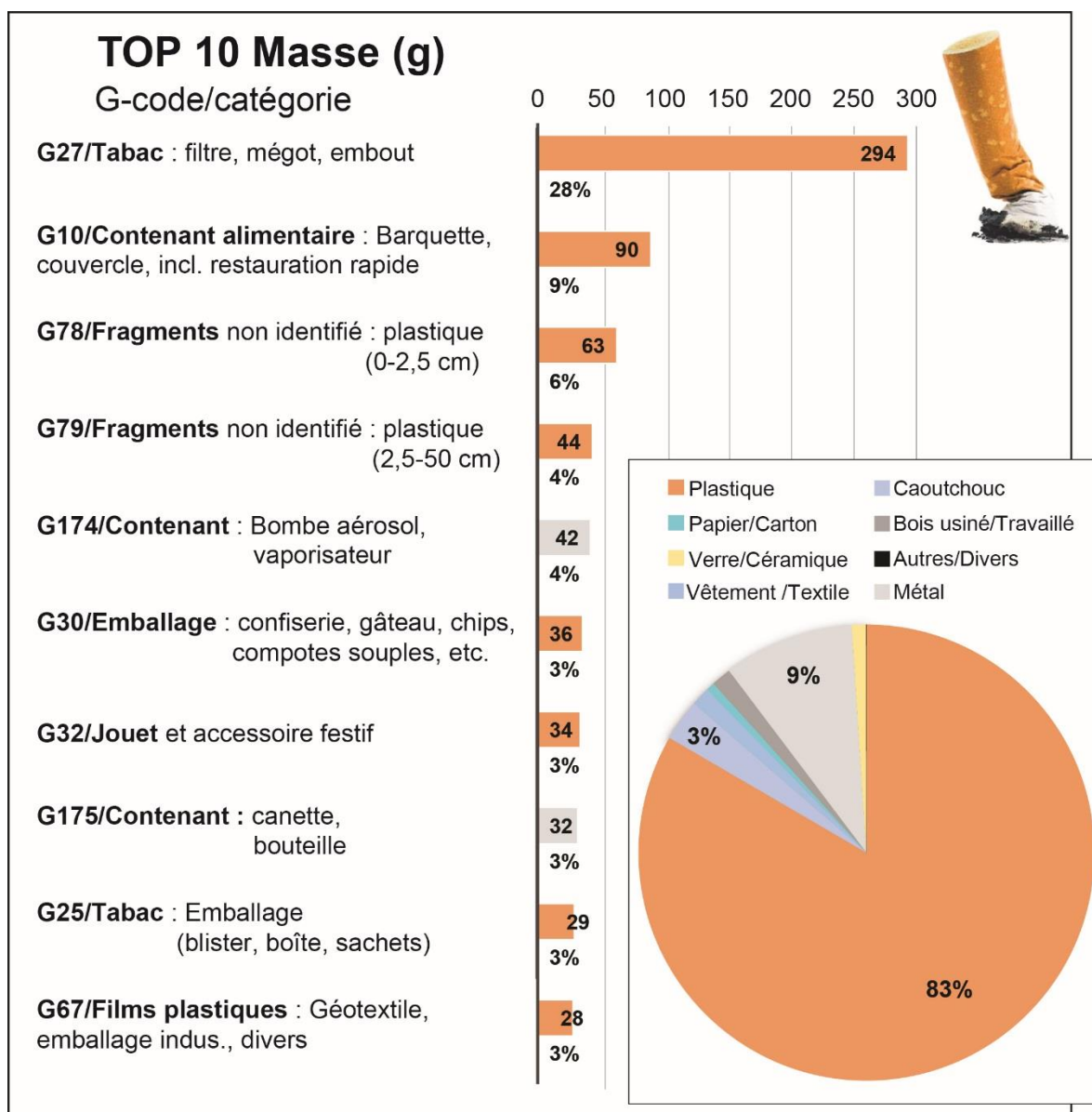


Figure 32 : Top 10 (masse) des catégories de déchets à Malaunay, zone 1 (novembre 2020-novembre 2021). La distribution des matériaux (masse) est indiquée en bas à droite.

Tableau 7 : Ordre de grandeur des flux de macrodéchets et de plastiques à Malaunay, dans la zone commerciale (zone 1) rapportés à une année.

	Flux par habitant	Flux par hectare
Matières sèches	0,6 kg/hab/an	40 kg/ha/an
Macro-déchets	2 g/hab/an	0,1 kg/ha/an
Plastiques	2 g/hab/an	0,1 kg/ha/an

4.5. Résultats sur la zone 2 (réseau mixte en zone résidentielle)

Près de 1 400 kilos de matières humides ont été collectées par le filet, avec un taux d'humidité compris entre 19% et 77%. La proportion de macrodéchets anthropiques par rapport à la masse totale des matières est comprise entre 0,2 et 3,9% (en masses sèches), soit des valeurs comprises entre la zone 1 et Goussainville. Le plastique (55%) est le matériau majoritaire en masse, suivis

principalement des textiles (18%) et du métal (17%) (**Figure 33**). Quelques légères variations saisonnières apparaissent avec l'apparition des fragments de bouteille en verre (5% de la masse sur l'année) dans l'échantillon de la fin du mois de Juin (**Figure 34**). Par ailleurs, une baisse continue de la part des plastiques est observée au profit d'une augmentation des lingettes. Cela est probablement lié aux événements pluvieux plus intenses de la période estivale et automnale – marqués par des précipitations max sur 24h élevées (cf. **Figure 31**) – qui favorisent les déversements des eaux usées dans le réseau d'eau pluvial situé à l'aval des DO.

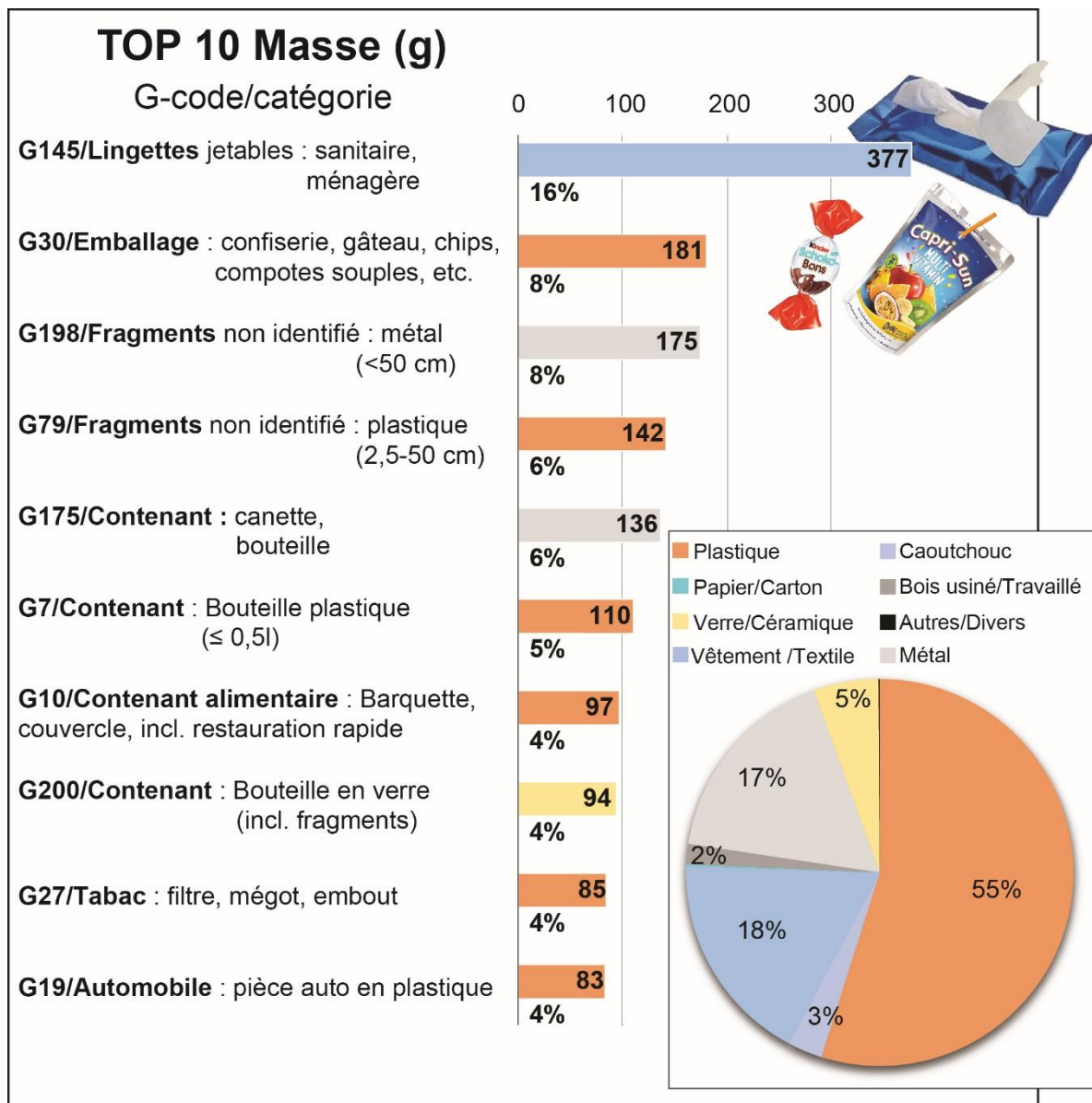


Figure 33 : Top 10 (masse) des catégories de déchets à Malaunay, zone 2 (novembre 2020-novembre 2021). La distribution des matériaux (masse) est indiquée en bas à droite.

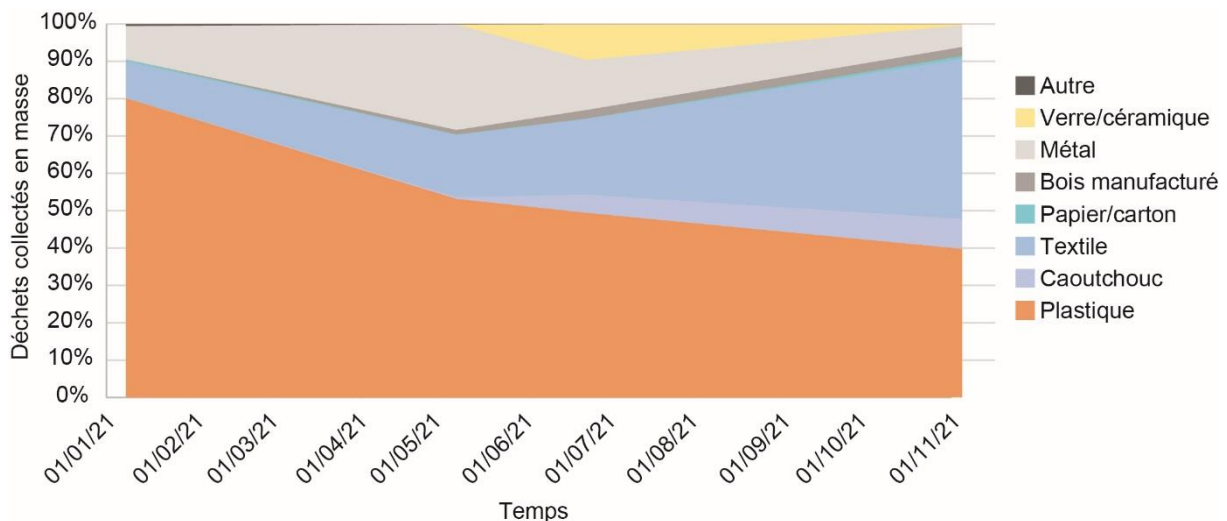


Figure 34 : Distribution des types de matériaux en pourcentages de la masse dans les macrodéchets anthropiques de Malaunay (Zone 2).

Les lingettes arrivent en tête (16%) du TOP 10 des déchets en masse (**Figure 33**). Ils sont suivis des emballages liés à la consommation nomade (8%), de fragments de métal et de plastiques (8% et 6%, respectivement). Noter la présence de contenants en aluminium (6%) et en plastique (5%) également liés à la consommation nomade. La présence de cannettes et de bouteilles, *a fortiori* de petites tailles (< 0,5l), témoignent de la présence d’avaloirs peu ou pas dégrillés par rapport à ceux dégrillés finement de la zone 1. En nombre, les produits liés au tabac représentent 27% des déchets (23% de mégots et 4% de blisters).

Les résultats montrent clairement une **double signature dans les macrodéchets** avec des déchets plutôt issus des **eaux usées (lingettes)** et des déchets plutôt issus des **eaux pluviales liés à la consommation nomade et au tabac**. Ici encore, les déchets liés au tabac sont prépondérants en nombre, mais une nouvelle pollution d’ampleur a été identifiée. Elle concerne les lingettes jetables. A noter que ces lingettes sont classées dans les textiles mais que certaines sont tout ou parti constituées de plastiques. Sur 36 lingettes analysées en infra-rouge et provenant du DO de Grenoble, 34 contenaient du PET et 2 du PP dans des proportions inconnues. Mais les pics de la viscose ou du coton n’ont pas été retrouvés, suggérant la dégradation rapide de ces matériaux ou leur absence dans le produit de départ. Des études spécifiques doivent être menées sur ces lingettes pour mieux les caractériser.

Le flux annuel de macrodéchets est estimé à plus de 2 600 (~3,8 kg) macrodéchets par an, dont 1 900 (1,9 kg) macroplastiques. Les ordres de grandeur des flux sont présentés dans le **Tableau 8**. Les flux de macroplastiques par habitant (1 g/hab/an) sont inférieurs aux flux estimés dans la zone commerciale, mais les flux totaux, notamment à cause des lingettes, sont légèrement supérieurs (3 g/hab/an). Les flux par hectare sont du même ordre de grandeur que pour la zone commerciale.

Tableau 8 : Ordre de grandeur des flux de macrodéchets et de plastiques à Malaunay, dans la zone résidentielle (zone 2) rapportés à une année.

	Flux par habitant	Flux par hectare
Matières sèches	0,5 kg/hab/an	30 kg/ha/an
Macro-déchets	3 g/hab/an	0,2 kg/ha/an
Plastiques	1 g/hab/an	0,1 kg/ha/an

5. Grenoble – Réseau unitaire

5.1. Périmètre de l'étude

Grenoble (38) comptait 160 000 habitants en 2019 selon l'INSEE¹⁵. La structuration de la population à l'échelle de la ville n'a pas tellement d'importance car le réseau étudié ne représente qu'une petite partie de la commune. La ville est située dans une vallée, traversée par l'Isère et son affluent le Drac, située entre les massifs rocheux du Vercors à l'ouest, de la Chartreuse au nord et de Belledonne à l'est¹⁶.

Le système d'assainissement étudié est situé à l'ouest de Grenoble et couvre entre 165 ha et 280 ha en fonction du type de pluie (com. Pers. ; **Figure 35**). Une moyenne de 220 ha sera considérée pour l'estimation des flux par unité de surface. Le bassin est très résidentiel. Il est séparé du reste de la ville, notamment du quartier du Mistral, par le Drac. La population au sein du bassin est d'environ 16 500 habitants selon la métropole.

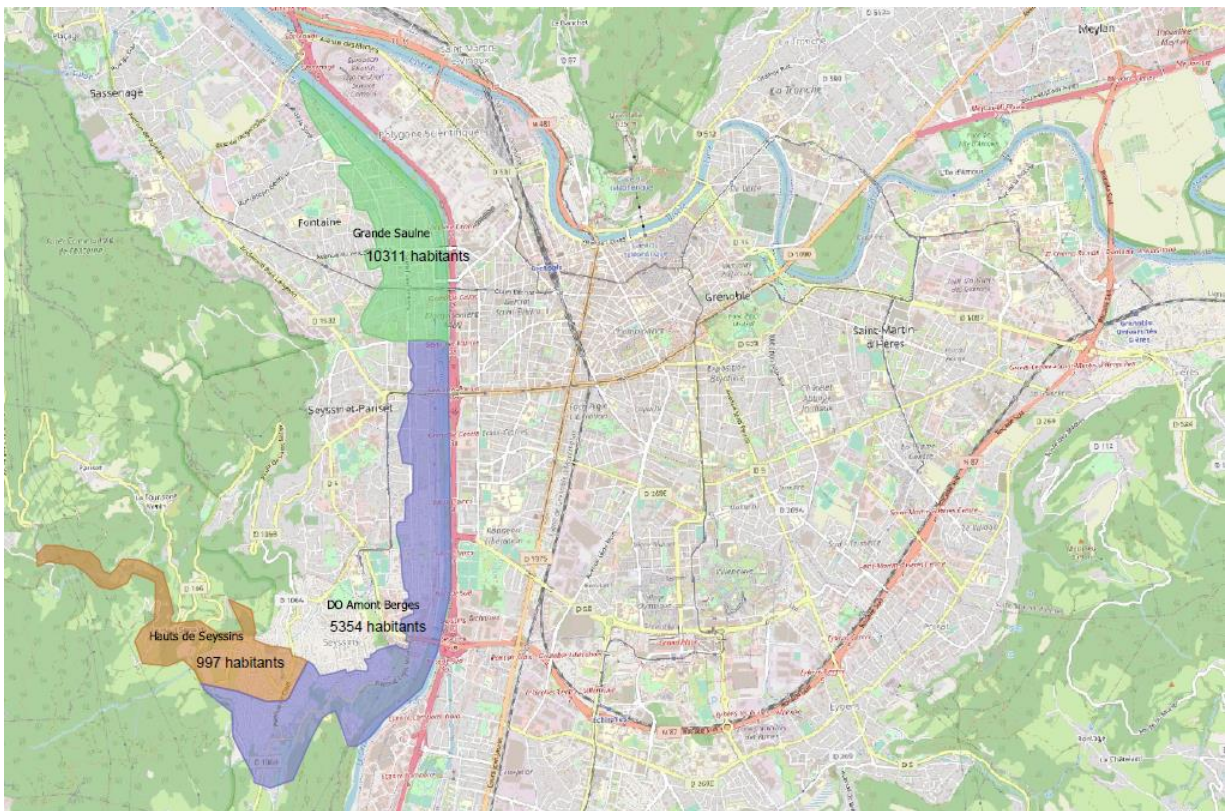


Figure 35 : Emprise du réseau Grande Saulne sur l'agglomération de Grenoble avec son exutoire situé au Nord.
Source : Grenoble Alpes Métropole

5.2. Spécificités des zones d'étude

Sur le bassin étudié, les autorités locales gèrent l'assainissement en régie publique et assurent que **les avaloirs sont majoritairement dégrillés et équipés de décanteurs** curés une fois par

¹⁵<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-38185>

¹⁶<https://journals.openedition.org/geomorphologie/13701>

an. De tous les sites étudiés, c'est *a priori* celui où le plus d'actions sont menées en amont pour éviter des rejets de macrodéchets dans le milieu ou à la station d'épuration. Les échantillons ont été prélevés par les services techniques locaux. En juin 2021, un orage a colmaté rapidement le filet, provoquant une inondation. Il a donc été retiré sans possibilité d'échantillonnage avant d'être remplacé le 2 juillet 2021, en laissant un tiers de l'exutoire non couvert pour permettre les débordements.

5.3. Echantillonnage et météorologie

Le filet de Sassenage a été posé le 4 février 2021 sur un exutoire de 2 200 mm de diamètre avec une maille de 30*30 mm. Deux échantillons ont été prélevés les 6 mai et 12 octobre 2021 couvrant respectivement 91 et 102 jours de remplissage (**Tableau 9**). Ils correspondent respectivement à 1 (~6 000 m³) et 10 surverses (~140 000 m³). Une période de 57 jours entre les deux échantillons n'a pas été comptabilisée suite à la survenue d'un violent orage qui a contribué à colmater le filet et à inonder les caves du quartier (Figure 36). A cette occasion, le contenu du filet une fois enlevé n'a pas pu être échantillonné. Les échantillons prélevés couvrent donc une période de 193 jours concentrés sur la fin de l'hiver et l'été 2021. L'ensemble des matières humides contenues dans le premier filet a été échantillonné et 44% du deuxième. Les échantillons ont été envoyés emballés dans des sacs poubelles et des cartons par voie postale.

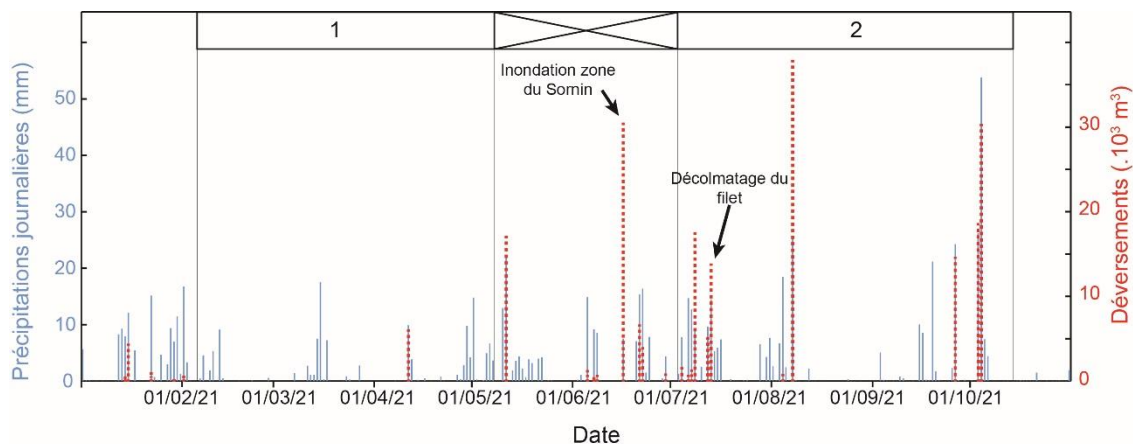


Figure 36 : Périodes de remplissage du filet à Grenoble en fonction des précipitations journalières (bleu) et des déversements (rouge). Le filet a été retiré lors d'une inondation et le contenu n'a pas été échantillonné. Après sa réinstallation, le filet a régulièrement été inspecté et décolmaté à l'aide d'un jet d'eau haute pression. **Source** : Grenoble Alpes Métropole.

Le taux d'humidité mesuré dans les échantillons n'est pas représentatif de matières fraîchement échantillonnées du fait qu'il a été établi plusieurs semaines après l'échantillonnage. Pour le deuxième échantillon, la proportion échantillonnée a été estimée en mesurant la masse de déchets humides reçue par rapport à la masse humide mesurée au moment de l'envoi. Les matières étant stockées dans des sacs poubelles plastiques, la variation du taux d'humidité entre les matières totales et l'échantillon est considérée comme négligeable.

Tableau 9 : Prélèvements sur le site de Grenoble. Contrairement à Malaunay, le volume d'eau déversé au travers les filets est connu. Noter cependant que pour le 2^e échantillon, le filet a été repositionné sur les 2/3 seulement de l'exutoire pour prévenir d'éventuelles inondations suite au colmatage de ce dernier.

N°	Prélèvement (2021)	Accumulation filet (2020-2021)		Durée (j)	Masse totale (kg)		Taux H ₂ O (%)	Volume DO filtré (m ³)	Surverse
		Début	Fin		humide	sec			
1	6/05	4/02	6/05	91	19	13	33	6009	1
2	12/10	6/05	12/10	102	97	41	58	141896	10

5.4. Résultats

Plus de 100 kg de matières humides ont été collectées par le filet. Ramené à l'année, cela revient à environ 200 kg de matières humides. La proportion de macrodéchets anthropiques par rapport à la masse totale des matières est comprise entre 6 et 11% (en masses sèches). C'est la plus grosse proportion des quatre sites suivis. Les textiles (81%) et le plastique (17%) sont les principaux types de matière en masse car les lingettes (80%) sont les principaux macrodéchets (**Figure 37**). Suivent les serviettes hygiéniques (4%) et les emballages en plastique (2%) liés à la consommation nomade et donc aux eaux pluviales. Ce signal est très minoritaire ce qui, avec le fort taux de macrodéchets issus des eaux usées, est probablement la conséquence d'un faible taux de transfert des matières à travers les avaloirs. Pour rappel, les avaloirs sont dégrillées et équipés de décanteurs curés régulièrement.

Le flux annuel de macrodéchets est estimé à plus de 5 600 (7,3 kg) macrodéchets par an, dont 2 600 (1,6 kg) macroplastiques et 2 700 (5,4 kg) lingettes sanitaires. Les ordres de grandeur des flux sont présentés dans le **Tableau 10**. Les flux de macrodéchets et de macroplastiques sont un à deux ordres de grandeurs en-dessous des flux estimés sur les précédents sites. Au regard de l'investissement pour installer le filet (7,4 k€), la quantité de déchets piégée est très faible, comme en témoigne le coût estimé par tonne de déchets capturée. Noter que cette estimation repose sur l'investissement seulement, les coûts d'exploitation étant absorbés au sein de la régie publique. Mécaniquement, ces coûts baisseraient au fur et à mesure que le filet capturerait des déchets. Mais difficile d'imaginer baisser ces coûts d'un facteur 20, i.e. en capturant 20 fois plus de déchets, pour atteindre des coûts similaires à Goussainville.

Par ailleurs, les services de l'assainissement ont signalé à plusieurs reprises des problèmes de colmatage du filet et engendrant des perturbations dans la mesure de la hauteur d'eau dans le réseau. Or, ces hauteurs sont utilisées pour mesurer le niveau de charge du réseau et les volumes d'eau déversés dans le milieu, ce qui fait l'objet d'une obligation réglementaire. Les volumes d'eau déversés seraient ainsi surestimés. De plus, le colmatage du filet lors d'un épisode orageux a entraîné l'inondation des caves du quartier en amont. Pour prévenir ces problèmes, le filet a été remplacé sur les 2/3 inférieurs de l'exutoire, mais des macrodéchets peuvent ainsi s'échapper par le 1/3 restant et une fraction inconnue du volume d'eau n'est pas filtrée.

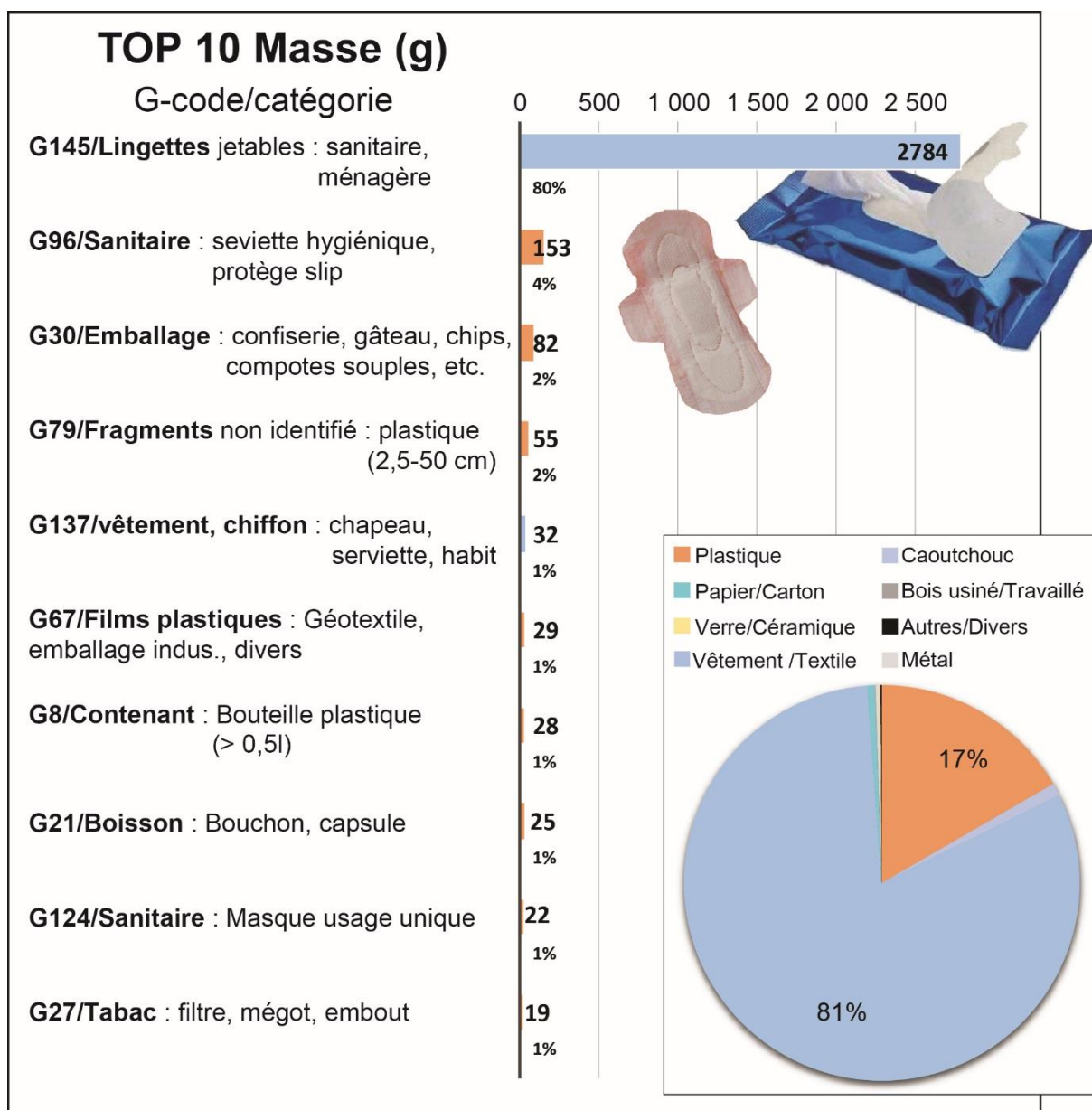


Figure 37 : Top 10 (masse) des catégories de déchets à Grenoble (février-mai 2021 et juin-octobre 2021), extrapolés à l'ensemble des matières collectées. La distribution des matériaux (masse) est indiquée en bas à droite.

Tableau 10 : Flux de macrodéchets et de plastiques à Malaunay, dans la zone commerciale (zone 1) rapportés à une année.

	Flux par habitant	Flux par hectare	Flux moyen par m ³ déversé	Coût indicatif
Matières sèches	0,01 kg/hab/an	0,5 kg/ha/an	ND	70 k€/tonne
Macro-déchets	0,4 g/hab/an	0,03 kg/ha/an	25 g/m ³	1 M€/tonne
Plastiques	0,1 g/hab/an	0,006 kg/ha/an	5 g/m ³	4,5 M€/tonne

Au vu des faibles flux et des actions en amont mises en œuvre par la collectivité, il ne semble pas judicieux d'installer de manière pérenne un filet sur cet exutoire. En revanche, il a permis de pointer du doigt l'énorme problème des lingettes dans les eaux usées. La nouvelle

classification européenne J-list classe d'ailleurs ces lingettes dans les plastiques dorénavant, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter drastiquement la part de plastique dans les déchets caractérisés. Ce problème de lingette n'est pourtant pas inconnu des gestionnaires de stations d'épuration et donc des autorités. Mais il tend à s'aggraver d'après les gestionnaires avec la hausse de la consommation de ces produits.

6. Discussion générale

L'étude des flux de macrodéchets issus des eaux urbaines sur quatre sites différents a mis en évidence les points suivants :

1. Les flux issus des eaux urbaines se distribuent sur trois ordres de grandeur entre les différents sites étudiés (**Figure 38A**).
2. Au sein d'un même site, les quantités de matières sèches capturées – et donc à traiter – sont deux à trois ordres de grandeur supérieurs aux quantités de macroplastiques capturées (**Figure 38A**). Ces quantités sont encore plus importantes si l'on considère les masses humides (jusqu'à un facteur 4).
3. Hormis les flux sur le DO de Grenoble, les flux de macroplastiques estimés dans le cadre de PLASTOC sont cohérents avec les ordres de grandeur estimés dans le réseau pluvial strict à Sucy en Brie (Treilles et al. (2021), dans les réseaux unitaires par le CEREMA (Rognard and Finck, 2020) et dans les milieux (MacroPLAST 1 et 2). Les flux issus des eaux urbaines sont donc très certainement une source majeure de macrodéchets vers les milieux (**Figure 38A**).
4. Toutefois, les estimations de flux du CEREMA diffèrent des autres estimations de flux de macrodéchets issus des eaux urbaines selon deux aspects :
 1. Un ordre de grandeur sépare les flux plastiques des flux de macrodéchets tandis que le flux de macrodéchets et de matière sèche est similaire. Cela vient des données sources qui considèrent plus de 80% de macrodéchets dans les refus de dégrillage (Le Hyaric, 2009; Rognard and Finck, 2020), soit bien au-delà des filets avec un taux maximum de macrodéchets de 11% à Grenoble.
 2. Deux ordres de grandeur séparent les estimations de flux de macrodéchets entre le CEREMA et Grenoble qui est un réseau unitaire. C'est un ordre de grandeur avec le réseau mixte de Malaunay. Les études de terrain suggèrent que l'étude du CEREMA surestime les flux de macrodéchets et sous-estime les flux de macroplastique. Noter que l'étude du CEREMA agglomère les flux issus du système de collecte des eaux unitaires (75–80% des flux) avec ceux estimés en tête de station (20–25% des flux), alors que les filets sont situés uniquement sur le système de collecte. Les nouvelles données issues des filets de la métropole de Rouen pourraient apporter des éclairages sur cette question.
5. Les ordres de grandeur des flux semblent dépendre en premier lieu du type d'avaloir et probablement de la stratégie de nettoyage mis en place en surface. Plus les efforts portés en surface sont importants (*e.g.*, avaloirs finement dégrillés, piquetage, décanteurs, siphons), plus les flux en sortie de réseau sont faibles (**Figure 38B**). Il subsiste un manque de données lié au nettoyage en parallèle du suivi des filets.
6. Les différents types de réseau semblent être caractérisés par différents types de macrodéchets (**Figure 38C**). Les réseaux pluviaux stricts sont caractérisés par des

déchets liés à la consommation nomade et au tabac (e.g. Goussainville et Malaunay, zone commerciale). Tandis que les réseaux unitaires et les DO sont caractérisés principalement par les lingettes et les serviettes hygiéniques, très largement issues des eaux usées (e.g., Grenoble). Le réseau mixte de la zone résidentielle de Malaunay semble se positionner entre ces deux pôles. Les changements de proportion des différents types de déchets illustrent donc probablement des variations de proportions d'eau usée et d'eau pluviale dans les surverses unitaires.

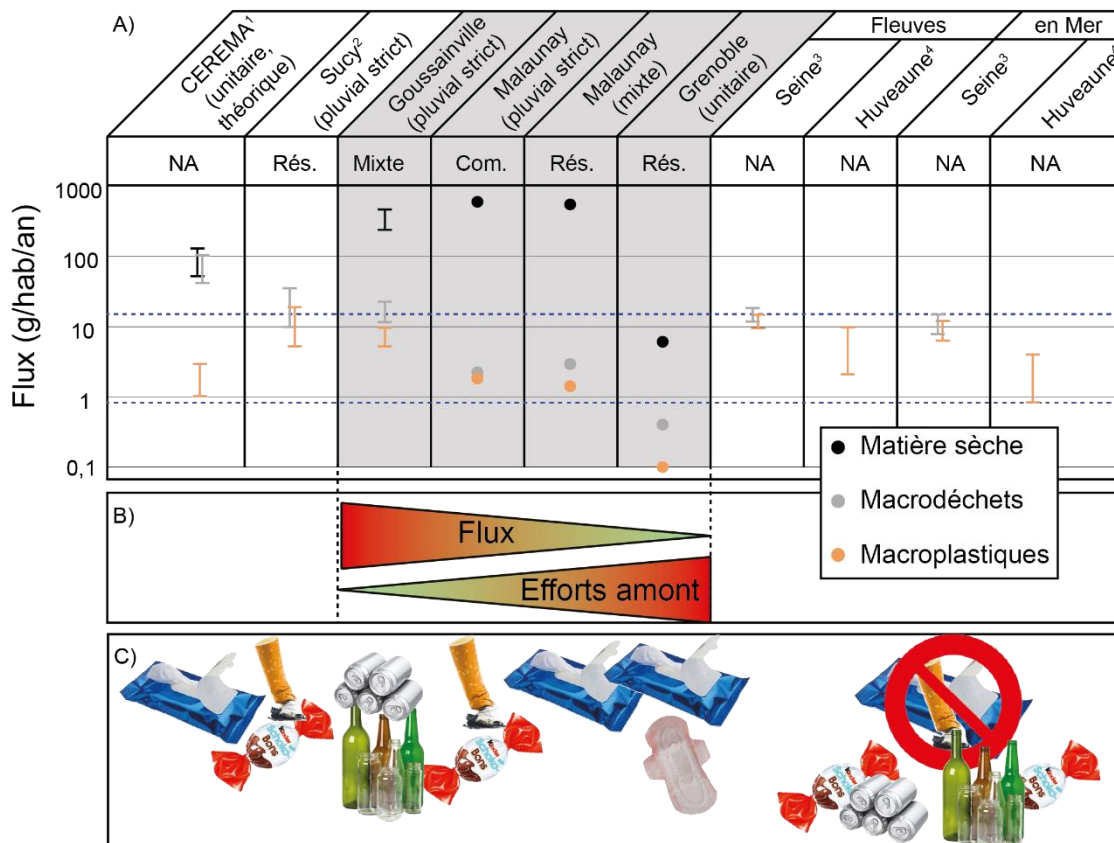


Figure 38 : Synthèse des projets PLASTOC, MacroPLAST 1 et 2. A) Synthèse des flux de macrodéchets.¹CEREMA (Rognard and Finck, 2020) ; ²Sucy-en-brie (Treilles et al., 2021) ; ³Seine (Tramoy et al., 2021) ; ⁴Huveaune (Tramoy et al., 2022) ; en grisé, PLASTOC ;. Les tirets bleus désignent l'intervalle des flux de macroplastiques estimés dans le milieu. Rés., zone résidentiel ; Com., zone commerciale ; Mixte, zone mixte. B) Echelle des flux à l'exutoire en fonction du degré d'effort amont fourni pour écrêter les flux. C) Macrodéchets caractéristiques.

En tant que solution curative, les filets sont à utiliser avec parcimonie sur des sites où les dispositifs d'écrêtage des flux de macrodéchets en amont sont faibles ou inexistantes comme par exemple à Goussainville. Ils sont inutiles, voire contre-productif sur des sites comme à Grenoble où d'importants efforts sont faits à l'amont et où le problème principal, i.e. les lingettes, est déjà bien connu des gestionnaires. Par ailleurs, les DO servent à prévenir la montée en charge du réseau et ainsi éviter les inondations. Or, les filets se remplissent justement lors d'évènements pluvieux et leur fonction étant de capturer des déchets, ils colmatent inévitablement (Weideman et al., 2020a). **Cette solution technique constitue donc en soi un paradoxe : filtrer les eaux urbaines d'un ouvrage dont la fonction est précisément de**

faciliter leur évacuation des zones urbanisées. Toutefois, des expériences sont en cours sur des DO de la Métropole de Rouen et les quantités de déchets capturées semblent importantes. Malgré de légères difficultés techniques, les filets semblent tenir leur promesse.

Concernant la gestion des matières captées par les filets, le coût associé est très dépendant du type de structure qui en a la charge. La délégation du levage et de la mise en décharge au privé coûte 1500 € HT à chaque fois dans le cas de Goussainville, alors que ces coûts, s'ils existent, sont absorbés dans le fonctionnement courant d'une régie publique. De plus, dans le cas d'une délégation, la traçabilité des matières est difficile. Elles sont souvent mises en décharge directement. Or, le coût de la mise en décharge étant dépendant du poids, une bonne part des coûts de la mise en décharge est liée à l'eau contenue dans les matières encore humides. C'est particulièrement le cas durant l'automne où les feuilles gorgées d'eau alourdissent fortement le poids des matières collectées. La régie publique de la Métropole de Rouen, quant à elle, stock les matières humides dans une benne. Elle les laisse s'égoutter avant de les envoyer à l'incinération en mélange avec les refus de dégrillage de la station d'épuration qu'ils gèrent également, ce qui réduit drastiquement les coûts de traitement.

Bien qu'il subsiste un doute sur l'usage des filets en tant que solution curative, il ne fait aucun doute que c'est un excellent outil de monitoring comme évoqué dans l'Axe 1. Certains déchets comme les lingettes ou les produits liés au tabac (mégots et blister) sont capturés en masse, alors qu'ils n'ont pas fait l'objet d'attention particulière sur les berges des rivières (exceptés les mégots). Par ailleurs, certains objets comme les gobelets en cartons filmés de plastique sont identifiables dans les filets, alors qu'ils ne le sont plus dans le milieu le plus souvent. L'avantage des filets est en effet de capturer les déchets au plus tôt, avant qu'ils ne rejoignent le milieu et donc **de faciliter l'identification des sources.**

Enfin, le protocole développé permet d'estimer précisément des flux massiques et donc de préciser les ordres de grandeur, ainsi que la typologie des flux qui potentiellement rejoignent le milieu. C'est donc un excellent outil d'orientation des politiques publiques pour cibler les sources, plus que les voies de transfert.

7. Perspectives

Les premiers résultats obtenus sur ces dispositifs innovants de captage des macrodéchets ont déjà donné des pistes d'optimisation de leur usage. Mais ils ont également ouvert d'autres questions, notamment à propos de la dynamique de remplissage de ces filets en fonction des pluies. Mieux connaître cette dynamique permettrait d'optimiser la gestion de ces filets. Les hypothèses à tester sont les suivantes :

1. Il existe un lien entre les flux de macrodéchets et les précipitations. Mais de quelle nature est ce lien ? Corrélation linéaire ou autre ? A partir de quelle intensité de pluie atteint-on le ruissellement suffisant pour transférer les déchets de la voirie au réseau ? Quel rôle des orages ?
2. Plus le temps sec avant une pluie significative est important plus les flux de macrodéchets consécutifs à cette pluie seront importants, modulo le nettoyage de la voirie. Quel rôle du nettoyage de la voirie durant ces périodes ?

D'autres questions légitimes se posent concernant la gestion des matières captées par les filets si à l'avenir ces dispositifs se déployaient à grande échelle, i.e. plusieurs centaines ou milliers sur le territoire :

1. Quelle filière de gestion pour ces déchets ?
2. Étant issus de la voirie pour la plupart, quel niveau de micropolluants organiques ou de métaux ?

Enfin, les flux de macrodéchets issus des eaux urbaines proviennent en premier lieu de la voirie. Mais la part des macrodéchets présents sur la voirie, puis transférée aux réseaux d'assainissement reste inconnue. C'est pourquoi, il est nécessaire d'estimer des densités de déchets présents en surface et de les comparer avec les flux estimés dans les eaux urbaines. Le projet Stritter porté par le Laboratoire Eau Environnement de l'Université Gustave Eiffel (en cours), ainsi que les travaux de la ville de Nice sur le sujet devraient pouvoir apporter des réponses prochainement sur cette question.

1 RÉFÉRENCES

- 2 Akdogan, Z., Guven, B., 2019. Microplastics in the environment: A critical review of current
3 understanding and identification of future research needs. *Environ. Pollut.* 254, UNSP 113011.
4 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113011>
- 5 Armitage, N., Rooseboom, A., 2000. The removal of urban litter from stormwater conduits and
6 streams: Paper 1 - The quantities involved and catchment litter management options. *Water SA*
7 26, 8.
- 8 Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and
9 fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364,
10 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- 11 Blondel, E., Buschman, F.A., 2022. Vertical and Horizontal Plastic Litter Distribution in a Bend
12 of a Tidal River. *Front. Environ. Sci.* 10.
- 13 Blot, D., Désert, J., 2019. Nettoyer la nature, est-ce vraiment une bonne idée? The
14 Conversation.
- 15 Boucher, J., Billard, G., 2019. The challenges of measuring plastic pollution. *Field Actions Sci.*
16 *Rep. J. Field Actions* 68–75.
- 17 Brennan, R., Shields, A., Joyce, M., 2019. Review of BAT and BEP in Urban Wastewater
18 Treatment Systems focusing on the reductions and prevention of stormwater related litter,
19 including micro-plastics, entering the Marine Environment. OSPAR Commission.
- 20 Broere, S., van Emmerik, T., González-Fernández, D., Luxemburg, W., de Schipper, M., Cózar,
21 A., van de Giesen, N., 2021. Towards Underwater Macroplastic Monitoring Using Echo
22 Sounding. *Front. Earth Sci.* 0. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.628704>
- 23 Castro-Jiménez, J., González-Fernández, D., Fournier, M., Schmidt, N., Sempéré, R., 2019.
24 Macro-litter in surface waters from the Rhone River: Plastic pollution and loading to the NW
25 Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 146, 60–66.
26 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.067>
- 27 Crosti, R., Arcangeli, A., Campana, I., Paraboschi, M., González-Fernández, D., 2018. ‘Down
28 to the river’: amount, composition, and economic sector of litter entering the marine
29 compartment, through the Tiber river in the Western Mediterranean Sea. *Rendiconti Lincei Sci.*
30 *Fis. E Nat.* 29, 859–866. <https://doi.org/10.1007/s12210-018-0747-y>
- 31 Fleet, D., Vlachogianni, T., Hanke, G., 2021. A Joint List of Litter Categories for Marine
32 Macrolitter Monitoring. JRC121708, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- 33 Galgani, F., Hanke, G., Maes, T., 2015. Global Distribution, Composition and Abundance of
34 Marine Litter, in: *Marine Anthropogenic Litter*. Bergmann M., Gutow L. and Klages M., p.
35 456.
- 36 Gasperi, J., Dris, R., Bonin, T., Rocher, V., Tassin, B., 2014. Assessment of floating plastic
37 debris in surface water along the Seine River. *Environ. Pollut.* 195, 163–166.
38 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.09.001>

- 39 Gasperi, J., Dris, R., Mirande-Bret, C., Mandin, C., Langlois, V., Tassin, B., 2015. First
40 overview of microplastics in indoor and outdoor air.
- 41 Geraeds, M., van Emmerik, T., de Vries, R., bin Ab Razak, M.S., 2019. Riverine Plastic Litter
42 Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Remote Sens.* 11, 2045.
43 <https://doi.org/10.3390/rs11172045>
- 44 González-Fernández, D., Cózar, A., Hanke, G., Viejo, J., Morales-Caselles, C., Bakiu, R.,
45 Barceló, D., Bessa, F., Bruge, A., Cabrera, M., Castro-Jiménez, J., Constant, M., Crosti, R.,
46 Galletti, Y., Kideys, A.E., Machitadze, N., Pereira de Brito, J., Pogojeva, M., Ratola, N.,
47 Rigueira, J., Rojo-Nieto, E., Savenko, O., Schöneich-Argent, R.I., Siedlewicz, G., Suaria, G.,
48 Tourgeli, M., 2021. Floating macrolitter leaked from Europe into the ocean. *Nat. Sustain.* 4,
49 474–483. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00722-6>
- 50 González-Fernández, D., Hanke, G., 2017. Toward a Harmonized Approach for Monitoring of
51 Riverine Floating Macro Litter Inputs to the Marine Environment. *Front. Mar. Sci.* 4.
52 <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00086>
- 53 Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F., Silva-Cavalcanti, J.S., Araújo, M.C.B., 2014. Plastic debris
54 retention and exportation by a mangrove forest patch. *Mar. Pollut. Bull.* 78, 252–257.
55 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.011>
- 56 Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R.,
57 Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771.
58 <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- 59 Karlsson, T.M., Arneborg, L., Broström, G., Almroth, B.C., Gipperth, L., Hassellöv, M., 2018.
60 The unaccountability case of plastic pellet pollution. *Mar. Pollut. Bull.* 129, 52–60.
61 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.041>
- 62 Kerhervé, P., Soulat, N., Preuvost, M., Malafosse, E., 2021. Réduction des déchets plastiques
63 sur le littoral : une approche locale à l'échelle des Pyrénées-Orientales – RedPlast66 – Rapport
64 scientifique.
- 65 Kiessling, T., Knickmeier, K., Kruse, K., Brennecke, D., Nauendorf, A., Thiel, M., 2019. Plastic
66 Pirates sample litter at rivers in Germany – Riverside litter and litter sources estimated by
67 schoolchildren. *Environ. Pollut.* 245, 545–557. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.025>
- 68 Lau, W.W.Y., Shiran, Y., Bailey, R.M., Cook, E., Stuchtey, M.R., Koskella, J., Velis, C.A.,
69 Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M.B., Thompson, R.C., Jankowska, E., Castillo, A.C.,
70 Pilditch, T.D., Dixon, B., Koerselman, L., Kosior, E., Favoino, E., Gutberlet, J., Baulch, S.,
71 Atreya, M.E., Fischer, D., He, K.K., Petit, M.M., Sumaila, U.R., Neil, E., Bernhofen, M.V.,
72 Lawrence, K., Palardy, J.E., 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science.*
73 <https://doi.org/10.1126/science.aba9475>
- 74 Le Hyaric, R., 2009. Caractérisation, traitabilité et valorisation des refus de dégrillage des
75 stations d'épuration. INSA de Lyon, LYON, France.
- 76 Lebreton, L.C.M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., 2017.
77 River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.* 8, 15611.
78 <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>

79 Ledieu, L., Tramoy, R., Mabilais, D., Ricordel, S., Verdier, L., Tassin, B., Gasperi, J., 2022a.
80 Macroplastic transfer dynamics in the Loire estuary: Similarities and specificities with
81 macrotidal estuaries. *Mar. Pollut. Bull.* 182, 114019.
82 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114019>

83 Ledieu, L., Tramoy, R., Ricordel, S., Astrie, D., Tassin, B., Gasperi, J., 2022b. Amount,
84 composition and sources of macrolitter from a highly frequented roadway. *Environ. Pollut.* 303,
85 119145. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119145>

86 Liro, M., Mikuś, P., Wyzga, B., 2022. First insight into the macroplastic storage in a mountain
87 river: The role of in-river vegetation cover, wood jams and channel morphology. *Sci. Total*
88 *Environ.* 156354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156354>

89 MacroPLAST, 2019. MacroPLAST : Estimation des flux de Macrodéchets sur le Bassin de la
90 Seine. LEESU.

91 Martin, C., Parkes, S., Zhang, Q., Zhang, X., McCabe, M.F., Duarte, C.M., 2018. Use of
92 unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. *Mar. Pollut. Bull.* 131, 662–673.
93 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.045>

94 Martin, C., Zhang, Q., Zhai, D., Zhang, X., Duarte, C.M., 2021. Enabling a large-scale
95 assessment of litter along Saudi Arabian red sea shores by combining drones and machine
96 learning. *Environ. Pollut.* 277, 116730. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116730>

97 Mazarrasa, I., Puente, A., Núñez, P., García, A., Abascal, A.J., Juanes, J.A., 2019. Assessing
98 the risk of marine litter accumulation in estuarine habitats. *Mar. Pollut. Bull.* 144, 117–128.
99 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.060>

100 Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., 1972. The limits to growth.

101 Meijer, L.J.J., Emmerik, T. van, Ent, R. van der, Schmidt, C., Lebreton, L., 2021. More than
102 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci. Adv.* 7,
103 eaz5803. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz5803>

104 Monsaingeon, B., 2017. *Homo detritus - Critique de la société du déchet*, Seuil. ed.

105 Pasternak, G., Ribic, C.A., Spanier, E., Zviely, D., 2021. Stormwater systems as a source of
106 marine debris: a case study from the Mediterranean coast of Israel. *J. Coast. Conserv.* 25, 27.
107 <https://doi.org/10.1007/s11852-021-00818-3>

108 Paul, M., Zakrewski, L., 2022. Construction du reseau national de surveillance des
109 macrodéchets issus des bassins hydrographiques. CEDRE.

110 PlasticsEurope, 2020. *Plastics – the Facts 2020*, an analysis of European plastics production,
111 demand and waste data. Association of Plastics Manufacturer, Brussels.

112 PlasticsEurope, 2018. *Plastics - the Facts 2018*, an analysis of European plastics production,
113 demand and waste data. Association of Plastics Manufacturer, Brussels.

114 Roebroek, C., Harrigan, H., van Emmerik, T., Baugh, C., Eilander, D., Prudhomme, C.,
115 Pappenberger, F., 2020. Plastic in global rivers: are floods making it worse?
116 <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-43330/v1>

- 117 Rognard, F., Finck, J.S., 2020. Macrodéchets anthropiques et assainissement|, Connaissances.
118 CEREMA, Margny-lès-Compiègne.
- 119 Schmidt, C., Krauth, T., Wagner, S., 2017. Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea.
120 Environ. Sci. Technol. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>
- 121 Schöneich-Argent, R.I., Dau, K., Freund, H., 2021. Corrigendum to “Wasting the North Sea? –
122 A field-based assessment of anthropogenic macrolitter loads and emission rates of three
123 German tributaries” [Environ. Pollut. 263 (Part B) (August 2020) 114367]. Environ. Pollut.
124 287, 117235. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117235>
- 125 Schöneich-Argent, R.I., Dau, K., Freund, H., 2020. Wasting the North Sea? – A field-based
126 assessment of anthropogenic macrolitter loads and emission rates of three German tributaries.
127 Environ. Pollut. 263, 114367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114367>
- 128 Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C., 2015a. The trajectory of the
129 Anthropocene: The Great Acceleration. Anthr. Rev. 2, 81–98.
130 <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- 131 Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R.,
132 Carpenter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M.,
133 Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., 2015b. Planetary boundaries: Guiding
134 human development on a changing planet. Science 347, 1259855.
135 <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- 136 Technical Subgroup on Marine Litter, M., 2013. Guidance on Monitoring of Marine Litter in
137 European Seas.
- 138 Tramoy, R., Blin, E., Poitou, I., Noûs, C., Tassin, B., Gasperi, J., 2022. Riverine litter in a small
139 urban river in Marseille, France: Plastic load and management challenges. Waste Manag. 140,
140 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.015>
- 141 Tramoy, R., Gasperi, J., Colasse, L., Noûs, C., Tassin, B., 2021. Transfer dynamics of
142 macroplastics in estuaries – New insights from the Seine estuary: Part 3. What fate for
143 macroplastics? Mar. Pollut. Bull. 169, 112513.
144 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112513>
- 145 Tramoy, R., Gasperi, J., Colasse, L., Silvestre, M., Dubois, P., Noûs, C., Tassin, B., 2020a.
146 Transfer dynamics of macroplastics in estuaries – New insights from the Seine estuary: Part 2.
147 Short-term dynamics based on GPS-trackers. Mar. Pollut. Bull. 160, 111566.
148 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111566>
- 149 Tramoy, R., Gasperi, J., Colasse, L., Tassin, B., 2020b. Transfer dynamic of macroplastics in
150 estuaries — New insights from the Seine estuary: Part 1. Long term dynamic based on date-
151 prints on stranded debris. Mar. Pollut. Bull. 152, 110894.
152 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110894>
- 153 Tramoy, R., Gasperi, J., Dris, R., Colasse, L., Fisson, C., Sananes, S., Rocher, V., Tassin, B.,
154 2019a. Estimation des flux de plastiques transitant en Seine : quelles méthodes pour quels
155 résultats ? Tech. Sci. Méthodes 15–26. <https://doi.org/10.1051/tsm/201901015>

156 Tramoy, R., Gasperi, J., Dris, R., Colasse, L., Fisson, C., Sananes, S., Rocher, V., Tassin, B.,
157 2019b. Assessment of the Plastic Inputs From the Seine Basin to the Sea Using Statistical and
158 Field Approaches. *Front. Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00151>

159 Treilles, R., Gasperi, J., Saad, M., Tramoy, R., Breton, J., Rabier, A., Tassin, B., 2021.
160 Abundance, composition and fluxes of plastic debris and other macrolitter in urban runoff in a
161 suburban catchment of Greater Paris. *Water Res.* 192, 116847.
162 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116847>

163 Turner, A., Wallerstein, C., Arnold, R., 2019. Identification, origin and characteristics of bio-
164 bead microplastics from beaches in western Europe. *Sci. Total Environ.* 664, 938–947.
165 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.281>

166 van Emmerik, T., Kieu-Le, T.-C., Loozen, M., van Oeveren, K., Strady, E., Bui, X.-T., Egger,
167 M., Gasperi, J., Lebreton, L., Nguyen, P.-D., Schwarz, A., Slat, B., Tassin, B., 2018. A
168 Methodology to Characterize Riverine Macroplastic Emission Into the Ocean. *Front. Mar. Sci.*
169 5, 372. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00372>

170 Van Emmerik, T., Loozen, M., Oeveren, K. van, Buschman, F., Prinsen, G., 2019. Riverine
171 plastic emission from Jakarta into the ocean. *Environ. Res. Lett.* 14, 084033.
172 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab30e8>

173 van Emmerik, T., Mellink, Y., Hauk, R., Waldschläger, K., Schreyers, L., 2022a. Rivers as
174 Plastic Reservoirs. *Front. Water* 3.

175 Van Emmerik, T., Roebroek, C., Winter, W. de, Vriend, P., Boonstra, M., Hougee, M., 2020.
176 Riverbank macrolitter in the Dutch Rhine–Meuse delta. *Environ. Res. Lett.* 15, 104087.
177 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb2c6>

178 van Emmerik, T., Schwarz, A., 2020. Plastic debris in rivers. *WIREs Water* 7, e1398.
179 <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>

180 van Emmerik, T., Strady, E., Kieu-Le, T.-C., Nguyen, L., Gratiot, N., 2019a. Seasonality of
181 riverine macroplastic transport. *Sci. Rep.* 9, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50096-1>

182 van Emmerik, T., Tramoy, R., van Calcar, C., Alligant, S., Treilles, R., Tassin, B., Gasperi, J.,
183 2019b. Seine Plastic Debris Transport Tenfolded During Increased River Discharge. *Front.*
184 *Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00642>

185 van Emmerik, T., Vriend, P., Copius Peereboom, E., 2022b. Roadmap for Long-Term
186 Macroplastic Monitoring in Rivers. *Front. Environ. Sci.* 0.
187 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.802245>

188 Vriend, P., Roebroek, C.T.J., van Emmerik, T., 2020a. Same but Different: A Framework to
189 Design and Compare Riverbank Plastic Monitoring Strategies. *Front. Water* 2.
190 <https://doi.org/10.3389/frwa.2020.563791>

191 Vriend, P., van Calcar, C., Kooi, M., Landman, H., Pikaar, R., van Emmerik, T., 2020b. Rapid
192 Assessment of Floating Macroplastic Transport in the Rhine. *Front. Mar. Sci.* 7.
193 <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00010>

194 Weideman, E.A., Perold, V., Arnold, G., Ryan, P.G., 2020a. Quantifying changes in litter loads
195 in urban stormwater run-off from Cape Town, South Africa, over the last two decades. *Sci.*
196 *Total Environ.* 724, 138310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138310>

197 Weideman, E.A., Perold, V., Ryan, P.G., 2020b. Limited long-distance transport of plastic
198 pollution by the Orange-Vaal River system, South Africa. *Sci. Total Environ.* 727, 138653.
199 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138653>

200

201 **INDEX**

202

203

A

204

ANUE

205

Assemblée des nations Unies pour l'Environnement basée à Nairobi, Kenya, 8

206

C

207

CEDRE

208

Association loi 1901. Expert international en pollutions accidentelles des eaux organisé autour de cinq activités

209

soutien à l'intervention, planification, formation, analyses et tests, recherche. [https](https://www.cedre.fr/Menu-secondaire/A-la-une/Macrodéchets-et-microplastiques)

210

[//www.cedre.fr/Menu-secondaire/A-la-une/Macrodéchets-et-microplastiques](https://www.cedre.fr/Menu-secondaire/A-la-une/Macrodéchets-et-microplastiques), 23

211

M

212

MPW

213

Missmanaged Plastic Waste

214

terme employé par Jambeck et al. (2015) dans la première étude des flux de plastique en mer à l'échelle globale. Il désigne

215

les plastiques mal gérés, c'est-à-dire les plastiques présents dans l'environnement en dehors de tout contrôle des systèmes

216

de gestion des déchets, 32

217

O

218

Osaka Blue Ocean Vision

219

Vision d'Osaka pour un Océan Bleu du G20. Vise à atteindre zéro émission nette de déchets dans les océans d'ici 2050.,

220

8

221

OSPAR

222

OSPAR, du nom des conventions originales Oslo Paris, est le mécanisme par lequel 15 gouvernements et l'UE coopèrent

223

pour protéger le milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est, 10

224

R

225

REP, 9

226

Responsabilité Étendue du Producteur, 41

227

RIMMEL

228

Riverine and Marine floating macro litter Monitoring and Modelling of Environmental Loading, 10

229