



HAL
open science

ESTIMATION DES FLUX DE MACRODÉCHETS SUR LE BASSIN DE L'HUVEAUNE : COMPARAISON AVEC LE BASSIN DE LA SEINE

Romain Tramoy

► **To cite this version:**

Romain Tramoy. ESTIMATION DES FLUX DE MACRODÉCHETS SUR LE BASSIN DE L'HUVEAUNE : COMPARAISON AVEC LE BASSIN DE LA SEINE. [Rapport de recherche] Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains. 2022. <hal-03587652>

HAL Id: hal-03587652

<https://hal.science/hal-03587652v1>

Submitted on 24 Feb 2022

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.



HAL Authorization



Volet 2

ESTIMATION DES FLUX DE MACRODÉCHETS SUR LE BASSIN DE L'HUVEAUNE : COMPARAISON AVEC LE BASSIN DE LA SEINE

Auteur :

Romain Tramoy

Relecteurs/contributeurs :

Johnny Gasperi (LEE), Bruno Tassin (LEESU), Eric Blin (SUEZ-Eau France), Isabelle Poitou (MerTerre)



LEESU



Remerciements

Nous tenons à remercier toutes celles et ceux qui nous ont aidé à mener à bien cette étude dans un contexte difficile sur la période 2019/2020. En premier lieu le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire pour son financement et sa chargée de mission Bénédicte Jénot. Merci également à SUEZ Eau France en la personne d'Eric Blin, à SERAMM en la personne de Dominique Laplace et à l'association MerTerre en la personne d'Isabelle Poitou pour leur accueil, leur connaissance du terrain, l'acquisition et la fourniture des données utiles. Enfin merci aux contributions précieuses de Thierry Polard (SUEZ-Eau France).



Table des matières

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
2. RESUME AUX DECIDEURS.....	8
2.1. PREAMBULE	8
2.2. SITES D'ETUDE	8
2.3. PRINCIPAUX RESULTATS.....	8
3. METHODOLOGIE.....	13
3.1. SITES D'ÉTUDE	13
3.1.1. Les dégrilleurs	13
3.1.2. La plage de Pomègues (OSPAR)	16
3.2. ÉCHANTILLONNAGE.....	17
3.2.1. Les dégrilleurs	17
3.2.2. La plage de Pomègues.....	19
3.3. HYDROLOGIE DE L'HUVEAUNE.....	19
3.4. CALCUL DES QUANTITÉS DE DÉCHETS ET DES FLUX MASSIQUES	21
4. RÉSULTATS	23
4.1. COMPOSITION DES MATIÈRES ÉCHANTILLONNÉES	23
4.1.1. Débris organiques <i>versus</i> débris anthropiques	23
4.1.2. Les types de matériaux dans les différents sites.....	24
4.1.3. Top 10 des objets plastiques.....	25
4.2. QUANTIFICATION DES FLUX DE MACRODECHETS	29
4.2.1. Flux massique et concentration de macroplastiques dégrillés dans l'Huveaune	31
4.2.2. Flux massique et concentration de macrodéchets (plastiques + lingettes) dans les	
eaux issues du réseau unitaire (Géolide)	32
4.2.3. Flux massiques de macroplastiques déversés en mer par l'Huveaune.....	33
5. DISCUSSION	34
5.1. TYPOLOGIE DES MACRODECHETS DES DIFFERENTS SITES.....	34
5.2. NATURE ET ESTIMATION DES INCERTITUDES	37
5.3. FLUX COMPARES DANS L'HUVEAUNE, GEOLIDE ET LA MER	39
5.4. LES FLUX DE PLASTIQUES DANS L'HUVEAUNE ET LA SEINE.....	41
5.5. REMARQUES CONCLUSIVES ET PERSPECTIVES.....	43
6. REFERENCES.....	45
ANNEXE 1 : FONCTIONNEMENT DES DÉGRILLEURS ET ECHANTILLONNAGE ...	47
ANNEXE 2 : DONNÉES DE BASE	53

ANNEXE 3 : POPULATION DU BASSIN DE L'HUVEAUNE À L'AMONT DE PUGETTE	53
ANNEXE 4 : DÉCHETS DÉGRILLÉS.....	54
ANNEXE 5 : FLUX THÉORIQUES (JAMBECK)	54

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le présent rapport restitue les résultats du volet n° 2 du projet MacroPLAST (2019) qui porte sur l'estimation des flux de macrodéchets, en particulier des déchets plastiques, issus du bassin très urbanisé de l'Huveaune en comparaison avec ceux issus du bassin de la Seine. MacroPLAST s'inscrit dans un contexte plus général d'études menées à l'échelle nationale et internationale sur la pollution en macrodéchets et en particulier en macroplastiques, dont les détails sont à lire dans le rapport MacroPLAST (2019). La présente étude a été commandée par le Ministère de la Transition Ecologique (MTE) et s'est déroulée en 2020 sur des données acquises en 2017 et 2018.

Ce rapport traite des données portant sur la quantité et la qualité des macrodéchets issus de 3 sites :

- Du dégrillage des eaux de l'Huveaune, petite rivière urbaine d'environ 50 km de linéaire pour un débit de 2 m³/s en moyenne à Pugette où la rivière est entièrement dégrillée
- Du ruisseau des Aygalades
- De l'entrée de la STEP Géolide de Marseille.

Ces données ont été mises à disposition du LEESU par SERAMM, filiale de Suez et gestionnaire du Service d'Assainissement Marseille Métropole, et l'association MerTerre. Elles ont permis de :

- ❖ Identifier les catégories principales de macrodéchets générés par le bassin,
- ❖ Donner des ordres de grandeurs des flux de macrodéchets en entrée de Station d'épuration (STEP) et de macroplastiques transitant dans le bassin de l'Huveaune,
- ❖ Comparer les flux de macroplastiques avec ceux de l'estuaire de la Seine (projet MacroPLAST).

Dans le texte, les valeurs de flux (numériques ou massiques) seront arrondies pour simplifier la lecture et être cohérent avec l'approche visant à émettre des ordres de grandeurs. Dans ce rapport, seuls les macrodéchets anthropiques ont été analysés. Ici, les macrodéchets anthropiques font référence à tout déchet issu de l'activité humaine supérieur à 5 mm. Dans les faits, les macrodéchets analysés sont de l'ordre du centimètre et sont principalement en plastiques. Selon l'ADEME, « un déchet correspond à tout matériau, substance ou produit qui a été jeté ou abandonné car il n'a plus d'utilisation précise ».

On fera référence au terme « macrodéchet » pour la STEP plutôt qu'aux termes « plastiques » ou « macroplastiques » car les déchets majoritaires en entrée de STEP sont composés de lingettes dont la composition peut être naturelle (cellulose) ou synthétique (viscose) avec différents types de résines (PE,PP, PET, etc.). Cependant, dans l'Huveaune, les flux de macrodéchets concerneront exclusivement les plastiques, ultra-majoritaires. Les flux massiques ne sont pas quantifiés dans le ruisseau des Aygalades du fait du manque de données.

2. RESUME AUX DECIDEURS

2.1. PREAMBULE

Le premier volet de cette étude (MacroPLAST, 2019) avait pour objectif d'estimer les flux de macrodéchets, en particulier plastiques, transférés en mer *via* la Seine. Les flux estimés étaient de l'ordre de 100–200 t/an de macroplastiques déversés en mer *via* la Seine, mais avec un transfert chaotique modulé dans l'estuaire par l'influence relative de la marée et du débit du fleuve. Cette dynamique complexe favorise les échouages sur les berges justifiant ainsi leur nettoyage régulier afin de réduire les flux en mer.

Ce second volet de l'étude a pour objectif d'estimer les flux de macrodéchets transférés en mer *via* l'Huveaune sur la base de refus de dégrillage. Elle apporte également des éléments sur les flux transitant par les réseaux d'assainissement et collectés en tête de station à Géolide faisant écho à l'étude du CEREMA sur les macrodéchets issus des réseaux d'assainissement (Rognard and Finck, 2020).

2.2. SITES D'ETUDE

La description détaillée des sites d'études est à retrouver dans le §3.1. L'Huveaune est une petite rivière urbaine d'environ 50 km de linéaire pour un débit d'environ 2 m³/s en moyenne à la station de Pugette où la rivière est entièrement filtrée par des dégrilleurs.

Le ruisseau des Aygalades est un ruisseau urbain complètement anthropisé avec un mince filet d'eau par temps sec, entièrement dégrillé à la station Zoccola. Un seul échantillon a été prélevé sur ce site et les données de bassin sont lacunaires, ce qui n'a pas permis de quantifier des flux par habitant.

Géolide est la station d'épuration de la Métropole de Marseille située en face de Pugette. Les eaux du réseau unitaire de la métropole y sont filtrées par une succession de dégrilleurs dans le cadre du pré-traitement. Elles sont ensuite traitées avant rejet dans les Calanques.

Des données supplémentaires issues de la surveillance des déchets sur le littoral sur la plage de Pomègues sur l'île du Frioul ont également permis d'émettre des hypothèses sur la contribution locale de l'agglomération Marseillaise dans la pollution en macrodéchets.

2.3. PRINCIPAUX RESULTATS

L'analyse des refus de dégrillage a permis de :

- Déterminer les types de déchets collectés (§4.1)

- Proposer des ordres de grandeur de flux massiques de macroplastiques transitant dans l'Huveaune et rejetés en mer (§4.2.1 et §4.2.3). Cette partie a par ailleurs fait l'objet d'une publication scientifique dans Waste Management, une revue internationale de haut rang : <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.015>
- Proposer des ordres de grandeur de flux de macrodéchets (plastiques + lingettes) transitant dans le réseau unitaire par temps sec (§4.2.2),

Les flux transitant dans l'Huveaune ou dans le ruisseau des Aygalades sont essentiellement composés de déchets plastiques (77–98% en nombre), alors que ceux estimés en tête de station sont composés pour moitié de lingettes/textiles sanitaires et de plastiques autres. Hormis cette différence, la typologie des déchets est similaire avec des TOP 10 de déchets plastiques présentant une majorité de fragments non identifiés, d'emballages alimentaire ou de déchets liés au tabac. La plage de Pomègues intègre l'ensemble de ces flux avec un TOP 10 présentant des déchets communs à la fois aux TOP 10 en rivière (e.g. emballages, fragments) et au TOP 10 des déchets transitant par les réseaux, i.e. les déversoirs d'orage (e.g. cotons-tiges, facilement transportables).

Les déchets n'ayant pas été pesés, il a été nécessaire de convertir les flux numériques en flux massiques. Dans l'Huveaune, cette conversion s'est faite sur la base de ratios issus de la littérature pour les plastiques exclusivement (1,0–5,3 g/macroplastique), les macroplastiques étant largement majoritaires et ne disposant pas de ratios pour les autres types de déchets. Pour Géolide, la conversion s'est faite sur la base de la masse d'une lingette (3–4 g/macrodéchet), dont la masse est comprise dans la fourchette précédente. Que ce soit dans les rivières ou en tête de station d'épuration, les flux estimés sont par conséquent représentatifs des flux de macrodéchets totaux.

Les flux de macrodéchets (plastiques + lingettes) dégrillés par temps sec en tête de station à **Géolide** sont de l'ordre de **35–45 t/an**. Ce sont les déchets collectés. Ceux transitant dans l'Huveaune (plastiques seuls) sont de l'ordre de **1–6 t/an, dont les 2/3 sont collectés par les dégrilleurs**.

Ramené aux populations respectives du bassin à l'amont des dégrilleurs (512 000 habitants) et des usagers raccordés à la station (1 Million d'habitants), les flux de macrodéchets par habitants sont de l'ordre de **2–10 g/hab/an dans l'Huveaune** contre **35–45 g/hab/an en tête de station**. La quantité de déchets transitant dans les réseaux est donc très significative, comme évoqué dans un récent rapport du CEREMA appelant à limiter les rejets par temps de pluie pour réduire les flux issus des réseaux.

Les flux de macrodéchets (plastiques) transitant dans l'Huveaune (1–6 t/an) sont bien inférieurs aux flux transitant dans l'estuaire de la Seine (140–250 t/an) du fait de la plus forte population sur le bassin de la Seine. Mais les flux estimés par habitants sont du même ordre de grandeur : 9–15 g/hab/an dans l'estuaire de la Seine et 2–10 g/hab/an dans l'Huveaune, soit **des flux de macroplastiques de l'ordre de 10 g/hab/an dans les milieux**. Cet ordre de grandeur peut potentiellement être répliqué sur tout le territoire compte tenu de la similarité des résultats entre la Seine et l'Huveaune, bien que ce soient deux bassins très différents et que les méthodes de quantification utilisées diffèrent également. D'autres bassins nécessiteraient d'être étudiés pour vérifier cette hypothèse.

La véritable différence entre les deux bassins réside dans les flux exportés à la mer, ou plutôt dans l'abattement de ces flux. **Dans l'estuaire de la Seine, les collectes sur berge sont capables d'écarter jusqu'à 20% du flux transitant, tandis que les dégrilleurs à Pugette écartent jusqu'à 65% des flux.** Par ailleurs, les flux exportés en Mer *via* la Seine sont surestimés (cf. Macroplast 2019), alors que ceux exportés en Mer *via* l'Huveaune sont sous-estimés, car ils reposent sur la fraction des déchets collectés au sein des dégrilleurs (i.e. 1–4 t/an) ignorant par nature les déchets qui passent à travers ou qui ne sont pas dégrillés. Or, c'est durant les événements pluvieux exceptionnels (<2% du temps dans l'année) qu'une partie des déchets ne sont pas dégrillés et terminent en mer *via* un bypass à Pugette. Toutefois, le volume d'eau déversé et la concentration en macrodéchets lors de ce type d'évènement ayant été estimés – notamment sur la base de déchets dégrillés lors d'un temps de pluie exceptionnel –, **le flux de macrodéchets (plastiques seuls) déversé en mer *via* l'Huveaune a pu être estimé à environ 0,5–2 t/an, soit 1–4 g/hab/an, contre 120–220 t/an, soit 7–13 g/hab/an pour la Seine.** Cela souligne l'efficacité des infrastructures mis en place sur l'Huveaune pour limiter les rejets de macrodéchets à la mer. Néanmoins, dégriller toute une rivière n'est pas anodin car cela nécessite d'anthropiser toute une section de rivière, sacrifiant ainsi toute continuité écologique. De plus, cela ne règle en rien la dissémination des déchets à l'amont. Cette anthropisation poussée à l'extrême pose, plus largement, des questions relatives aux politiques de développement « durable » en zones urbaines et au rapport à la nature qu'entretiennent nos sociétés. **Une analyse coût/bénéfice environnementale est donc nécessaire** pour décider si de telles infrastructures sont nécessaires ou pas, **en prenant en compte d'autres paramètres que les macrodéchets tels que : la biodiversité, la continuité écologique, le risque de crue, les services écosystémiques des rivières, les activités de transport fluviales, etc.**

Enfin, la pression anthropique normalisée à la surface du bassin de l'Huveaune (~1100 hab/km²) est beaucoup plus forte que dans le bassin de la Seine (~200 hab/km²), avec un effet

de dilution beaucoup plus faible dans l'Huveaune (~2 m³/s) que dans la Seine (~500 m³/s). Cela donne une **impression de pollution visuelle plus forte dans l'Huveaune** que dans l'estuaire de la Seine.

L'ensemble des résultats comparés a été regroupé dans une **Figure de synthèse** ci-après.

Comme évoqué dans l'étude MacroPLAST, les fuites étant minimes au regard de la production/consommation de plastique dont la croissance est toujours exponentielle, il s'avère totalement illusoire de régler le problème seulement par des approches curatives, technologiques et coûteuses. Dans le cas de l'Huveaune par exemple, les fuites à la mer se produisent durant les épisodes de pluie intenses, qui sont justement des épisodes où beaucoup de déchets vont être transférés de la voirie au milieu et de l'amont vers l'aval. Ces solutions curatives qui consistent à capter les macrodéchets et donc faire barrage à l'écoulement apparaissent alors en contradiction avec la nécessité de laisser s'écouler l'eau pour éviter les inondations. Leur intérêt doit être porté sur la surveillance des flux que ces dispositifs permettent.

C'est donc bien en amont, au niveau de la production/consommation de plastique, de la prévention de la production de déchets puis de leur gestion, que se joue l'enjeu de la réduction de la pollution des milieux récepteurs. Le projet Plastoc en cours apportera de nouveaux éléments, au plus près des sources urbaines, afin d'enrichir les données à mêmes d'orienter les politiques publiques sur cet enjeu.

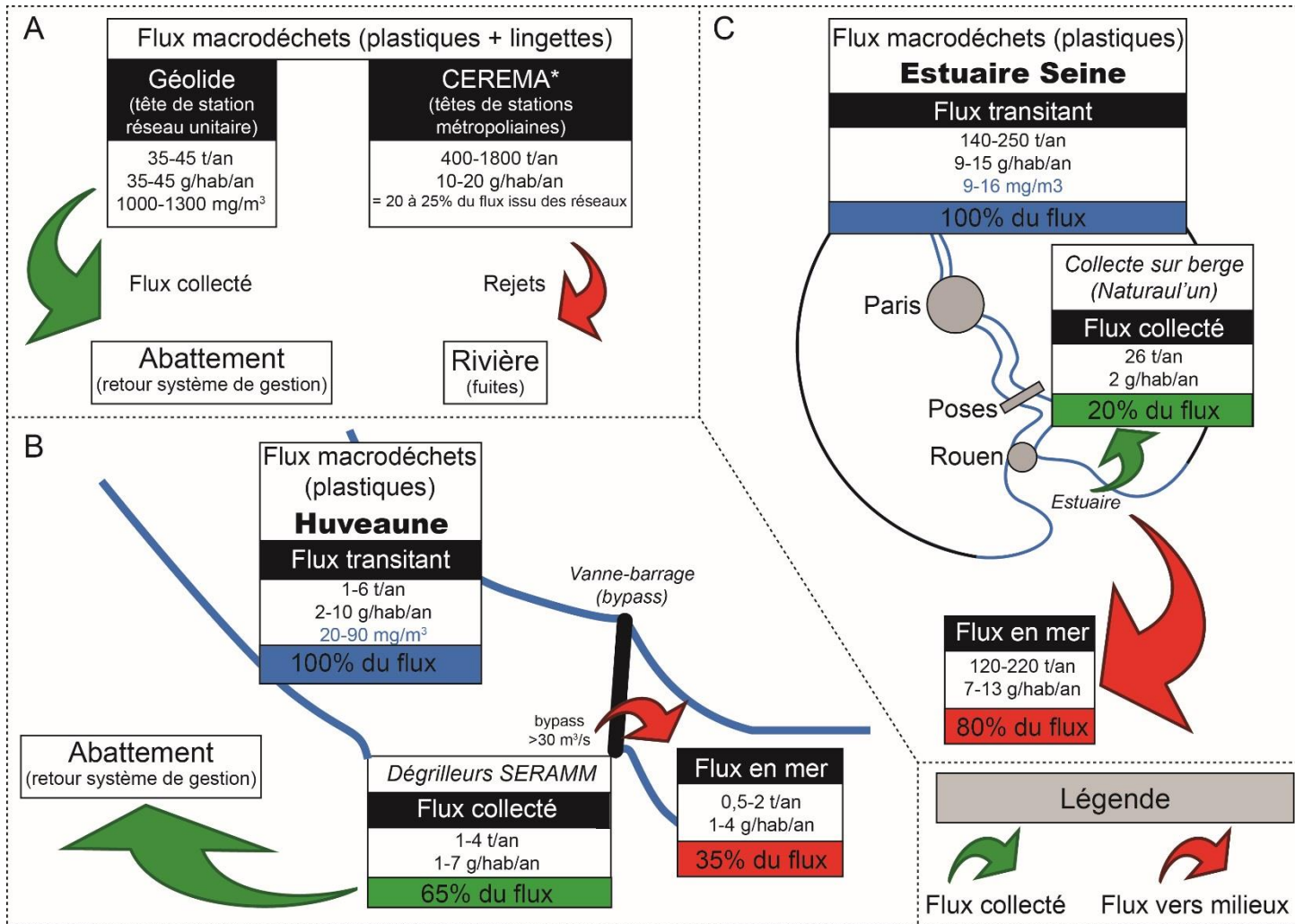


Figure de synthèse : Flux de macrodéchets comparés entre : A, la tête de station (Géolide) ; B, le bassin de l'Huveaune et C, celui de la Seine (d'après MacroPLAST 2019). *Fuite estimée de macrodéchets en tête de station à l'échelle métropolitaine (Rognard et Finck, 2020) à comparer avec les flux captés à l'échelle de la station Géolide. Les « macrodéchets » en tête de station d'épuration concernent à la fois les lingettes (qui ne peuvent être considérées comme des plastiques) et les plastiques en raison de la codominance de ces deux types de matériaux. L'estimation massique des flux a été conduite sur la base de la masse d'une lingette (3-4 g/macrodéchet), dont la masse est comprise dans la fourchette des masses utilisée pour l'estimation des flux de macroplastiques (1,0-5,3 g/macroplastique). En rivière (Seine et Huveaune), les « macrodéchets » sont très majoritairement composés de plastiques (77-98%). Seuls les macroplastiques ont donc été considérés dans le calcul des flux de macrodéchets. Que ce soit dans les rivières ou en tête de station d'épuration, les flux estimés sont par conséquent représentatifs des flux de macrodéchets totaux.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1. SITES D'ÉTUDE

Les sites étudiés se décomposent en deux catégories principales : 1) les dégrilleurs sur deux rivières urbaines (l'Huveaune et le ruisseau des Aygalades) et une station d'épuration (Géolide), et 2) la plage de Pomègues sur l'île du Frioul.

3.1.1. Les dégrilleurs

Des prélèvements opportunistes ont été effectués dans les refus de dégrillage de l'Huveaune (3 prélèvements) et des Aygalades (1 prélèvement), ainsi que dans la station d'épuration Géolide reliée à un réseau d'assainissement unitaire et séparatif (1 prélèvement ; **Figure 1**). Seule la branche du réseau unitaire par temps sec est concernée par l'étude. Tous les sites se trouvent dans la ville de Marseille, la deuxième ville la plus peuplée de France avec 870 000 habitants (<https://www.insee.fr>).

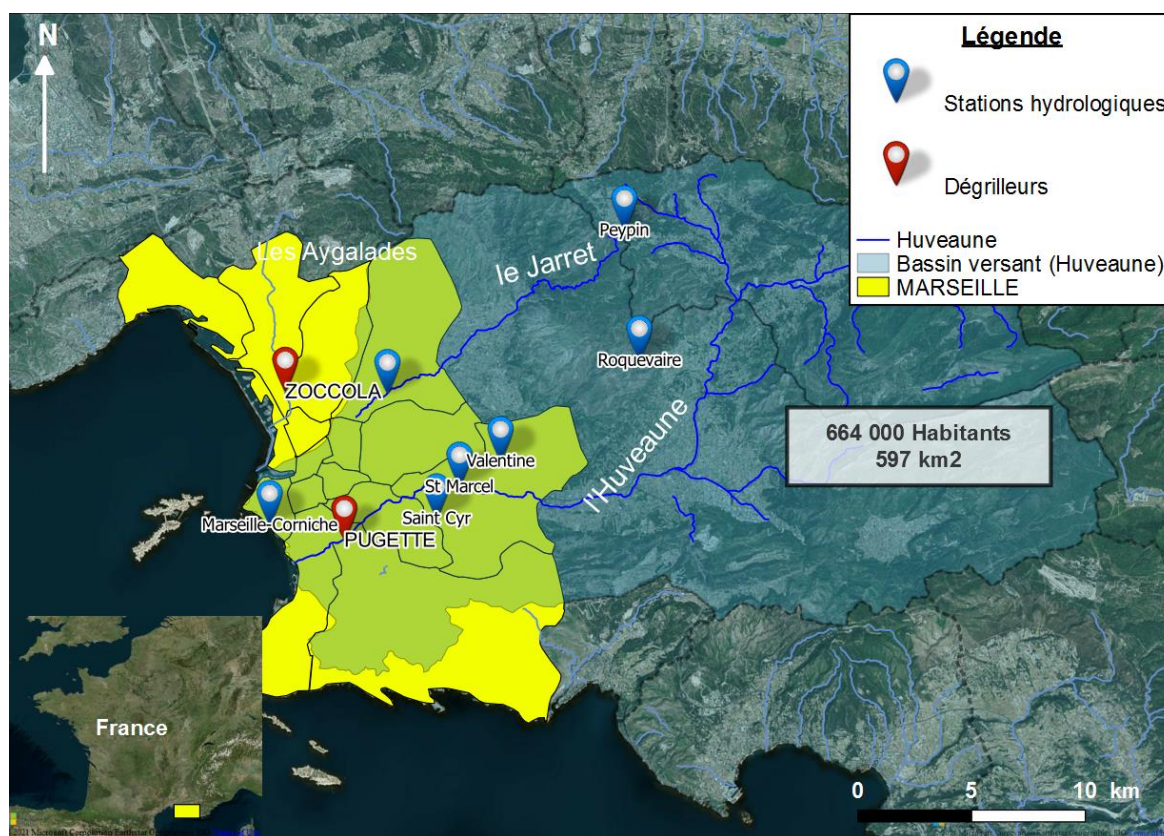


Figure 1 : Bassin versant de l'Huveaune et sites d'étude (dégrilleurs) dans la ville de Marseille. Les sites équipés de dégrilleurs aux lieux-dits Zoccola et Pugette sont localisés respectivement sur le ruisseau des Aygalades et de l'Huveaune. La STEP Géolide est également située à Pugette. Malpasset et St Marcel sont des stations hydrologiques qui mesurent respectivement le débit du Jarret et de l'Huveaune. Marseille-Corniche, Roquevaire et Peypin sont des stations météorologiques dont sont issues des données de précipitations publiques représentatives de l'ensemble du bassin de l'Huveaune (<https://www.infoclimat.fr/climato/>). Des données de précipitation ont également été enregistrées par SERAMM dans les stations météorologiques de Saint Cyr, Valentine et Pugette, au plus près des dégrilleurs de l'Huveaune.

Les rivières urbaines

L'Huveaune est un fleuve d'environ 50 km et son bassin versant est de 597 km² avec plus de 664 000 habitants (**Figure 1**; <https://www.syndicat-huveaune.fr/le-bassin-versant-de-lhuveaune/caracteristiques-du-bassin-versant-de-lhuveaune/>). Le Jarret est un affluent de l'Huveaune. Il la rejoint juste avant les dégrilleurs de Pugette où l'ensemble de l'Huveaune est dégrillée, puis redirigée par canalisations souterraines vers l'émissaire des Calanques de Cortiou, au Sud de Marseille. Le dégrillage des eaux de l'Huveaune s'effectue à Pugette (**Figure 2**) de manière automatique par une succession de dégrilleurs alignés les uns à côté des autres (**Annexe 1**). Ils entrent en action en fonction du débit de la rivière ($2,4 \pm 2,7$ m³/s en moyenne sur la période 2016-2018) grâce à un système de hauteur d'eau seuil. Entre 0 et 5 m³/s, la hauteur d'eau est la plus faible, toute l'eau de l'Huveaune passe à travers deux dégrilleurs d'entrefer 30 mm. Entre 5 et 10 m³/s, l'eau atteint un premier seuil qui lui permet de traverser deux dégrilleurs supplémentaires d'entrefer 70 mm. Entre 10 et 30 m³/s, l'eau atteint un second seuil et peut s'échapper par une ouverture non dégrillée. Dans tous les cas, toutes ces voies transfèrent les eaux vers des dessableurs, puis vers l'émissaire de Cortiou. Ce n'est qu'au-delà de 30 m³/s que le surplus d'eau peut être directement transféré vers la plage du Prado *via* la vanne barrage en reprenant le lit naturel de l'Huveaune (**Figure 2**). Tous les déchets collectés par les dégrilleurs automatiques sont convoyés par tapis roulant dans la même benne à déchets.



Figure 2 : Configuration du site de Pugette et de ses dégrilleurs. L'Huveaune est en permanence dégrillée par une succession de dégrilleurs. Puis les eaux sont conduites vers des dessableurs et enfin vers l'émissaire de Cortiou au Sud (Cf. **Annexe 1** pour le fonctionnement en cascade des dégrilleurs et **Figure 15** pour un schéma complémentaire). La vanne barrage (bypass) permet de contrôler le débit de l'Huveaune et de préserver l'infrastructure. A partir de 30 m³/s, une surverse s'opère en direction de la plage du Prado.

Le ruisseau des Aygalades mesure environ 20 km et traverse les quartiers Nord de Marseille (*Figure 3*). Le même procédé de dégrilleurs en cascade est appliqué sur le ruisseau des Aygalades à Zoccola, mais avec une configuration différente de celle de l’Huveaune. Les dégrilleurs ne sont pas sur la même ligne (*Annexe 1*). Le lit du ruisseau est d’abord détourné vers un dégrilleur d’entrefer 30 mm. Puis, lorsque le débit augmente, une partie du flux est redirigé vers des dégrilleurs d’entrefer 70 mm à 50 m au Sud des premiers dégrilleurs. Les eaux dégrillées des Aygalades sont redirigées vers le Grand Port Maritime de Marseille (GPMM) et pas vers Cortiou. Lors de fortes pluies, les eaux peuvent passer au-dessus de la vanne barrage et reprendre le lit naturel du ruisseau, sans dégrillage, vers le GPMM. A Zoccola, un seul prélèvement correspondant à un temps de pluie a été réalisé. Il servira plus de point de contrôle qualitatif aux autres prélèvements réalisés dans l’Huveaune que d’une base de données solide à partir de laquelle calculer des flux de déchets.

Que ce soit dans l’Huveaune ou les Aygalades, les eaux des deux rivières sont tout ou partie dégrillées constamment, par temps sec ou par temps de pluie. Lors de fortes pluies une partie du flux est cependant évacuée sans dégrillage vers la mer. Vers la plage du Prado pour l’Huveaune et dans le GPMM pour les Aygalades. Chaque site est équipé d’une vanne barrage en amont d’un bypass afin d’éviter tout dommage causé aux infrastructures lors d’événements pluvieux exceptionnels.

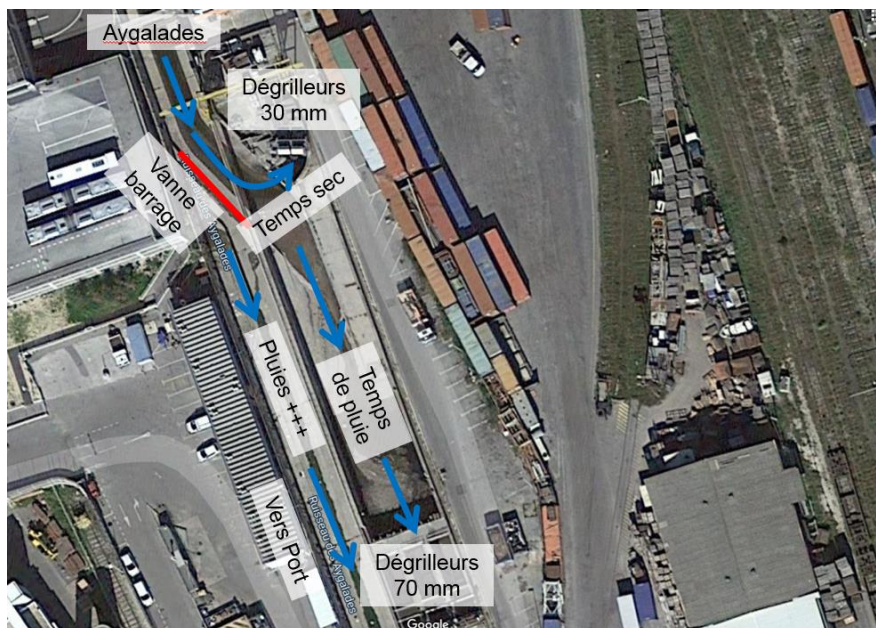


Figure 3 : Configuration du site de Zoccola et de ses dégrilleurs. Le ruisseau des Aygalades est en permanence dégrillée par une succession de dégrilleurs sur un principe similaire à Pugette (Cf. *Annexe 1* pour le fonctionnement en cascade des dégrilleurs). Les eaux sont ensuite conduites vers un émissaire dans le GPMM.

GÉOLIDE

Géolide est la station de traitement souterraine des eaux usées de Marseille Métropole (réseau séparatif et unitaire) incluant vingt autres communes autour de Marseille. Elle concerne un réseau d'assainissement de 1850 km de canalisations avec notamment 350 km de réseau unitaire, 900 km de réseau séparatif d'eau usée, 550 km de réseau séparatif d'eau pluvial et 50 km de ruisseaux à ciel ouvert (SERAMM, communication personnelle). Elle est équipée de bassins de rétention d'une capacité de 90 000 m³ (dont le bassin de Ganay de 50 000 m³) afin de collecter et stocker les eaux usées et de ruissellement lorsque le réseau unitaire monte en charge et de limiter les déversements. Lorsque les conditions le permettent, les eaux sont redirigées vers la STEP pour y être traitées avec une capacité de traitement nominale de 325 500 m³ par jour, soit 1,8 Million équivalent habitants ou 1 Million d'habitants raccordés (<https://www.seram-metropole.fr/qui-sommes-nous/identite/chiffres-cles/>). A la station Géolide, les eaux entrantes issues du réseau unitaire sont successivement dégrillées par trois dégrilleurs dont l'entrefer varie par ordre décroissant de 70 mm à 15 mm. Cependant, tous les matériaux dégrillés aboutissent dans la même benne. Ensuite, un traitement secondaire est appliqué à l'eau brute avec élimination des matières organiques par les procédés Biostyrs®, Actiflo® et Aquilair®. Enfin, les eaux traitées sont renvoyées à la mer, au sud de Marseille, au même endroit que les eaux redirigées de l'Huveaune (<http://www.calanques-parcnational.fr/fr/des-connaissances/un-territoire-fragile-et-menace/pollutions/rejets-des-stations-depuration/cortiou>). Un déversoir d'orage en amont de la station rejette les eaux non traitées dans l'Huveaune quelques mètres avant Pugette en cas de très fortes pluies et de débordement des réseaux. Mais les bassins de rétention ont été spécifiquement mis en place pour limiter ces rejets en-dessous des 5% légaux.

3.1.2. La plage de Pomègues (OSPAR)

La plage de Pomègues est localisée sur l'île de Frioul à l'Ouest de Marseille (**Figure 4**). C'est une plage de sable, de galets et de gravillons qui présente des échouages de déchets récurrents (<https://www.remed-zero-plastique.org/evenements/ljfea-2019-09-ramassage-dcsmm-plage-de-pomegues-frioul>). Cette plage est suivie quatre fois par an par l'association MerTerre dans le cadre d'une surveillance nationale des déchets sur le littoral, pilotée par le Cedre.

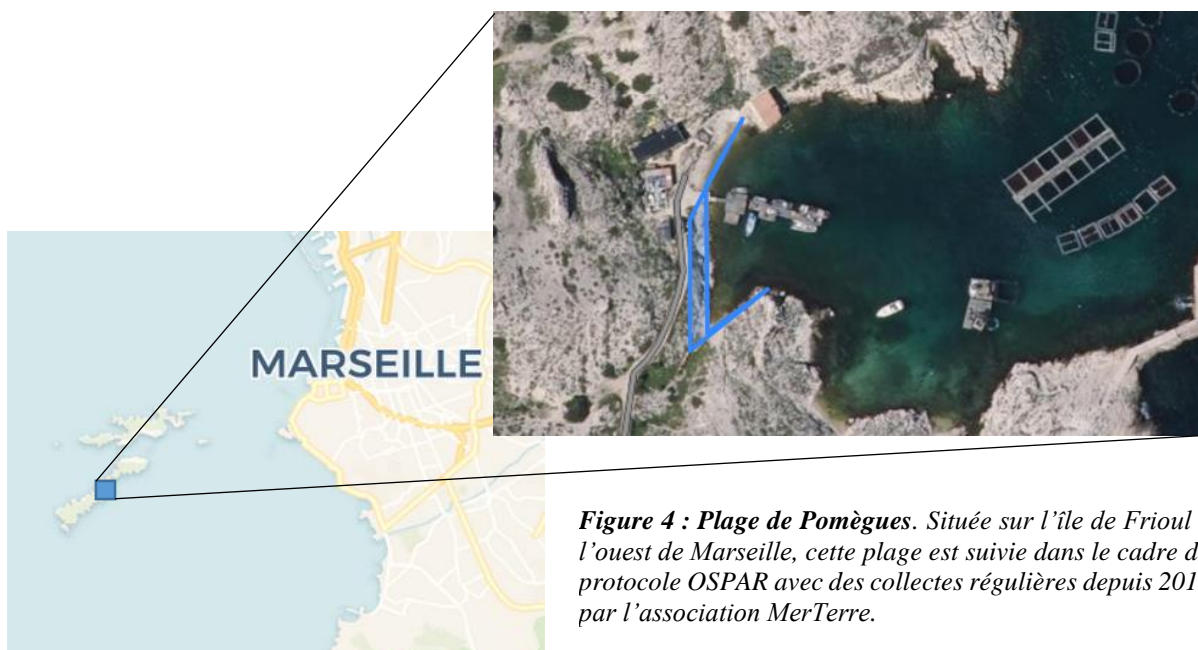


Figure 4 : Plage de Pomègues. Située sur l'île de Frioul à l'ouest de Marseille, cette plage est suivie dans le cadre du protocole OSPAR avec des collectes régulières depuis 2017 par l'association MerTerre.

3.2. ÉCHANTILLONNAGE

3.2.1. Les dégrilleurs

Tous les refus de dégrillage analysés sont issus de dégrilleurs automatiques, limitant ainsi le colmatage. Puis, tous les débris captés sont conduits dans des bennes à déchet. Sur chaque site, il y a une benne commune où les déchets collectés sont mis au rebut. Dans tous les cas, les bennes sont enlevées lorsqu'elles sont complètement remplies, ce qui permet d'avoir des volumes collectés relativement précis.

Lors de l'échantillonnage, le contenu des bennes a été vidé sur le sol bétonné. Toutes les étapes du protocole sont explicitées ci-après et illustrées par des photos dans l'*Annexe 1 (Photos 7 à 11)*. Le protocole d'échantillonnage a consisté à étaler les déchets de la benne considérée, les faire sécher à l'air libre, puis de prendre aléatoirement des déchets en faisant une tranchée à l'aide d'une pelle au milieu du tapis de déchets. Les débris organiques et les déchets anthropiques issus de ce prélèvement ont été séparés et leur volume respectif mesuré à l'aide de seaux. Les déchets n'étant pas complètement secs, leur masse n'a pas pu être mesurée. Enfin, les déchets anthropiques restants ont été triés et comptés selon le protocole OSPAR/DCSMM (Technical Subgroup on Marine Litter, 2013) en disposant les déchets par paquets. Ce qui a abouti à des nombres de déchets anthropique par unité de volume.

Les volumes de matières prélevés sont répertoriés dans le *Tableau 1*. Pour chaque benne, le temps nécessaire à son remplissage a été mesuré. Dans le ruisseau des Ayalades, une seule benne correspondant à un temps de pluie a été échantillonnée en novembre 2017. Dans

l’Huveaune, trois bennes correspondant à un temps sec (août 2018), un temps de pluie (novembre 2017) et un temps de pluie exceptionnel ayant occasionné une crue de l’Huveaune (août 2018), ont été échantillonnées. La signification hydrologique et météorologique de ces trois temps est précisée dans le §3.3.

Dans la station Géolide, les bennes sont remplies et enlevées quotidiennement. Ici, une seule benne a été échantillonnée, par temps sec, correspondant donc à environ une journée d’accumulation. L’échantillonnage a été effectué le 14 décembre 2017, suivant deux pluies, les 10 (8,6 mm) et 11 (17,0 mm) décembre 2017. A la date d’échantillonnage, la station traitait environ 100 000 m³/j d’eau issue du réseau unitaire, par temps sec. L’échantillon est donc représentatif du flux global transitant dans les réseaux par temps sec, c’est-à-dire eaux usées et rejets directs (*via* les incivilités ou le vent) au niveau des avaloirs, à partir du moment où la voirie n’est plus nettoyée à grande eau (SERAMM, communication personnelle).

Tableau 1 : Stratégie d’échantillonnage des refus de dégrillage à Pugette (Huveaune), Zoccola (Aygaldes) et GÉOLIDE. *Le temps d’accumulation correspond au temps nécessaire au remplissage complet de la benne.

	Pugette (sec)	Pugette (pluie)	Pugette (pluie except.)	Zoccola (pluie)	Géolide
Echantillonnage	18/08/2017	16/11/2017	23/08/2018	22/11/2017	14/12/2017
Période d’accumulation	20/07/2017 09/08/2017	01/11/2017 07/11/2017	07/08/2018 09/08/2018	06/11/2017 07/11/2017	14/12/2017
Temps d’accumulation* (jour)	21	7	3	2	1
Volume benne pleine (l)	19 000	24 000	28 000	10 000	9 747
Volume prélevé (l)	598	1 000	356	510	75
Ratio vol. prélevé/vol. total (%)	3.1	4.2	1.3	5.1	0.8
Taux de remplissage benne (l/jour)	905	3 429	9 333	5 000	9 747

3.2.2. La plage de Pomègues

La plage de Pomègues a été nettoyée lors de campagnes successives, espacées de 3 mois, les 10/01/2017, 13/04/2017, 06/07/2017, 05/10/2017, 05/01/2018, 27/04/2018, 18/06/2018 et 27/09/2018. Lors de chaque campagne, tous les déchets visibles ($> 0,5$ cm) ont été ramassés sur 100 m de plage, puis triés et comptés selon le même protocole OSPAR/DCSMM que pour les déchets dégradés.

3.3. HYDROLOGIE DE L'HUVEAUNE

Sur la période 2017-2018, le débit moyen de l'Huveaune est de $2,4 \pm 2,7$ m³/s à Pugette avec une valeur médiane de 1,8 m³/s (min = 0,1 m³/s et max = 70,2 m³/s), ce qui correspond à la somme des débits d'eau enregistrés à Malpasset (sur le Jarret) et à St Marcel (sur l'Huveaune ; **Figure 1**). L'année 2017 a été particulièrement sèche, tandis que 2018 a été particulièrement humide (**Figure 5** ; cf. **Annexe 2**). Afin de déterminer le temps moyen des périodes de temps sec, de temps de pluies et de temps de pluie exceptionnel sur une année moyenne à l'échelle du bassin, l'occurrence et l'ampleur des précipitations journalières ont été compilées sur le bassin versant aux stations de Marseille Corniche, Roquevaire et Peypin en 2017 et 2018 (<https://www.infoclimat.fr/climato/> ; **Figure 1**). Sur la base des seuils d'alerte de précipitation de la station Géolide (SERAMM, communication personnelle.), les précipitations journalières caractérisant des périodes de temps sec, temps de pluie et temps de pluie exceptionnels ont été définies de la manière suivante :

- Temps secs < 2 mm
- $2 \text{ mm} \leq$ temps de pluie < 30 mm
- $30 \text{ mm} \leq$ temps de pluie exceptionnel entraînant une crue et de potentiels déversements au niveau de la vanne-barrage

Ainsi, en moyenne, le temps sec correspond à 87,5% du temps, le temps de pluie à 11,1%, et le temps de pluie exceptionnel à 1,5% sur 2017 et 2018 (**Annexe 2**).

Les volumes d'eau déversés vers la plage du Prado sont par ailleurs disponibles pour 2018 et 2019 avec $6,2 \cdot 10^6$ m³/an en moyenne sur la période (Données SERAMM). Au total, trois échantillons ont été analysés à Pugette. Un pour chaque période hydrologique définie par l'occurrence et l'ampleur des précipitations maximales enregistrées aux stations Valentine, St Cyr et Pugette (**Figure 1**). Le régime des précipitations dans ce petit bassin versant entraîne rapidement des changements dans l'écoulement de l'eau au site d'étude (**Figure 5**). La période désignée comme « temps sec » à Pugette correspond à 21 jours d'accumulation de matières

dans les bennes à ordures durant l'été entre le 20 juillet et le 9 août 2017, sans précipitations significatives et avec un débit d'eau moyen à Pugette de $0,9 \pm 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Durant cette période, l'ensemble du volume d'eau a été dégrillé à 3 cm.

La période désignée comme « temps de pluie » correspond à 7 jours d'accumulation de matière dans les bennes en automne entre le 1^{er} novembre et le 7 novembre 2017 avec un seul événement pluvieux survenu le 5 novembre. Les précipitations cumulées ont été de 49,2 mm avec un débit d'eau maximal de $14,8 \text{ m}^3/\text{s}$ et une moyenne de $1,3 \pm 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sur l'ensemble de la période. Pendant cette pluie, le débit était en moyenne de $14,0 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant au moins 3 heures. Cela signifie que $43\,200 \text{ m}^3$ n'ont pas été dégrillés du tout et que $54\,000 \text{ m}^3$ ont été dégrillés à 7 cm, soit respectivement 28,5% et 35,7% du volume total à ce moment-là.

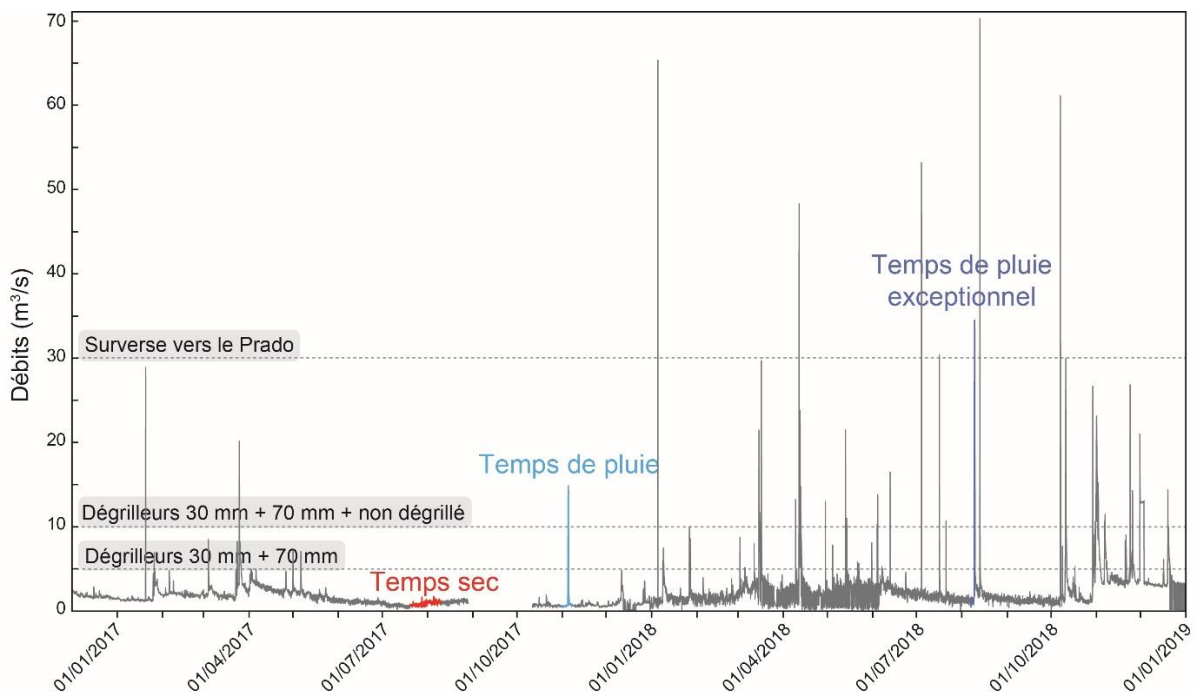


Figure 5 : Débits de l'Huveaune à Pugette sur la période 2017-2018. Les débits de l'Huveaune à Pugette correspondent à la somme des débits de l'Huveaune mesurés à Saint-Marcel (Huveaune) et du Jarret (affluent de l'Huveaune) mesurés à Malpasset. Le débit moyen de l'Huveaune sur cette période était de $2,4 \pm 2,7 \text{ m}^3/\text{s}$. En rouge, la période correspondant au temps sec, en bleu clair, le temps de pluie et en bleu foncé le temps de pluie exceptionnel entraînant une crue. Les données brutes sont regroupées dans l'Annexe 2. Les débits seuils d'entrée en action des différents dégrilleurs sont également indiqués.

La période désignée comme « temps de pluie exceptionnel » correspond à 3 jours d'accumulation de matières dans les bennes en été entre le 7 août et le 9 août 2018, mais l'événement pluvieux lui-même s'est produit le 9 août. Les précipitations cumulées étaient de 76,6 mm avec un débit moyen à Pugette de $4,5 \pm 7,9 \text{ m}^3/\text{s}$ et un pic de courte durée à $34,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (1h). Pendant cet épisode, le débit a été en moyenne de $23,0 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant au moins 9 heures.

Cela qui signifie que 421 200 m³ n'ont pas été dégrillés du tout - dont 15 840 m³ ont été déversés vers la plage du Prado - et 162 000 m³ ont été dégrillés à 7 cm, soit respectivement 56,5% et 21,7% du volume total à ce moment-là. Les 21,8 % restants ont donc été dégrillés à 3 cm. Ainsi, moins de la moitié du volume d'eau a été dégrillée durant cet évènement exceptionnel.

3.4. CALCUL DES QUANTITÉS DE DÉCHETS ET DES FLUX MASSIQUES

Pour chaque campagne d'échantillonnage, le nombre de déchets anthropiques échantillonné a été extrapolé au volume des bennes afin de calculer le nombre de déchets accumulés dans les bennes pendant la période d'accumulation. Puis, ce nombre a été normalisé à la période d'accumulation afin de calculer un taux d'accumulation journalier de déchets dans les bennes. Comme toute la colonne d'eau est dégrillée, cela correspond approximativement au nombre de déchets anthropiques transitant par jour dans les rivières ou dans la station Géolide.

Compte tenu de la difficulté de convertir les nombres en masses, ainsi que de la large prédominance des déchets plastiques dans les bennes, **seuls les flux massiques de plastique ont été calculés dans l'Huveaune**. Des études récentes ont en effet établi des ratios de masse/déchet permettant cette conversion (Van Emmerik et al., 2018; Schöneich-Argent et al., 2020; Vriend et al., 2020). **Dans la station Géolide, on parlera de flux de « macrodéchets »**, les lingettes étant le déchet majoritaire (non considérés comme des plastiques à part entière).

Une estimation grossière des flux massiques de plastiques F_P (t/an) transitant dans l'Huveaune a été réalisée à l'aide de l'équation 1. Elle consiste à extrapoler le flux de plastique journalier le plus petit – correspondant au temps sec – à toute l'année, afin d'obtenir une estimation basse des flux massiques annuels. La même chose a été effectuée pour le flux journalier le plus fort – correspondant au temps de pluie exceptionnel – afin d'obtenir une estimation haute. Afin de calculer un flux massique journalier de macroplastiques F_P , le nombre de déchets anthropiques accumulés par jour N est multiplié par la fraction de plastique f_P , puis extrapolé au temps t et enfin converti en masse grâce au ratio m_p . Ce ratio est issu de la distribution de masse de milliers de macroplastiques collectés dans 3 rivières allemandes avec une valeur médiane de 1,0 g/macroplastique et une valeur moyenne de 5,3 g/plastique (Schöneich-Argent et al., 2020, 2021). Dans tout le rapport, la valeur médiane a été considérée comme une limite basse pour le calcul des flux de macroplastiques, alors que la valeur moyenne a été considérée comme une limite haute, aboutissant à un intervalle de confiance de 1 à 5

environ. Avec deux valeurs de m_p et deux valeurs de flux de déchets plastiques journaliers N_{DP} , l'Equation 1 aboutit nécessairement à de larges incertitudes.

$$F_p = N \times f_p \times t \times m_p = N_{DP} \times t \times m_p \quad \text{Équation 1}$$

Afin de mieux limiter ces incertitudes, une autre méthode a été appliquée. Elle a consisté à pondérer les flux de plastiques journaliers estimés pour les différentes périodes hydrologiques – temps sec (noté *sec*), temps de pluie (noté *pluie*) et temps de pluie exceptionnel (noté *PLUIE*) – à la fraction de temps correspondante à ces périodes sur une année hydrologique moyenne (Equation 2). Avec l'équation 2, l'intervalle de confiance est réduit aux valeurs du ratio m_p .

$$F'_p = (N_{DP}(sec) \times t(sec) + N_{DP}(pluie) \times t(pluie) + N_{DP}(PLUIE) \times t(PLUIE)) \cdot m_p$$

$$\text{Équation 2}$$

Cette équation permet également de calculer la contribution relative de chaque période de temps au flux total de macroplastiques.

Enfin, les flux massiques de macroplastiques dans l'Huveaune calculés sur la base de l'équation 2 ont été rapportés à la population et aux volumes d'eau dégradés, en considérant seulement la partie amont de Pugette. L'estimation de la population dans le bassin de l'Huveaune à l'amont de Pugette a été effectuée sur la base d'un découpage des communes situées sur cette partie du bassin uniquement, en considérant une répartition homogène de la population (*Annexe 3*). Avec ce découpage, la population considérée s'élève à ~ 512 000 habitants contre 664 000 sur l'ensemble du bassin. **Le chiffre de 512 000 habitants sera donc retenu pour les estimations de flux de macroplastiques par habitant.**

Une démarche similaire à l'équation 1 a été suivie pour calculer les flux de déchets anthropiques dans la station Géolide. Cependant le ratio masse/nombre appliqué (3 à 4 g/déchet) a été tiré d'un rapport du CEREMA qui traite des flux de macrodéchets issus des réseaux d'assainissement (Rognard et Finck, 2020). Par ailleurs, les textiles sanitaires majoritairement composés de viscose sont bien des fibres anthropogéniques au sens large mais leur classification en tant que plastique fait encore débat (Rognard and Finck, 2020). D'où l'utilisation du terme « macrodéchets » lorsqu'il s'agit des flux calculés pour la station Géolide.

4. RÉSULTATS

4.1. COMPOSITION DES MATIÈRES ÉCHANTILLONNÉES

Il existe des disparités qualitatives dans les résultats liés à la nature des échantillons entre les rivières urbaines, la station d'épuration Géolide et la plage de Pomègues. En particulier, les échantillons de Géolide et Pomègues sont composés à 100% de déchets anthropiques, les déchets organiques n'étant pas présents (Géolide, temps sec) ou pas prélevés (Pomègues, collecte manuelle) lors de l'échantillonnage. La séparation entre débris organiques et anthropiques ne concerne donc que les matières dégrillées dans l'Huveaune et dans les Aygalades.

4.1.1. Débris organiques *versus* débris anthropiques

Sur les deux rivières échantillonnées, les volumes échantillonnés varient de 356 à 1 000 l. Les débris organiques dans les refus de dégrillage représentent une fraction importante en volume par rapport au volume total des débris (**Figure 6**). Dans l'Huveaune (dégrilleurs de Pugette) et les Aygalades (dégrilleurs de Zoccola), la fraction la plus élevée de débris organiques correspond aux temps de pluie avec respectivement 73 % et 67 % du volume total. La plus grande fraction de macrodéchets anthropiques, soit 61%, est mesurée par temps sec dans l'Huveaune. Le temps de pluie exceptionnel entraînant une crue à Pugette est caractérisé par un niveau intermédiaire de macrodéchets anthropiques (55 %) et de débris organiques (45 %).

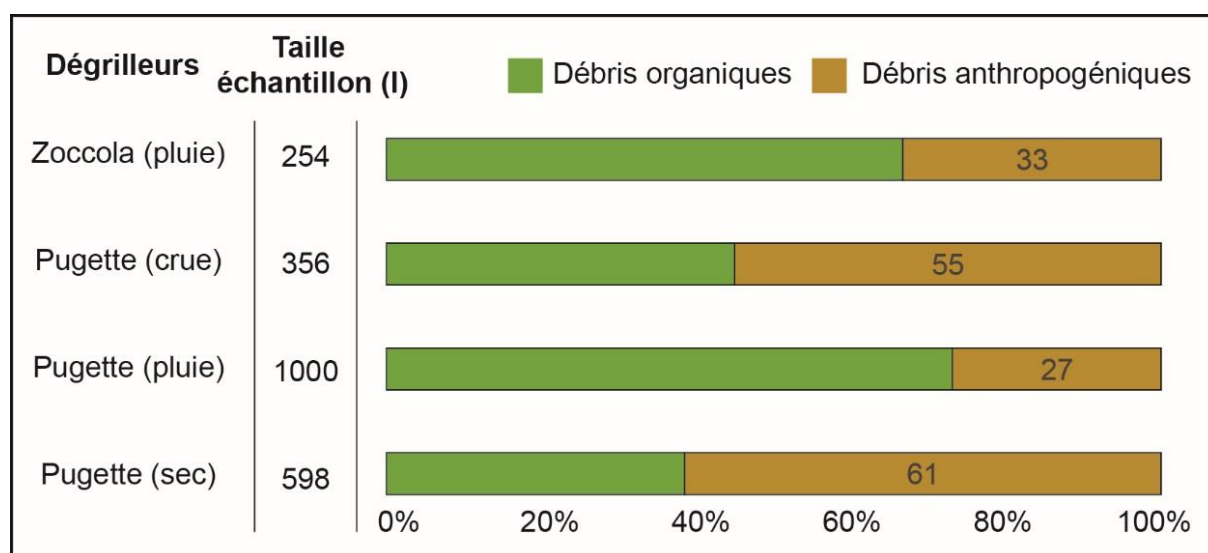


Figure 6 : Composition volumique des refus de dégrillage. Pugette correspond à l'Huveaune et Zoccola au ruisseau des Aygalades. Les résultats issus de la station d'épuration Géolide, ainsi que ceux de la plage de Pomègues ne sont pas présentés car les matières échantillonnées sont constituées à 100% de déchets d'origine anthropique.

4.1.2. Les types de matériaux dans les différents sites

Dans l'ensemble des refus de dégrillage, 4 012 objets ont été triés et comptés selon la classification OSPAR/DCSMM (Technical Subgroup on Marine Litter, 2013). Sur la plage de Pomègues, 33 925 objets ont été triés et comptés sur 8 campagnes de prélèvement. Les résultats montrent que les déchets anthropiques sont principalement composés de débris plastiques au sens large, c'est-à-dire entrant dans la catégorie "matériaux polymères artificiels", incluant certains textiles sanitaires (**Figure 7**). Cependant, il semble plus prudent d'écarter les textiles sanitaires souvent composés de viscose, en particulier les lingettes de la catégorie plastique. Cela concerne particulièrement les données de la station Géolide et permet également de faire ressortir cette pollution spécifique. La fraction de débris plastiques varie entre 78% dans l'Huveaune par temps sec et 98% dans la même rivière par temps de pluie. Les autres types de matériaux correspondent à des fractions mineures avec le verre/céramique (0 - 9%), le métal (1 - 7%), le papier/carton (0 - 7%), le bois transformé (0 - 4%), le tissu/textile (0 - 4%) et le caoutchouc (0 - 1%). Etant donné leur faible représentation et l'absence de conversion de leur nombre en masse, ils ne seront pas considérés dans l'étude des flux massiques. Seuls les polymères artificiels, regroupés sous le terme « macroplastiques » ou « macrodéchets » (« macroplastiques » + lingettes) pour Géolide seront considérés.

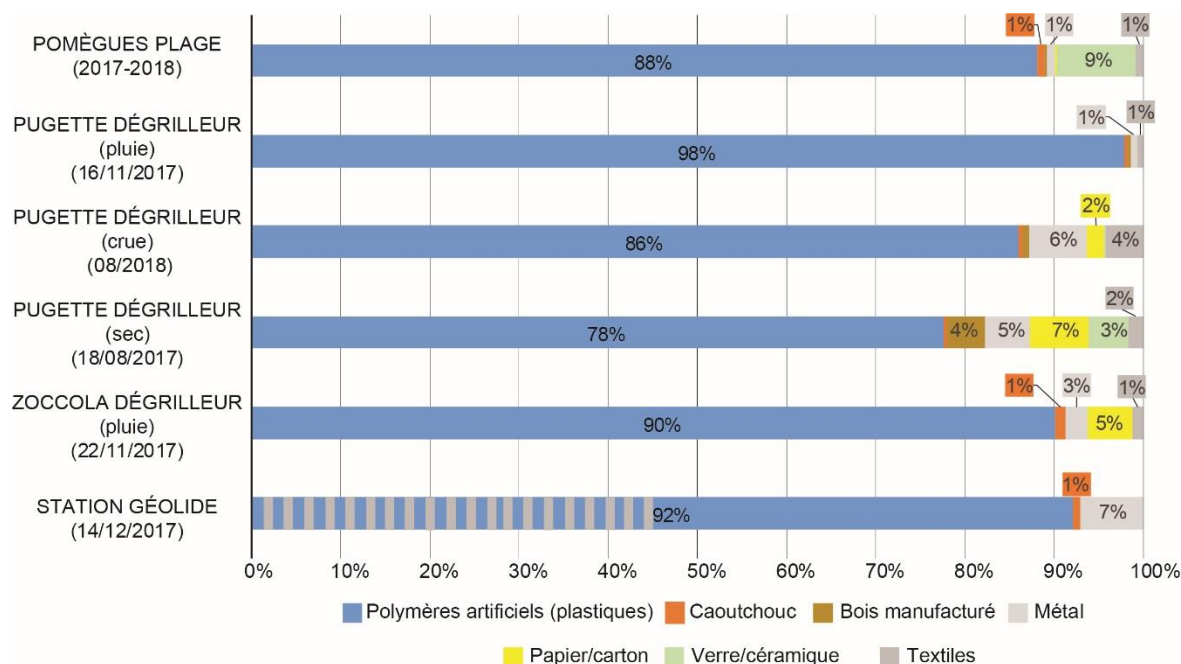


Figure 7 : Composition matière (en nombre) des macrodéchets anthropiques. Les différents déchets ont été triés et comptés en fonction des matériaux, premier niveau de classification OSPAR/DCSMM. La partie hachurée correspond aux lingettes non considérées comme des « plastiques ».

Les déchets anthropiques dégrillés dans la station Géolide et ceux dégrillés dans les rivières par temps de pluie sont caractérisés par une plus faible diversité des types de matériaux par rapport au temps sec (**Figure 7**). Mais les bennes à déchets ont été remplies 4 à 6 fois plus rapidement par temps de pluie (~ 3 400–5 000 l/j) que par temps sec (~ 900 l/j ; **Tableau 1**), ce qui suggère un transport accru des débris dans les rivières, avec potentiellement la remobilisation de déchets accumulés. Le taux de remplissage le plus élevé en rivière correspond au temps de crue (~ 9 300 l/j), proche de celui mesuré dans la station Géolide (~ 9 700 l/j), à la différence près qu'à Géolide, il n'y avait que des déchets anthropiques dans la benne au moment de l'échantillonnage. Enfin, Les matériaux dégrillés dans l'Huveaune pendant la crue, ainsi que ceux récoltés sur la plage de Pomègues, présentent une diversité de matériaux intermédiaires par rapport au temps de pluie et au temps sec.

4.1.3. Top 10 des objets plastiques

Les dix premières catégories de déchets en plastique – que l'on appellera par la suite Top 10 – sont assez similaires entre tous les échantillons (**Figure 8 à 13**) avec seulement 21 catégories différentes en tout. En outre, ces Top 10 représentent entre 76% et 98% de tous les déchets plastiques, en incluant par contre les lingettes dans le TOP 10 des déchets plastique à Géolide. Il y a donc une faible diversité des catégories de déchets. Les fragments de plastique entre 2,5 et 50 cm (G79) sont les déchets les plus courants dans les échantillons de rivières (**Figure 8 à 11**), à l'exception de la station Géolide (**Figure 12**) et de la plage de Pomègues (**Figure 13**). A la station Géolide et sur la plage de Pomègues, il s'agit de la deuxième catégorie de déchet la plus courante après les lingettes de toilette (G145) pour Géolide et les fragments plastiques < 2,5 cm (G78) pour Pomègues. Les emballages de chips/confiseries (G30) sont communs à tous les Top 10 et les contenants alimentaires (G10) également, à l'exception de celui de la plage de Pomègues. Les mégots (G27) sont par ailleurs communs aux Top 10 par temps de pluie, ainsi qu'avec le Top 10 de la plage de Pomègues, mais ne se retrouvent pas dans le Top 10 de la station Géolide ou à Pugette par temps sec.

Dans les eaux urbaines (i.e. Pomègues exclu), les plus grandes différences entre les Top 10 interviennent entre le temps de pluie et le temps sec à Pugette. Seules 4 catégories sont communes aux Top 10 de Pugette par temps sec (**Figure 9**) et de Pugette par temps de pluie (**Figure 10**). Il s'agit des fragments de plastique entre 2,5 et 50 cm (G79), des emballages de chips/confiseries (G30), des contenants alimentaires (G10) et des poches de boissons sucrées type Caprisun (G30.1). Les catégories telles que les gobelets/couvercles (G33) et les paquets

de cigarettes (G25) ne figurent que dans le Top 10 de Pugette par temps sec. En revanche, les gros fragments de plastique (>50 cm ; G80) et les petits fragments de plastique (<2,5 cm ; G78) ne figurent que dans le Top 10 de Pugette par temps de pluie. Les briquets (G26) ne figurent que dans le Top 10 de Pugette correspondant au temps de pluie exceptionnel (*Figure 11*). Enfin, les lingettes (G145) et les serviettes hygiéniques (G96), respectivement première et troisième catégorie les plus courantes dans les refus de dégrillage de la station Géolide (*Figure 12*), ne se trouvent pas dans ceux de l’Huveaune, des Aygalades (*Figure 8 à 11*) ou de Pomègues (*Figure 13*). On les retrouve tout de même de manière anecdotique, mais de manière plus importante par temps de pluie avec 2,0% dans les refus de dégrillage à Pugette (0,7% à Zoccola), 1,6% par temps de pluie exceptionnel à Pugette, contre 0,3% par temps sec. A Pomègues, elles sont encore plus rares avec 0,05% des déchets totaux. A Pomègues, il est à noter une prépondérance des matériaux fins avec les catégories G78 en première position et G81 (fragments polystyrènes <2,5 cm) en 4^e position du Top 10. Par ailleurs, bien que présents dans tous les échantillons, les cotons-tiges n’entrent dans les Top 10 que de Pomègues et de Géolide

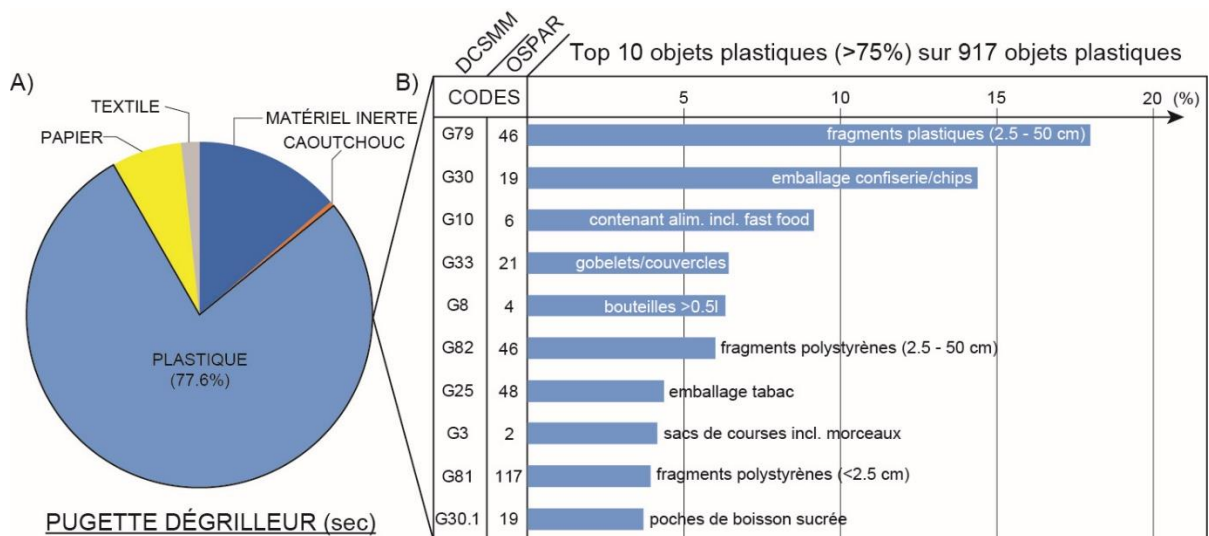


Figure 8 : A, Composition des déchets dégrillés à Pugette (Huveaune) par temps sec. B, Top 10 des déchets plastiques. Le Top 10 correspond à plus de 75% de l’ensemble des objets plastiques identifiés.

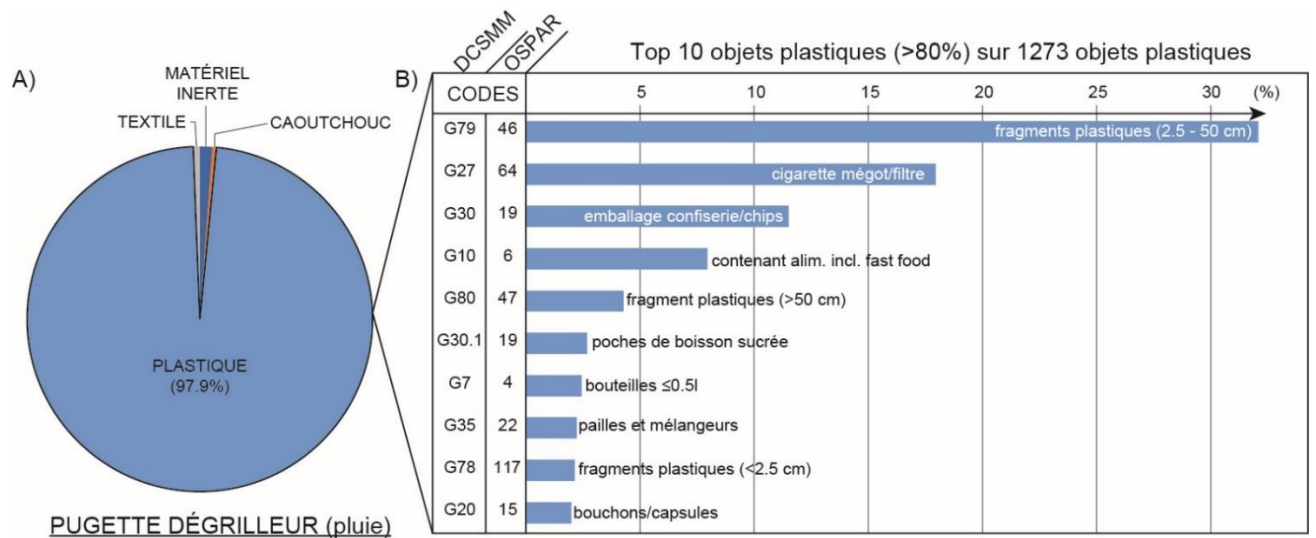


Figure 9 : A, Composition des déchets dégrillés à Pugette (Huveaune) par temps de pluie. B, Top 10 des déchets plastiques. Le Top 10 correspond à plus de 80% de l'ensemble des objets plastiques identifiés.

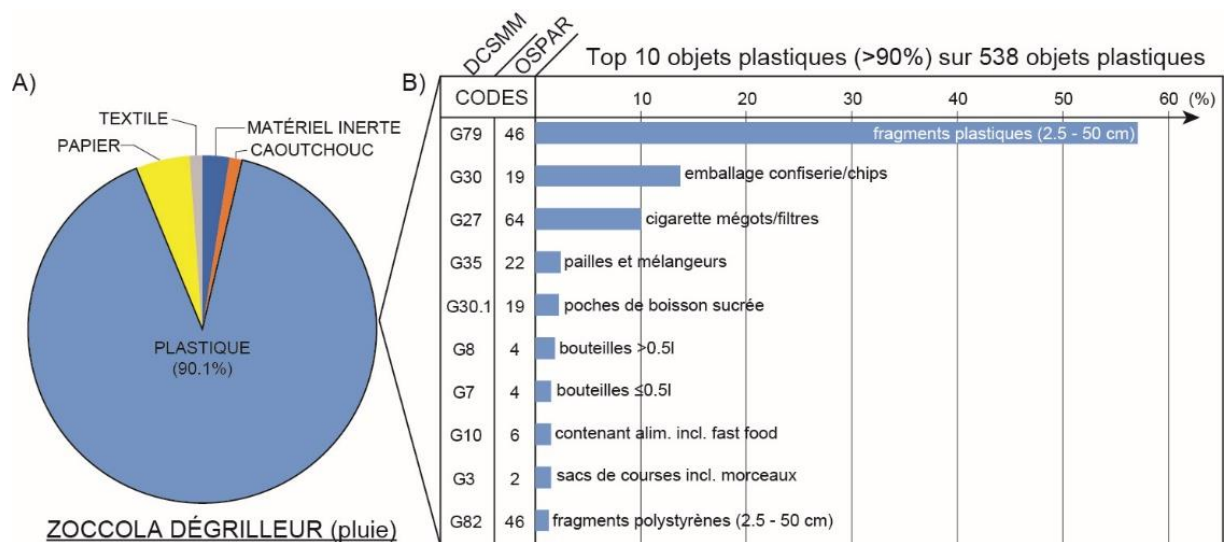


Figure 10 : A, Composition des déchets dégrillés à Zoccola (Aygalades) par temps de pluie. B, Top 10 des déchets plastiques. Le Top 10 correspond à plus de 90% de l'ensemble des objets plastiques identifiés.

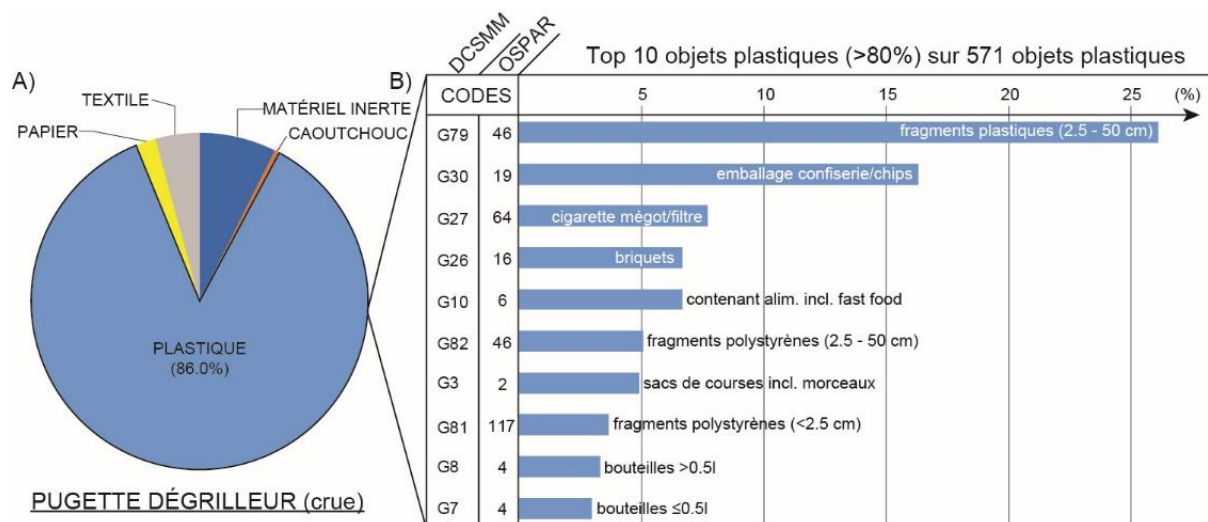


Figure 11 : A, Composition des déchets dégrillés à Pugette (Huveaune) par temps de pluie exceptionnel ayant entraîné une crue. B, Top 10 des déchets plastiques. Le Top 10 correspond à plus de 80% de l'ensemble des objets plastiques identifiés.

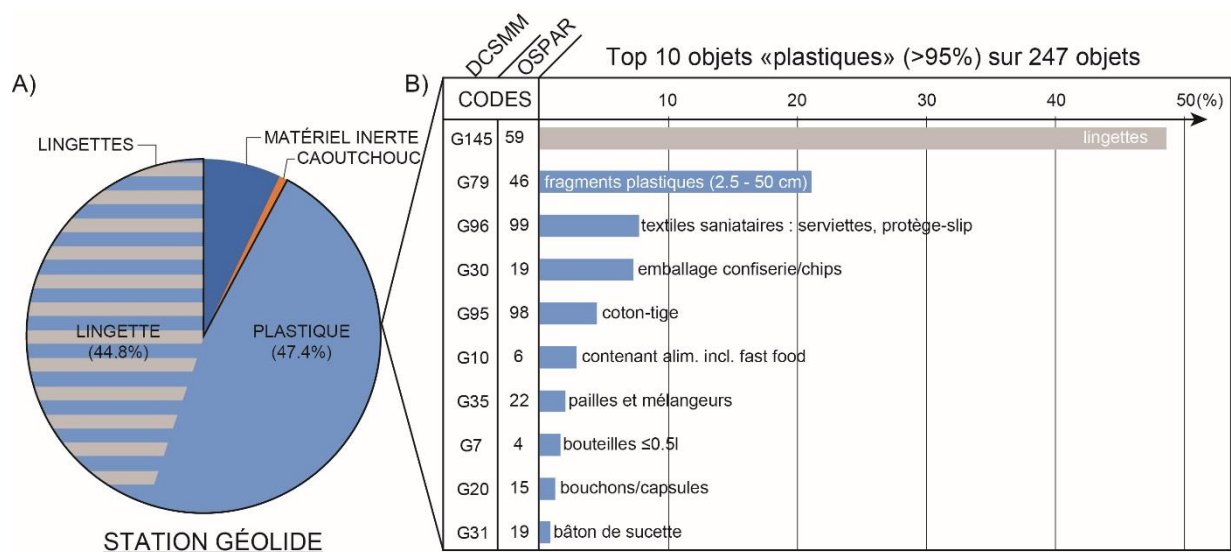


Figure 12 : A, Composition des déchets dégrillés à la station Géolide. B, Top 10 des déchets plastiques. Par soucis de simplification, les lingettes ont été intégrées aux plastiques dans le Top 10. Le Top 10 correspond à plus de 95% de l'ensemble des objets « plastiques » identifiés.

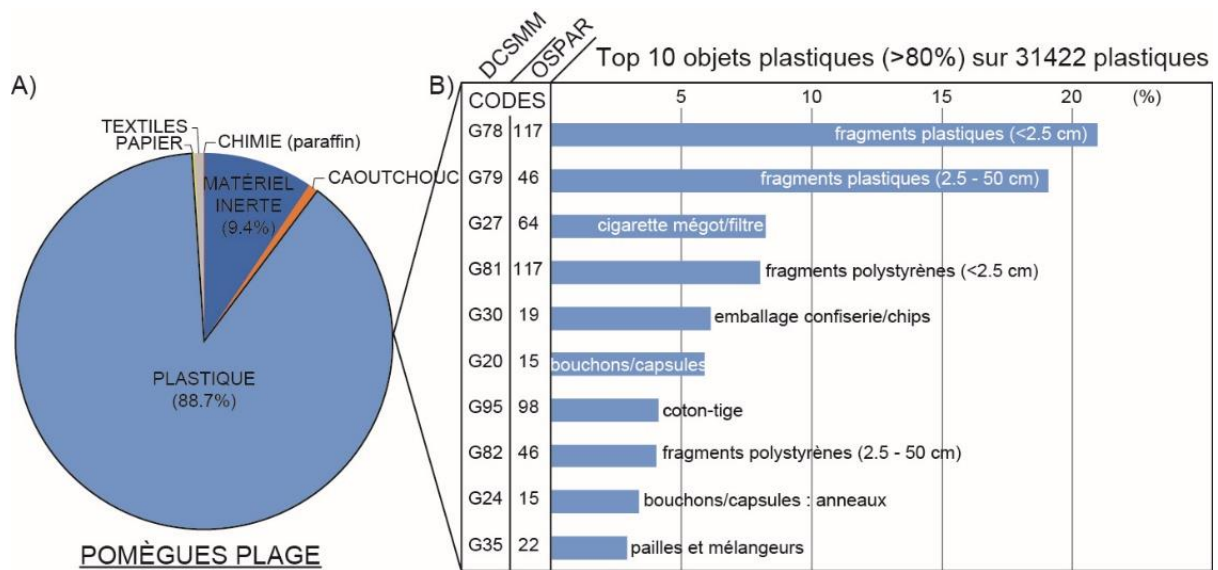


Figure 13 : A, Composition des déchets prélevés à Pomègues (plage). B, Top 10 des déchets plastiques. Le Top 10 correspond à plus de 80% de l'ensemble des objets plastiques identifiés.

4.2. QUANTIFICATION DES FLUX DE MACRODECHETS

Sur les différents sites, cette quantification est limitée à un nombre de macrodéchets estimé puis convertis en masse (**Tableau 2**). Pour l'évaluation des flux massiques annuels, seule la rivière Huveaune sera développée car les données sont disponibles pour une période de temps sec, un temps de pluie et un temps de pluie exceptionnel (cf. **Figure 5**). Les flux massiques dans la station Géolide seront donnés à titre indicatif sur la base de données du **Tableau 2**. Compte tenu de la grande proportion de plastiques parmi les refus de dégrillage (**Figure 14**) ainsi que la difficulté de convertir les nombres de déchets en masse, **la quantification des flux se focalise uniquement sur les « macroplastiques » dans l'Huveaune et les « macrodéchets » (macroplastiques + lingettes) dans la station Géolide.**

La taille des déchets accumulés est théoriquement supérieure à 30 mm à Zoccola (Les Aygalades) et à Pugette (Huveaune) et supérieurs à 15 mm à la station Géolide. Mais des effets de colmatage peuvent contribuer à piéger des déchets plus petits. En outre, la classification OSPAR/DCSMM se focalise sur les déchets supérieurs à 25 mm. Un taux d'accumulation dans les bennes à déchets a été calculé pour l'Huveaune, le ruisseau des Aygalades et la station Géolide, sur la base de la fraction de déchets échantillonnée dans chaque benne. Comme tout le flux d'eau est dégrillé par temps sec, voire par temps de pluie modérée, le nombre de macrodéchets accumulé par jour correspond approximativement à la totalité des macrodéchets supérieurs à 30 mm charriés par le cours d'eau considéré. Ainsi, environ 2 000 macrodéchets/j sont transportés par l'Huveaune par temps sec et 4 500/j par temps de pluie, ce qui est similaire

au temps de pluie dans les Aygalades (~ 6 000/j). Notons qu'il est toutefois difficile de comparer les Aygalades et l'Huveaune compte tenu de l'absence de connaissance sur la population réelle vivant fait que des données de population ne soient pas disponibles pour le bassin des Aygalades. Lors du temps de pluie exceptionnel ayant entraîné une crue, l'Huveaune charrie plus de 17 000 macrodéchets/j, en omettant les volumes d'eau non dégrillés et déversés vers la plage du Prado par le bypass (~ 10% en moyenne ; cf. §4.2.3). Compte tenu du fonctionnement des dégrilleurs en cascade avec une maille de plus en plus grossière avec l'augmentation du débit, voire l'absence de dégrillage d'une partie du flux (au-dessus de 10 m³/s), ces estimations sont conservatives pour les temps de pluie.

Tableau 2 Nombre de macrodéchets estimés et collectés dans les bennes de Pugette (Huveaune), Zoccola (Les Aygalades) et Géolide à partir des données du Tableau 1. Les estimations de macrodéchets accumulés dans la station Géolide sont à prendre avec précaution car la conversion en masse n'est pas optimale compte tenu de la typologie de déchets bien particulière (majorité de textiles sanitaires). Par ailleurs, le temps d'accumulation d'une journée n'est pas établi à l'heure près, ce qui serait plus pertinent au vu des déchets accumulés en peu de temps.

	Pugette (pluie)	Pugette (crue)	Pugette (sec)	Zoccola (pluie)	Géolide
Nombre d'objets échantillonnés	1301	664	1182	597	268
Objets dans les bennes	31224	52225	37430	11706	34829
Taux d'accumulation (objets/j)	4461	17408	1782	5853	34829
Déchets plastique/j (fraction plastique)	4367,3 (97,9%)	14970,9 (86,0%)	1382,8 (77,6%)	5273,5 (90,1%)	32112,6 (92,2%)
Flux (kg/j)	*4,4 – 23,1	*15,0 – 79,3	*1,4 – 7,3	*5,3 – 27,9	**96,3 – 128,4

* 1,0–5,3 g par déchet (Schöneich-Argent et al., 2020, 2021)

** 3–4 g par déchet (Rognard et Finck, 2020).

A partir du prélèvement effectué sur la branche unitaire en tête de station, les résultats extrapolés suggèrent que près de 35 000/j macrodéchets s'accumulent dans les bennes à déchets de la station Géolide, ce qui est deux fois plus que dans l'Huveaune lors de la crue. Toutefois, puisqu'on ne dispose pas d'un temps d'accumulation dans les bennes précis (à l'heure près), cette estimation est à prendre avec précaution et peut être considérée comme un maximum lors d'un temps sec. Le dégrillage plus fin peut également expliquer le plus grand nombre de déchets.

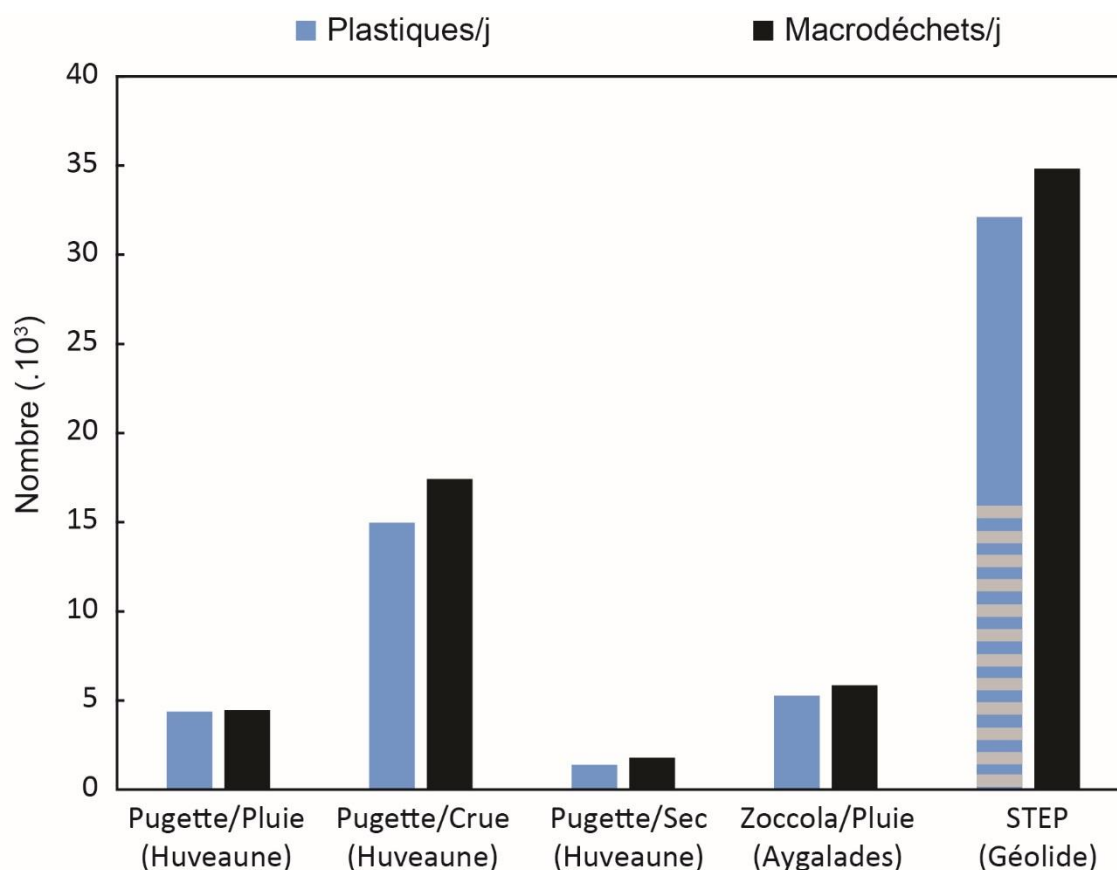


Figure 14 : Nombre de macrodéchets (noir), dont plastiques (bleu), dégrillés par jour sur les différents sites. Les lingettes sont incluses dans les plastiques ici et correspondent aux liserails gris.

4.2.1. Flux massique et concentration de macroplastiques dégrillés dans l’Huveaune

L’équation 1 donne une estimation de flux massique de macroplastiques dans l’Huveaune avec une forte incertitude. Dans cette équation, le flux journalier de macrodéchets par temps sec a été retenu comme valeur minimale, tandis que celui par temps de pluie exceptionnel a été retenu comme valeur maximale. Ces flux journaliers ont été pondérés par rapport à la fraction de plastique, puis extrapolés à l’année, afin d’obtenir une fourchette min–max de flux de plastique annuel en nombre (*Tableau 3*). Par conséquent, **cette méthode fait abstraction de la proportion de temps secs ou de temps de pluie au cours de l’année et donne une fourchette entre deux *extremums***. Puis, les flux numériques ont été convertis en masse grâce aux données disponibles dans la littérature, soit une fourchette par déchet plastique comprise entre 1,0 g et 5,3 g (Schöneich-Argent et al., 2020, 2021). En ordre de grandeur, cette première méthode grossière aboutit à des flux de macroplastiques dans l’Huveaune compris entre 0,5 et 30 t/an. C’est l’équivalent de 1 à 60 g/hab/an (*Tableau 3*).

Ces grandes incertitudes peuvent être réduites grâce à l’équation 2 qui pondère les flux de plastique par temps sec, temps de pluie et temps de pluie exceptionnel à la fraction de temps

correspondante sur une année moyenne, soit respectivement 87,5%, 11,1% et 1,5%. **Ainsi, pour une année hydrologique moyenne, les flux de macrodéchets plastiques dégrillés dans l’Huveaune seraient plutôt de l’ordre de 1–4 t/an, soit 1–7 g/an/habitant (Tableau 3).** Cette approche permet également d’estimer la contribution relative de chaque période de temps au flux total. Ainsi, il apparaît que 63,3% du flux de plastique correspond au temps sec, 25,2% au temps de pluie et 11,4% au temps de pluie exceptionnel (cf. *Annexe 2*). Comparés aux quantités de déchets totaux traités par SERAMM, en moyenne, sur les sites de Zoccola et de Pugette (585 ± 138 t/an de déchets organiques et anthropiques humides), le flux total de matières sèches plastiques dégrillé correspond à moins de 1% de ces quantités (cf. §5.2 ; *Annexe 4*).

Grâce à des mesures de débit fréquentes (une mesure toutes les 1 à 3 h) dans l’Huveaune sur la période 2017-2018, les volumes d’eau annuels moyens ont pu être estimés à environ $6,2 \cdot 10^7$ m³ par an. **Ainsi, la concentration moyenne de plastique serait de l’ordre de 10–60 mg/m³ dans l’Huveaune (Tableau 3).** Cependant, ces concentrations ne tiennent compte que des déchets dégrillés et donc sous-estiment la concentration réelle en amont des dégrilleurs.

4.2.2. Flux massique et concentration de macrodéchets (plastiques + lingettes) dans les eaux issues du réseau unitaire (Géolide)

Le flux massique de macrodéchets issu des eaux unitaires et calculée sur la base de l’analyse d’une benne à déchets de la station Géolide est de l’ordre de 100–130 kg/j (cf. *Tableau 2*). Extrapolé à l’année, le flux de macrodéchets (plastiques + lingettes) est alors de l’ordre de 35–45 t/an, soit 35–45 g/hab/an (1 Million d’habitants desservis).

Lors de l’accumulation des déchets dans la benne à la station Géolide, c’est environ 100 000 m³/j d’eau unitaire qui était traité. Combiné au flux journalier de macrodéchets, cela correspond à des concentrations de l’ordre de 1000–1300 mg/m³, soit un à deux ordres de grandeur plus élevées que les concentrations de plastique estimées dans l’Huveaune. Ces estimations seront discutées plus en avant dans le §5.3 au regard du rapport du CEREMA sur les flux de macrodéchets issus des réseaux.

Tableau 3 : Flux et concentrations massiques des macrodéchets dégrillés sur le bassin de l’Huveaune. Les calculs concernant l’Huveaune sont réalisés pour la partie du bassin située à l’amont des dégrilleurs de Pugette, comprenant 512 000 habitants et un volume d’eau annuel moyen l’Huveaune de $6,2 \cdot 10^7 \text{ m}^3$. Données sources dans l’Annexe 2. Pour Géolide, les calculs sont réalisés sur la base du nombre d’habitants raccordés au réseau, soit 1 million.

Estimation Flux	Huveaune (Equation 1)		Huveaune (Equation 2)	Géolide (extrapolation des flux journaliers*)
	plastiques exclusivement			textiles sanitaires + plastiques
t/an	min	max	0,7–3,7	35,1–46,9
	0,5–2,7	5,5–28,9		
g/hab/an	1,0–5,2	10,7–56,5	1,4–7,2	35,1–46,9
mg/m ³	8–43	88–467	11–60	963–1284**

*Extrapolations sur la base du ratio de masse de de 3 à 4 g/déchet du CEREMA (Rognard et Finck, 2020).

**Uniquement basée sur les volumes d’eau traités en réseau unitaire et les quantités estimées de déchets à la date d’échantillonnage.

4.2.3. Flux massiques de macroplastiques déversés en mer par l’Huveaune

Lors des crues et des forts temps de pluie, les excédents d’eau entraînent une surverse au niveau du bypass à Pugette, ce qui conduit les volumes déversés en mer à l’Ouest de Marseille où se situe la plage du Prado (cf. **Figure 2**). Sur la période du 1^{er} juillet 2018 au 1^{er} juin 2020, les volumes déversés vers le Prado par surverses ont été renseignés par SERAMM (**Annexe 2**). Environ $2,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ont été déversés en 2018, tandis que $1,0 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ ont été déversés en 2019. Sur ces deux années, la moyenne du volume d’eau déversé est d’environ $6,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, soit ~10% du volume d’eau transitant par Pugette. Les données de débits disponibles à Pugette ont par ailleurs permis d’établir des concentrations massiques de macroplastiques dans les eaux dégrillées pour chaque période hydrologique (**Annexe 2**). Prenant en considération une concentration massique de plastique dans les eaux déversées vers le Prado égale à celle mesurée par temps de pluie exceptionnelle dans les dégrilleurs (i.e. environ 65–320 mg/m³ pour le temps de pluie exceptionnel, contre 50–230 mg/m³ pour le temps de pluie et 20–90 mg/m³ pour le temps sec), on obtient **un flux déversé en mer d’environ 0,5–2 t/an, soit environ 1–4 g/hab/an. Ajoutés aux flux dégrillés, ces flux déversés portent les flux totaux transitant dans l’Huveaune à environ 1–6 t/an, soit 2–10 g/hab/an.** Sur cette base, ~65% du flux serait donc capté par les dégrilleurs et 35% serait déversé vers la plage du Prado lors des temps de pluie exceptionnels, soit moins de 2% du temps dans l’année (**Figure 15**). Les concentrations massiques de plastiques dans les eaux de l’Huveaune seraient donc en moyenne d’environ 20–90 mg/m³.

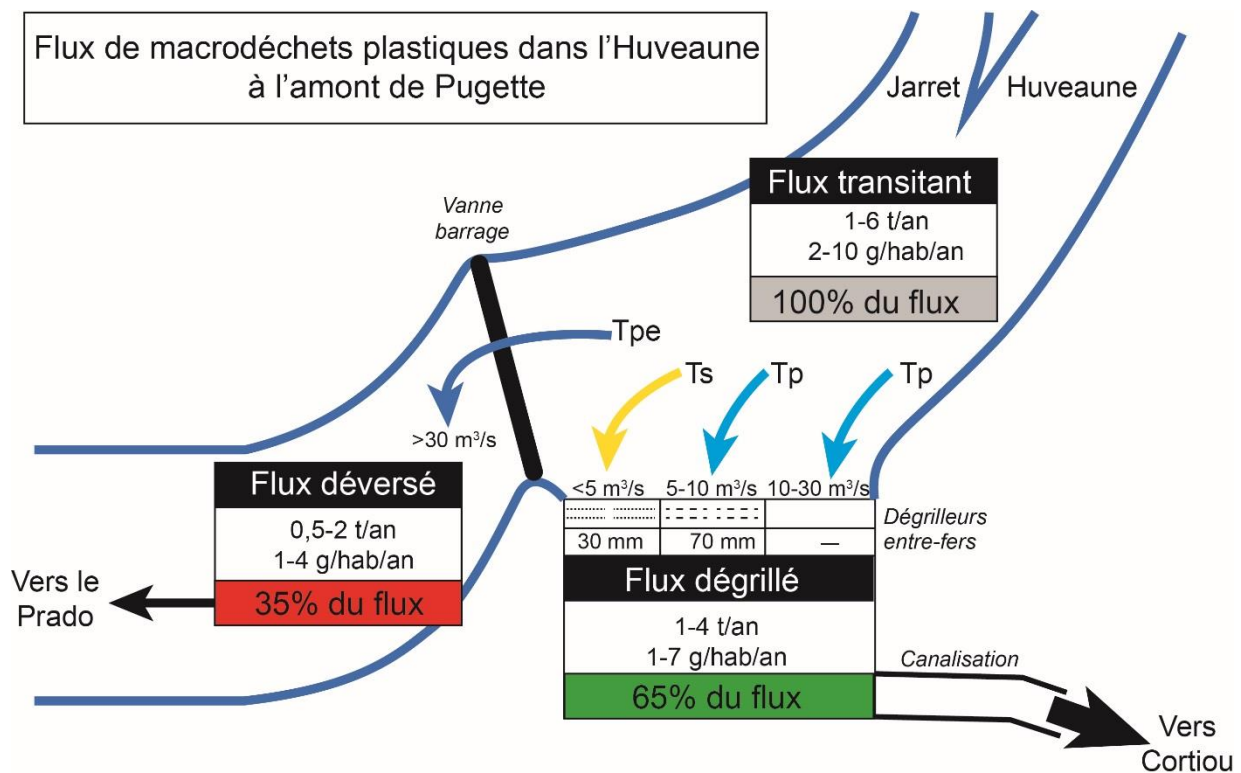


Figure 15 : Synthèse des flux de macrodéchets plastiques dans l'Huveaune. Données en ordres de grandeur. Le flux dégrillé est en réalité une sous-estimation des flux de macrodéchets transitant par Pugette compte tenu des paliers d'entrée en action des différents dégrilleurs à entrefers plus larges (voire l'absence de dégrilleurs) avec l'augmentation des débits.

5. DISCUSSION

5.1. TYPOLOGIE DES MACRODECHETS DES DIFFERENTS SITES

Dans l'ensemble des sites étudiés, le plastique est le matériau largement majoritaire en nombre par rapport aux autres types de matériaux. En ce sens, ces résultats font écho à la surreprésentation et au caractère ubiquiste des plastiques dans tous les compartiments de l'environnement (Barnes et al., 2009), ainsi qu'aux macrodéchets retrouvés sur les littoraux en Europe (Addamo et al., 2016).

L'examen des Top 10 de déchets peut apporter des informations sur les sources, mais aussi les biais d'échantillonnage. Par exemple, sur le site de la plage de Pomègues, les catégories de plastique de petite taille (<2,5 cm) représentent des catégories majeures (**Figure 13**), que l'on ne retrouve sur aucun des autres sites (**Figure 8–Figure 12**). C'est le signe d'un biais d'échantillonnage, l'entrefer des dégrilleurs étant de 30 mm, voire 70 mm au-delà d'un débit de 5 m³/s, alors que le nettoyage à la main n'impose que des limites liées au ramasseur/à la ramasseuse et à sa vision, avec une limite théorique à 0,5 cm liée au protocole de collecte OSPAR.

A l'exception de la station Géolide où lingettes et textiles sanitaires sont majoritaires, les Top 10 des catégories d'objets représentent exclusivement des déchets en plastique et correspondent à 75%–95% des déchets répertoriés. Avec seulement 21 catégories OSPAR-DCSMM dans l'ensemble des Top 10, on peut également affirmer que les catégories de déchets les plus fréquentes sont souvent les mêmes quel que soit le site d'échantillonnage. Il s'agit des fragments de plastique entre 2,5 et 50 cm (G79), les emballages de chips/confiseries (G30) ou les contenants alimentaires (G10). La première catégorie regroupe tout un tas de fragments non identifiés, souvent issus de la dégradation des objets d'origine. Probablement issus de la fragmentation d'autres macrodéchets, leur abondance et omniprésence suggère des temps de séjour relativement longs ou du moins des trajectoires chaotiques dans l'environnement avec des cycles de remobilisation/stockage (Tramoy et al., 2020b, 2020a; Liro et al., 2020). Pour étayer cette hypothèse, il est vivement recommandé lors des collectes de répertorier les indices sur les déchets permettant d'estimer des temps de séjour, comme des dates, des emballages avec un marketing datable ou encore des marques éphémères (Tramoy et al., 2021). Les catégories G30 (et sa subdivision G30.1 décrivant les poches de boissons sucrées comme les PomPotes[®], Caprisun[®], etc.) et G10 sont également fréquentes car elles correspondent à des objets de consommation courante en lien avec la consommation nomade. Ces catégories sont également parmi les plus fréquentes dans la base de données de la North Sea Foundation qui regroupe 2 ans de collecte sur les berges de la Meuse, du Waal et du Nederrijn aux Pays-Bas (Van Emmerik et al., 2020). Ce sont également des objets communs aux eaux de ruissellement échantillonnées dans la station de dépollution du bassin de Sucy en Brie, à l'exception notable d'une forte présence à Sucy de bandages sanitaires et de médicaments (Treilles et al., 2021). Cette station traite les eaux pluviales avec notamment 2 dégrilleurs successifs de maille 6 cm et 1cm.

Les articles liés au tabac, principalement des mégots (G27), présentent une distribution relative aux conditions hydrologiques et au réseau pluvial. Ils sont en bonne position dans les TOP 10 par temps de pluie et temps de crue, alors qu'ils ne se retrouvent pas dans les TOP 10 par temps sec ou dans la station Géolide. Cela suggère que les mégots pourraient être considérés comme un déchet marqueur du lessivage des rues, alors qu'ils se délitent probablement plus vite dans le réseau. Cependant, une autre interprétation liée à la maille des dégrilleurs peut être invoquée. A Sucy en Brie, plus le maillage est fin (de 6 cm à 1 cm), plus les mégots sont susceptibles d'être collectés (Treilles et al., 2021). Ainsi, par temps de pluie, lorsqu'il y a aussi plus de débris organiques qui viennent colmater le dégrilleur (cf. **Figure 6**), ce dernier est plus susceptible de collecter les mégots de cigarette. Sur la plage de Pomègues, leur présence dans le Top 10 peut refléter des apports depuis la mer ou plus probablement des dépôts directs liés

aux incivilités sur site. Aux Etats-Unis, une étude a montré que 65% des fumeurs jetaient leurs mégots par terre, alors que seulement 17% de l'ensemble des comportements de mise au rebut des déchets se traduisait par des incivilités (Schultz et al., 2013). Le fait que le mégot ne soit pas encore considéré comme un déchet en tant que tel facilite les incivilités des fumeurs et appelle donc à une meilleure information ciblée sur ce public, à l'instar des campagnes de communication de santé. Pour l'heure, même le 1^{er} confinement lors de la pandémie de Covid-19 en Afrique du Sud, avec une interdiction nationale de vente de cigarettes, n'a pas empêché que les mégots représentent 33% des déchets collectés dans les rues (Ryan et al., 2020).

Les lingettes de toilette (G145) et les serviettes hygiéniques (G96) sont des déchets marqueurs bien connus des gestionnaires des réseaux d'assainissement (Friedler et al., 1996; Rocher et al., 2017; Mourgkogiannis et al., 2018). Ces deux catégories sont donc logiquement présentes en haut du classement du Top 10 de la station Géolide. Elles n'apparaissent pas dans les autres Top 10 qui concernent les milieux naturels, mais sont tout de même présents de manière anecdotique. Ces matériaux sont probablement plus vite dégradés dans le milieu naturel du fait de leur composition « naturelle », mais aussi plus difficilement remobilisables du fait de leur capacité à s'emmêler dans la végétation pour former des « sapins de Noël » (cf. Williams et Simmons, 1996). Cependant, leur plus forte présence par temps de pluie par rapport au temps sec (1,4% contre 0,3% par temps sec en moyenne) peut être liée à de potentiels mauvais branchements sur le réseau d'assainissement ; mauvais branchements qui s'élèveraient typiquement à 3–4% en Europe et aux US avec des points chauds à 20–30% (Ellis et Butler, 2015). En région parisienne, au niveau du bassin de Sucy en Brie, ils s'élèveraient aux alentours de 10%, avec en effet une proportion significative de ces lingettes et autres serviettes hygiéniques ou préservatifs (Treilles et al., 2021). Une autre source possible est le rejet via les déversoirs d'orage directement dans l'Huveaune puisque les rejets surviennent lors de temps de pluie. Enfin, des rejets directs au niveau des avaloirs, puis le transfert par temps de pluie au sein des réseaux peuvent également contribuer à cette pollution spécifique. A Pomègues, sur l'ensemble des campagnes, seulement 0,05% des objets sont des lingettes ou des serviettes hygiéniques. Cette très faible proportion appuie l'hypothèse selon laquelle la remobilisation et le transport de ces déchets sur de longues distances depuis les zones urbaines n'est pas évident ; Pomègues se situant sur l'île du Frioul plusieurs km à l'ouest de Marseille.

Les cotons-tiges, eux, ne se retrouvent que dans les Top 10 de Pomègues et de Géolide, mais pas dans ceux de l'Huveaune ou du ruisseau des Aygalades. Un audit mené sur 101 stations d'épuration en Grèce a montré que les cotons-tiges sont le déchet plastique le plus fréquent retrouvé au sein des STEP de ce pays, les auteurs estimant que les STEP sont une source

potentielle importante de cette pollution en mer (Mourgkogiannis et al., 2018). Cependant, la station Géolide, avec ces pré-traitements en cascade, puis les traitements primaires et secondaires, et enfin les bassins de rétention pour prévenir les déversements, a peu de chance d'être une source majeure de macrodéchets quels qu'ils soient. Les rejets se font donc plus probablement en amont, *via* le réseau pluvial ou *via* les déversoirs d'orage, comme celui situé juste à l'amont de la station et aboutissant dans l'Huveaune *via* le Jarret. Ainsi, lingettes et cotons-tiges peuvent atteindre le milieu sans traitement d'aucune sorte, excepté le dégrillage de l'Huveaune pour une partie de ces déchets. Or, puisque les cotons-tiges flottent, mais pas les lingettes, il est plus probable de retrouver les premiers échoués loin de leur source que les seconds. Les cotons-tiges sont également plus susceptibles de passer à travers les dégrilleurs que les lingettes, du fait de leur petite taille. Les contre-mesures à mettre en œuvre sont donc liées à la limitation des rejets au niveau des réseaux (cf. Rognard and Finck, 2020). C'est la fonction que remplissent les bassins de rétention comme celui de Ganay (50 000 m³) par exemple. Plus en amont, les interdictions de mise sur le marché, comme c'est dorénavant le cas des cotons-tiges en plastique, ainsi que la prévention des incivilités/pertes et la communication auprès du public sont les leviers les plus efficaces pour prévenir cette pollution.

5.2. NATURE ET ESTIMATION DES INCERTITUDES

A l'instar de l'étude (MacroPLAST, 2019), les incertitudes concernant les flux varient fortement en fonction de la méthode d'extrapolation des flux. Les données disponibles correspondent à des nombres de déchets collectés dans un échantillon pris dans une benne à déchet. Elles nécessitent d'abord d'être extrapolées à la benne entière dont le volume total est connu. Puis, une conversion en masse est opérée, ce qui introduit par nature une incertitude incompressible liée à cette conversion. La gamme de masse par macroplastique établie par Schöneich-Argent et al. (2020, 2021), i.e. 1,0 à 5,3 g/macroplastique, a été choisie car (i) ces données sont issues de la collecte de milliers de déchets sur les berges de 3 rivières en Allemagne, or les berges sont le compartiment où la diversité de déchets est la plus grande, (ii) les auteurs présentent à la fois la médiane (1,0 g/macroplastique) et la moyenne (5,3 g/macroplastique) de la distribution de masse et (iii) la gamme de taille entre la médiane et la moyenne est relativement large, suggérant que la distribution des masses ne suit pas une loi normale avec un facteur 5 entre les deux paramètres. Par ailleurs, d'autres études aboutissent à une masse moyenne par déchet comprise – ou très proche – dans la fourchette 1,0–5,3 g/macroplastique comme Van Emmerik et al. (2018) dans le fleuve Saïgon au Vietnam avec 3,2 g/macroplastique ou Vriend et al. (2020) dans le Rhin aux Pays-Bas avec 5,4

g/macropastique. Toutes ces études renforcent l'idée que la fourchette utilisée conduit à une estimation raisonnable des flux massiques, surtout que les types de déchets collectés sont dans l'ensemble communs aux autres études. Cependant, en l'absence d'une mesure précise des masses pour chaque étude, ce facteur de 1 à 5 entre l'estimation inférieure et supérieure sera conservée. C'est pourquoi, extrapoler un flux journalier de déchets minimum et maximum multiplie les incertitudes avec au final des estimations couvrant pratiquement 2 ordres de grandeur, i.e., 1–60 t/an dans l'Huveaune.

C'est dans le but de réduire ces incertitudes qu'il a été préféré une estimation plus élaborée qui pondère les flux de plastique par temps sec (87,5%), temps de pluie (11,1%) et temps de crue (1,5%) à la fraction de temps correspondante sur une année moyenne. Cela aboutit donc à un nombre moyen annuel de déchets plastiques et pas à une fourchette minimum–maximum. Par conséquent, seule l'incertitude liée à la conversion en masse de ce flux subsiste, ce qui donne une fourchette réduite de flux massique dégrillés, i.e., 1–4 t/an, soit 1–7 g/an/habitant. Cette approche a également permis d'établir la contribution relative de chaque période de temps au flux total, soit 63,3% du flux correspondant au temps sec, 25,3% au temps de pluie et 11,4% au temps de pluie exceptionnel. Les temps de pluie et temps de pluie exceptionnels contribuent donc respectivement trois et dix fois plus aux flux de plastiques que le temps sec. La forte contribution des temps de pluie et encore plus des temps de pluie exceptionnels est récurrente à travers les rivières mondiale, suggérant une certaine saisonnalité dans les flux et une influence majeure des crues (van Emmerik et al., 2019; Roebroek et al., 2020). Néanmoins, la contribution du temps sec resterait ici majoritaire du fait de la très longue période qu'il représente sur une année. Il ne peut donc pas être négligé.

Concernant les temps de pluie exceptionnels, leur contribution relative au flux de plastique total est sans doute encore plus élevée si l'on tient compte des faits suivants. L'estimation de la quantité de déchets collectés dans la benne repose sur une période de 3 jours du 7 au 9 août 2018, durant laquelle 98% des pluies, et donc du ruissellement, ont été concentrées sur le 9 août. Il est donc possible que la benne se soit en fait remplie en une seule journée, voire en quelques heures. Ce qui reviendrait à multiplier par 3 au moins les flux journaliers de macrodéchets et donc les flux totaux estimés d'environ 25%. Cela se traduirait également par une forte augmentation de la contribution relative des crues dans le flux total passant de 10% à 30%. Par contre, cela n'influencerait pas les concentrations estimées – et donc les estimations de flux en mer – puisque le volume d'eau traité serait lui aussi contracté sur une journée, ainsi que les déversements. Par ailleurs, une partie du flux est redirigé vers la plage du Prado et ne fait donc l'objet d'aucun traitement, rendant impossible de vérifier si les concentrations en

macrodéchets dans les eaux déversées sont les mêmes que les concentrations dans les eaux dégrillées. En toute hypothèse, la période de temps sec précédant ces événements exceptionnels doit également avoir une influence sur la quantité de déchets transférée au milieu, *modulo* l'intensité du nettoyage des rues en surface. Plus le temps sec est long et le nettoyage des rues faible, plus les déchets de voirie remobilisables s'accumulent et *vice et versa*. Pour l'heure, les données nécessaires pour tester cette hypothèse sont manquantes. Quoi qu'il en soit, les concentrations de macrodéchets dans les eaux lors de crues éclairées sont potentiellement sous-estimées puisque les dégrilleurs plus grossiers (70 mm) et le passage non dégrillé vers Cortiou sont sollicités (cf. **Figure 15**). L'impact des crues et des événements extrêmes sur la pollution plastique reste encore largement méconnus et les considérations précédentes en sont une illustration. Récemment, des modèles basés sur les surfaces d'inondation, combinées à la distribution spatiale de production des plastiques mal gérés (approche Jambeck), suggèrent que les crues augmenteraient d'un à cinq ordre de grandeur les flux de plastique exportés en mer (Roebroek et al., 2020).

Enfin, les données relatives à l'enlèvement des bennes fournies par SERAMM ont permis de contrôler les incertitudes en recalculant les flux de macrodéchets plastiques sur la base (1) des propriétés physiques des déchets ou (2) de ratios de masse entre les déchets organiques et les plastiques issus des barrages flottants du SIAAP (Gasperi et al., 2014). Bien que toutes ces données soient partielles ou peu adaptées à l'Huveaune, les ordres de grandeur des flux de macrodéchets plastiques sont proches avec respectivement (1) 2–34 t/an et (2) 1–10 t/an (**Annexe 4**).

5.3. FLUX COMPARES DANS L'HUVEAUNE, GEOLIDE ET LA MER

Les flux de plastiques vers l'environnement sont *a priori* minimes par rapport aux quantités de déchets plastiques générés qui sont de l'ordre de **55 kg/hab/an en France** (cf. 3,663 Mt de déchets plastiques générées en 2018 : PlasticsEurope, 2020). Ces fuites sont par ailleurs en parti maîtrisées par des ouvrages comme la station Géolide ou les dégrilleurs étudiés, qui sont des solutions curatives opérant tout à l'aval du processus de gestion des déchets. Comparer les flux collectés et « bien gérés » – encore 1/3 mis en décharge, chiffre stagnant depuis 2012 – par rapport aux flux qui se déversent en mer permet donc de relativiser les fuites et de quantifier leur taux d'abattement.

Par exemple, les quantités journalières de déchets dégrillés (tous matériaux confondu) dans la station Géolide représentent le double du maximum dégrillé par temps de pluie exceptionnel dans l'Huveaune. Les estimations de flux massiques à Géolide sont cependant à prendre avec

de grandes précautions. D'une part, elles reposent sur un seul échantillon. D'autre part, les déchets largement majoritaires (serviettes hygiéniques et lingettes) ne sont pas considérés comme des plastiques et mériteraient une estimation de masse plus précise, bien que le rapport du CEREMA a fourni une estimation de masse grossière de ces textiles sanitaires (Rognard et Finck, 2020). Des ordres de grandeurs avec un flux de « macrodéchets » (plastiques + textiles sanitaires) de 35–45 t/an ont ainsi pu être établis. Cela représente un ordre de grandeur au-dessus des flux de macrodéchets (plastiques exclusivement) estimés dans l'Huveaune (1–6 t/an). Ramené à des flux par habitant, le rapport entre les macrodéchets en entrée de station et l'Huveaune n'est plus que de 7 pour 1 (35–45 g/hab/an contre 2–10 g/hab/an). En revanche, **les concentrations en macrodéchets dans les eaux usées de Géolide sont 1 à 2 ordres de grandeur au-dessus de l'Huveaune** avec respectivement 1000–1300 mg/m³ et 20–90 mg/m³.

Ces ordres de grandeur suggèrent qu'une quantité importante de macrodéchets transit au sein des réseaux, comme évoqué par le rapport récent du CEREMA portant sur le sujet (Rognard et Finck, 2020). Comme le souligne ce rapport, la limitation des déversements via les réseaux est donc la clé de la diminution des macrodéchets associés à ces réseaux. Dans ce rapport, des « fuites » par habitant de macrodéchets dans le milieu *via* les réseaux d'assainissement – composés à près de ~90% de textiles sanitaires, contre moins de 60% pour la station Géolide – ont été établies pour la France Métropolitaine. Ces flux seraient compris entre 40 et 108 g/hab/an, mais 75% à 80% de ces fuites seraient liés au système de collecte (i.e. le réseau) et le reste en tête de station. Cela équivaldrait donc à environ 10–20 g/hab/an de fuite de macrodéchets en tête de station, là où Géolide a justement été échantillonné avec 35–45 g/hab/an. **Par conséquent l'ordre de grandeur des fuites de macrodéchets estimé par le CEREMA en têtes de stations est similaire à l'ordre de grandeur des flux de déchets captés en tête de station à Géolide.**

Lorsque des rejets surviennent en tête de station à Géolide (limités par les bassins de rétention), les effluents sont rejetés dans l'Huveaune et les macrodéchets liés à l'assainissement (textiles sanitaires) peuvent être dégrillés à Pugette. Mais au vu du faible nombre de ces déchets dans les dégrilleurs de Pugette, il est assez peu probable que ces déversements représentent une source majeure en mer. Pour s'en assurer, il faudrait faire la typologie des déchets échoués sur la plage du Prado après un évènement exceptionnel entraînant une surverse au niveau de Pugette et les comparer à celle des déchets dégrillés à Géolide et à Pugette par temps de pluie exceptionnel. Quoiqu'il en soit, en faisant l'hypothèse que la typologie des déchets du temps de pluie exceptionnel est la même que celle des déchets redirigés vers le Prado, près de 90% de ces derniers sont des plastiques (avec ~1% de lingettes). Ainsi, les macrodéchets atteignant la

mer sont très majoritairement composés de plastiques issus de la rivière. Ceci n'exclut cependant pas une contribution du réseau via les déversoirs d'orage ou le pluvial, quoique le réseau d'assainissement étant majoritairement unitaire à Marseille. Or, les estimations du présent rapport (cf. §4.2.3) montrent que seulement 35% des flux de l'Huveaune atteignent la mer *via* les surverses à Pugette, soit 0,5–2 t/an équivalent à environ 1–4 g/hab/an du bassin amont. **Le dégrillage de l'Huveaune réduirait donc de 65% les flux de macrodéchets déversés en mer.**

5.4. LES FLUX DE PLASTIQUES DANS L'HUVEAUNE ET LA SEINE

La **Figure 16** fait la synthèse comparée des flux de macroplastiques théoriques et estimés dans les bassins de la Seine et de l'Huveaune. Afin de comparer les deux bassins qui n'ont ni la même taille, ni la même population et donc des flux absolus différents, l'accent est mis sur les flux par habitant. En ce qui concerne la partie théorique, les flux de plastiques reposent sur l'approche Jambeck et sont dépendants de la population et de la quantité de déchets produits par les habitants (276 kg/hab/an sur le bassin Seine *vs.* 370 kg/hab/an dans la région de Marseille ; **Annexe 5**). La fraction de plastique appliquée aux ordures ménagères (soit 16%) est la même puisque nous ne disposons pas de données plus précises pour Marseille. Cela aboutit à une production de plastiques dits « mal gérés » un peu plus élevée dans le bassin de l'Huveaune (180–470 g/hab/an) que dans le bassin de la Seine(130–350 g/hab/an).

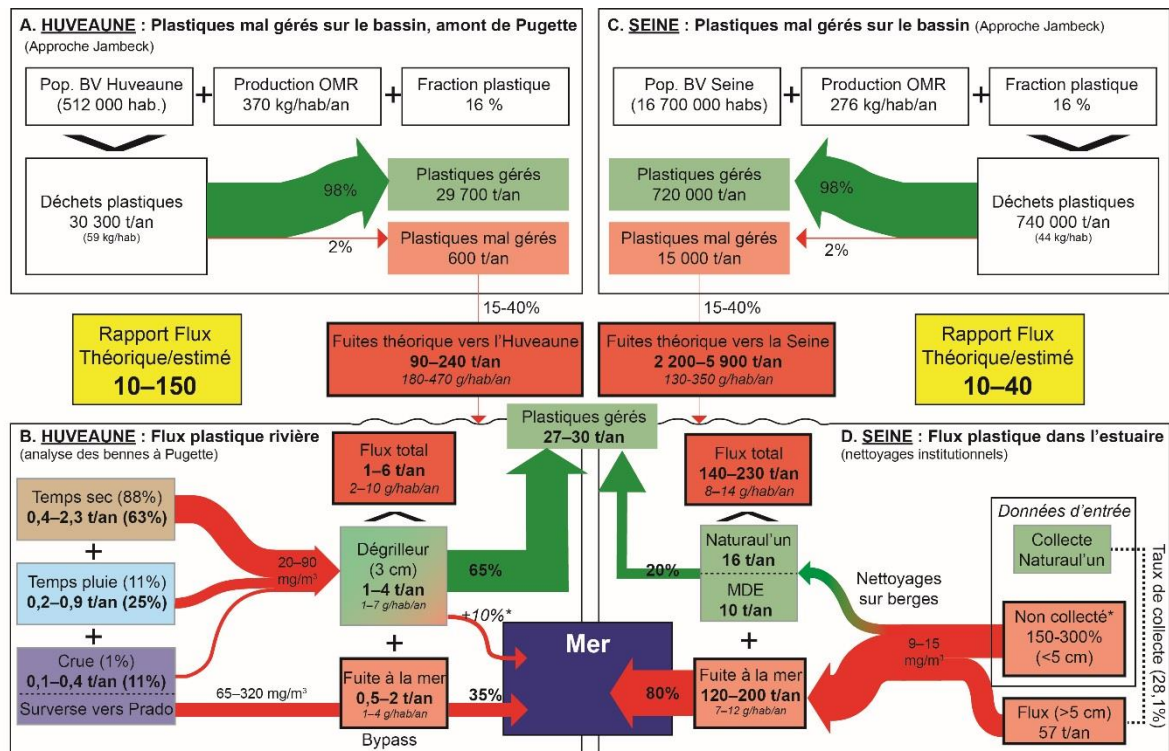


Figure 16 : Synthèse comparée des flux de macroplastiques théoriques (approche Jambeck revu par MacroPLAST 2019) et estimés (approche terrain) entre le bassin de la Seine et le Bassin de l’Huveaune (en ordres de grandeur). A, Flux théorique dans le bassin de l’Huveaune (Annexe 5). B, Flux estimé dans l’Huveaune et en mer sur la base des données du dégrilleur de Pugette et de surverse de SERAMM. *Fraction supplémentaire de plastiques passant à travers les dégrilleurs, calculée sur la base de la distribution de masse par classe de taille des déchets collectés sur les berges de l’estuaire de la Seine (données non publiées de MacroPLAST 2019). C, Flux théorique dans le bassin de la Seine. D, Flux estimé dans l’estuaire de la Seine et en mer (d’après MacroPLAST 2019). Pour chaque cadre, la proportion des flux a été respectée, bien que les valeurs aient été arrondies pour une lecture facilitée.

Concernant les estimations de flux basées sur les données de terrain, les flux totaux transitant dans l’Huveaune (2–10 g/hab/an) et dans l’estuaire de la Seine (8–14 g/hab/an) sont extrêmement similaires malgré des terrains d’études très différents et des méthodes d’estimation qui n’ont rien en commun. La fourchette de valeur est cependant un peu plus étendue dans le bassin de l’Huveaune du fait des incertitudes évoquées dans le §5.2. Ces estimations sont donc de nature à renforcer mutuellement les ordres de grandeur estimés dans l’estuaire de la Seine et dans l’Huveaune. Elles sont par ailleurs dans les deux bassins un à deux ordres de grandeur en-dessous des estimations théoriques, comme c’est le cas dans nombre d’études sur le Rhône (Castro-Jiménez et al., 2019), le Rhin (Vriend et al., 2020), l’Ems, l’Elbe ou la Weser en Allemagne (Schöneich-Argent et al., 2020), où les estimations de terrain sont systématiquement bien inférieures au modèle basé sur l’approche Jambeck.

De plus, la pression anthropique normalisée à la surface du bassin de l’Huveaune (~1100 hab/km²) est beaucoup plus forte que dans le bassin de la Seine (~200 hab/km²), avec un effet

de dilution beaucoup plus faible dans l'Huveaune (~2 m³/s) que dans la Seine (~500 m³/s). Cela rend la pollution plastique beaucoup plus visible pour les riverains de l'Huveaune, petite rivière urbaine, que pour ceux de la Seine, grand fleuve à méandres sur de vastes espaces. La forte visibilité des déchets dans l'Huveaune provoque une demande citoyenne pour "résoudre" ce désordre visuel. Rediriger l'eau de l'Huveaune par de grandes infrastructures en béton et la filtrer au travers de dégrilleurs géants répond donc en parti à cette demande (communication de la SERAMM, <https://madeinmarseille.net/52854-seramm-dernier-kilometre-huveaune/>). Mais cette tâche devient presque impossible lors de fortes pluies.

Enfin, notons que ces estimations ne concernent que les macrodéchets de quelques centimètres et qu'une fraction inconnue, plus petite, et plus difficilement quantifiable passe à travers les dispositifs. C'est d'ailleurs le sens des 10% de petits macroplastiques (< 2,5 cm, en masse) qui passeraient à travers les mailles à Pugette (**Figure 16**). Ils ont été calculés sur la base de la distribution de masse des plastiques non collectés par les ramassages institutionnels des berges de l'estuaire de la Seine (MacroPLAST 2019, non publié).

5.5. REMARQUES CONCLUSIVES ET PERSPECTIVES

Le dernier enseignement de la synthèse comparée de l'estuaire de la Seine et de l'Huveaune (**Figure 16**) est lié à la capacité d'abattement des flux résiduels de macroplastiques par les différents dispositifs mis en place. A l'échelle du bassin, la principale différence entre l'Huveaune et la Seine réside dans la fraction respective des macroplastiques collectée et retournée au système de gestion des déchets, soit 65% dans le cas de l'Huveaune (dégrilleurs) contre 20% dans le cas de la Seine (collecte sur berge). Cela suggère que le système est plutôt résilient dans les pays développés avec de multiples « barrières » entre les déchets perdus et le milieu. Du nettoyage des rues aux collectes sur berge en passant par les dispositifs de piégeage à toutes les étapes de transfert des déchets, les dispositifs sont nombreux et en plein développement (e.g. Rognard et Finck, 2020). D'autant plus s'ils génèrent de nouveaux marchés. Le projet PLASTOC en cours pourra donner des réponses sur la contribution relative de certains dispositifs dans l'abattement des flux de macrodéchets des zones urbaines vers le milieu aquatique.

Cependant, les infrastructures lourdes mises en place dans l'Huveaune pour collecter les macrodéchets ne sont pas anodines. Elles nécessitent d'anthropiser un tronçon entier de la rivière avec des dizaines de mètres cubes de bétons, sacrifiant ainsi la continuité écologique. De plus, cela ne résout pas (i) la dissémination en amont des macrodéchets tout le long du cours d'eau et donc la pollution visuelle induite pour les riverains ainsi que son impact écologique

local, (ii) le transport de déchets de taille inférieure à l'espacement des dégrilleurs, ni (iii) les macrodéchets liés aux crues soudaines qui sont déversés directement vers la mer.

En outre, ~600 t/an de macrodéchets (y compris les débris organiques), sont collectés par les dégrilleurs de Pugette et par les autres dégrilleurs similaires installées sur les Aygalades (SERAMM, com. pers.). Cela signifie que des centaines de tonnes de déchets organiques qui étaient censés rejoindre la mer – dont la fonction écologique est probablement de soutenir la vie marine et les cycles naturels des écosystèmes littoraux – sont retirées pour éliminer quelques tonnes de débris plastiques chaque année. Concernant le traitement de ces déchets, séparer les déchets organiques pour le compostage des déchets anthropiques pour le recyclage n'est pas soutenable économiquement. Le mélange est donc conduit à l'enfouissement ou à l'incinération, faute de mieux.

Cette anthropisation extrême, et ses conséquences esquissées précédemment, posent finalement la question du rapport à la nature qu'entretiennent nos sociétés « modernes ». Cette question dépasse l'analyse coûts/bénéfices environnementaux des infrastructures mis en place, même si d'autres paramètres que les macrodéchets sont parfois considérés comme la biodiversité, la continuité écologique, le risque d'inondation, les services écosystémiques ou les activités de transport fluvial.

6. REFERENCES

- Addamo, A.M., Laroche, P., Hanke, G., 2016. Top Marine Beach Litter Items in Europe. MSFD Technical Group on Marine Litter, Bruxelles.
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Castro-Jiménez, J., González-Fernández, D., Fornier, M., Schmidt, N., Sempéré, R., 2019. Macro-litter in surface waters from the Rhone River: Plastic pollution and loading to the NW Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 146, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.067>
- Ellis, J.B., Butler, D., 2015. Surface water sewer misconnections in England and Wales: Pollution sources and impacts. *Sci. Total Environ.* 526, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.042>
- Friedler, E., Brown, D.M., Butler, D., 1996. A study of WC derived sewer solids. *Water Sci. Technol.* 33, 17–24. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00365-4](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00365-4)
- Gasperi, J., Dris, R., Bonin, T., Rocher, V., Tassin, B., 2014. Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine River. *Environ. Pollut.* 195, 163–166. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.09.001>
- Liro, M., Emmerik, T. van, Wyżga, B., Liro, J., Mikuś, P., 2020. Macroplastic Storage and Remobilization in Rivers. *Water* 12, 2055. <https://doi.org/10.3390/w12072055>
- MacroPLAST, 2019. MacroPLAST : Estimation des flux de Macrodéchets sur le Bassin de la Seine. LEESU.
- Mourgkogiannis, N., Kalavrouziotis, I.K., Karapanagioti, H.K., 2018. Questionnaire-based survey to managers of 101 wastewater treatment plants in Greece confirms their potential as plastic marine litter sources. *Mar. Pollut. Bull.* 133, 822–827. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.044>
- PlasticsEurope, 2020. Plastics – the Facts 2020, an analysis of European plastics production, demand and waste data. Association of Plastics Manufacturer, Brussels.
- Rocher, V., Azimi, S., Paffoni, C., Rousselot, O., Tabuchi, J.P., Bernier, J., Guérin-Rechdaoui, S., Mailler, R., Pichon, S., Gonçalves, A., Marcel, C., Gasperi, J., Thomas, W., 2017. Evolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l’assainissement de 1970 à 2015. Arceau île-de-France, Paris.
- Roebroek, C., Harrigan, H., van Emmerik, T., Baugh, C., Eilander, D., Prudhomme, C., Pappenberger, F., 2020. Plastic in global rivers: are floods making it worse? <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-43330/v1>
- Rognard, F., Finck, J.S., 2020. Macrodéchets anthropiques et assainissement|, Connaissances. CEREMA, Margny-lès-Compiègne.
- Ryan, P.G., Maclean, K., Weideman, E.A., 2020. The Impact of the COVID-19 Lockdown on Urban Street Litter in South Africa. *Environ. Process.* 7, 1303–1312. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00472-1>
- Schöneich-Argent, R.I., Dau, K., Freund, H., 2021. Corrigendum to “Wasting the North Sea? – A field-based assessment of anthropogenic macrolitter loads and emission rates of three German tributaries” [*Environ. Pollut.* 263 (Part B) (August 2020) 114367]. *Environ. Pollut.* 287, 117235. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117235>
- Schöneich-Argent, R.I., Dau, K., Freund, H., 2020. Wasting the North Sea? – A field-based assessment of anthropogenic macrolitter loads and emission rates of three German tributaries. *Environ. Pollut.* 263, 114367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114367>

- Schultz, P.W., Bator, R.J., Large, L.B., Bruni, C.M., Tabanico, J.J., 2013. Littering in Context: Personal and Environmental Predictors of Littering Behavior. *Environ. Behav.* 45, 35–59. <https://doi.org/10.1177/0013916511412179>
- Technical Subgroup on Marine Litter, M., 2013. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas.
- Tramoy, R., Gasperi, J., Colasse, L., Silvestre, M., Dubois, P., Noûs, C., Tassin, B., 2020b. Transfer dynamics of macroplastics in estuaries – New insights from the Seine estuary: Part 2. Short-term dynamics based on GPS-trackers. *Mar. Pollut. Bull.* 160, 111566. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111566>
- Tramoy, R., Gasperi, J., Colasse, L., Tassin, B., 2021. Transfer dynamic of macroplastics in estuaries — New insights from the Seine estuary: Part 3. What fate for macroplastics? *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/sous presse>
- Treilles, R., Gasperi, J., Saad, M., Tramoy, R., Breton, J., Rabier, A., Tassin, B., 2021. Abundance, composition and fluxes of plastic debris and other macrolitter in urban runoff in a suburban catchment of Greater Paris. *Water Res.* 192, 116847. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116847>
- Van Emmerik, T., Kieu-Le, T.-C., Loozen, M., Van Oeveren, K., Strady, E., Gasperi, J., Lebreton, L., Slat, B., Tassin, B., 2018. A methodology to characterize macroplastic dynamics in rivers. Presented at the MICRO 2018. Fate and Impact of Microplastics: Knowledge, Actions and Solutions, MSFS-RBLZ, p. 35.
- Van Emmerik, T., Roebroek, C., Winter, W. de, Vriend, P., Boonstra, M., Hougee, M., 2020. Riverbank macrolitter in the Dutch Rhine–Meuse delta. *Environ. Res. Lett.* 15, 104087. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb2c6>
- van Emmerik, T., Tramoy, R., van Calcar, C., Alligant, S., Treilles, R., Tassin, B., Gasperi, J., 2019. Seine Plastic Debris Transport Tenfolded During Increased River Discharge. *Front. Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00642>
- Vriend, P., van Calcar, C., Kooi, M., Landman, H., Pikaar, R., van Emmerik, T., 2020. Rapid Assessment of Floating Macroplastic Transport in the Rhine. *Front. Mar. Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00010>
- Williams, A.T., Simmons, S.L., 1996. The degradation of plastic litter in rivers: Implications for beaches. *J. Coast. Conserv.* 2, 63–72. <https://doi.org/10.1007/BF02743038>

ANNEXE 1 : FONCTIONNEMENT DES DÉGRILLEURS ET ECHANTILLONNAGE

Pugette comporte une succession de dégrilleurs disposés en ligne parallèlement au lit naturel de l'Huveaune (**Photo 1 et 2**) qui entrent en action au fur et à mesure de la montée des eaux, corrélée à la hausse des débits. Deux dégrilleurs d'entrefer 30 mm (**Photo 2**) sont en activité permanente, puis à partir de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, deux dégrilleurs d'entrefer 70 mm sont sollicités (**Photo 3**). A partir de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, une partie des flux n'est plus dégrillée. Au-delà de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, il y a surverse vers la plage du Prado (**Photo 4**). Le ruisseau des Aygalades a le même genre de dispositif avec des dégrilleurs en cascade. Un premier dégrilleur de 30 mm est en service continu (**Photo 5**), puis lorsque le débit augmente, les dégrilleurs de 70 mm sont sollicités. Enfin, lorsqu'il est trop fort, une surverse s'opère dans le lit d'origine du ruisseau au niveau de la vanne barrage (**Photo 6**). Le protocole d'échantillonnage est illustré par les **Photo 7** et **Photo 10**.



Photo 1 : Dégrilleurs de Pugette (Huveaune ; ©Eric Blin, Suez). Les dégrilleurs alignés avec 2 dégrilleurs d'entrefer 30 mm au fond (fonctionnement permanent), 2 dégrilleurs d'entrefer 70 mm au milieu (fonctionne à partir de $5 \text{ m}^3/\text{s}$) et une voie non dégrillée (à partir de $10 \text{ m}^3/\text{s}$), toutes voies conduisant vers les dessableurs, puis l'émissaire de Cortiou. En haut à droite, la vanne barrage amovible sur le lit naturel

de l'Huveaune permettant de gérer le débit de la rivière par temps de pluie. La surverse survient au-delà de 30 m³/s, vers la plage du Prado. Débit moyen de l'Huveaune d'environ 2 m³/s.

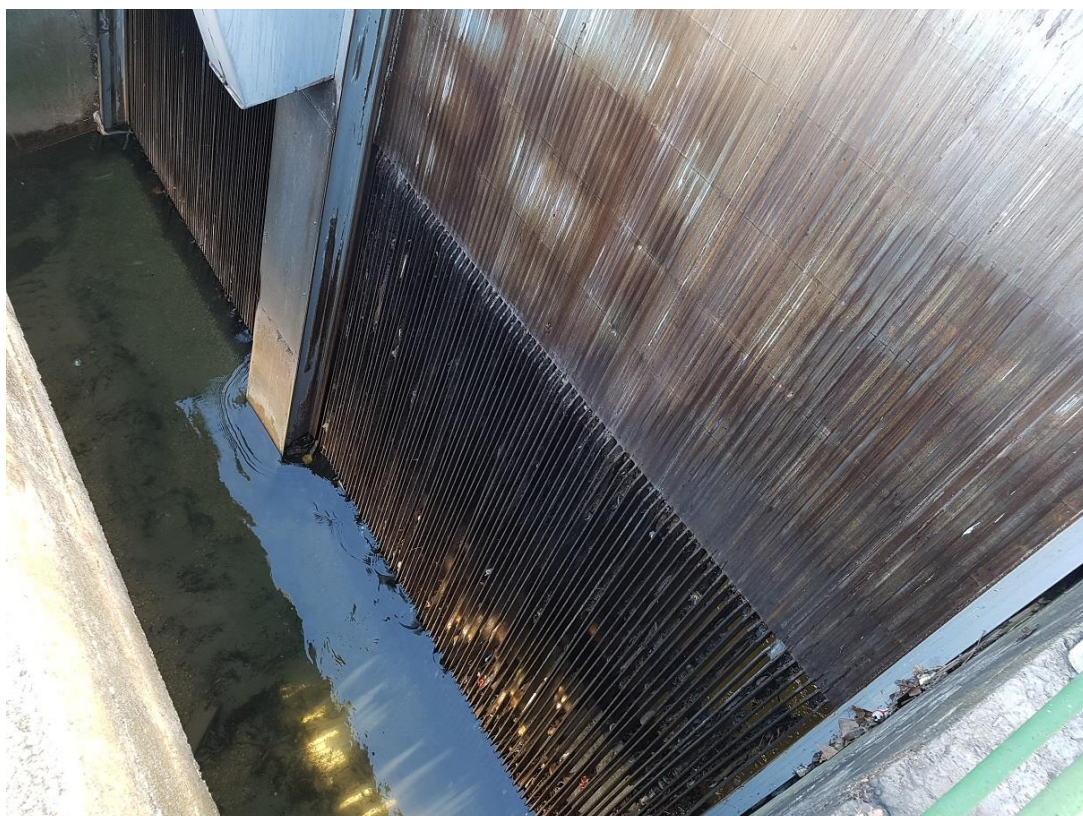


Photo 2 : Dégrilleurs d'entrefer 30 mm à Pugette (Huveaune ; ©Eric Blin, Suez).

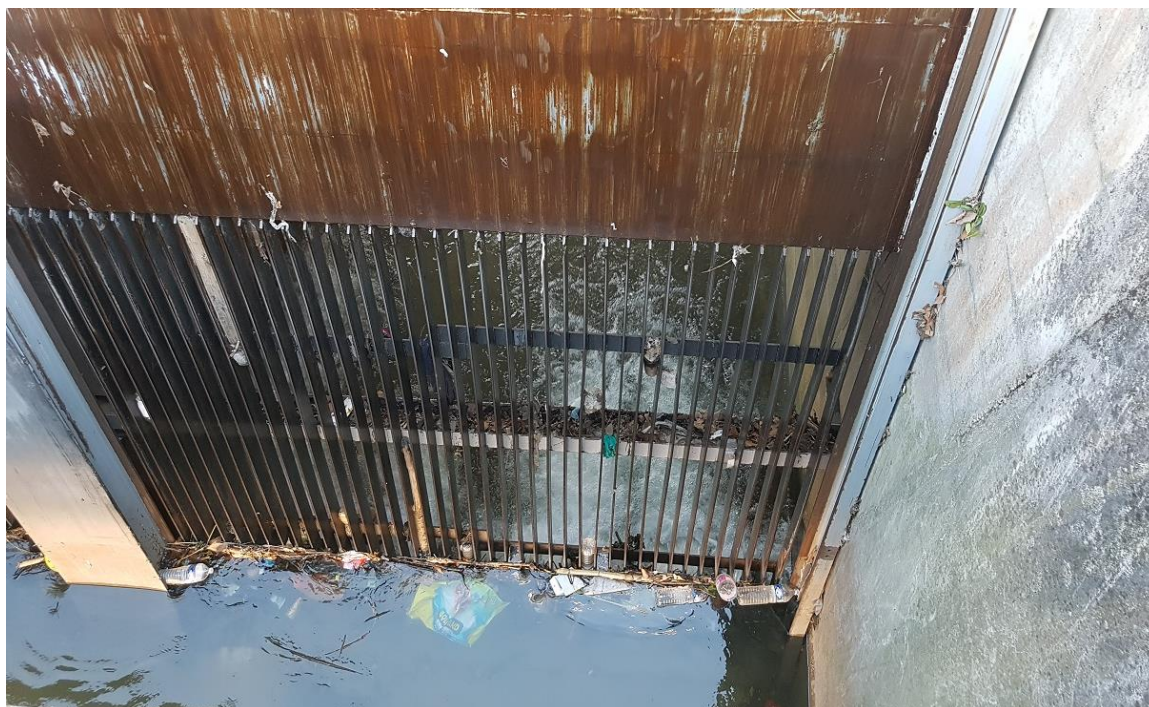


Photo 3 : Dégrilleurs d'entrefer 70 mm à Pugette (Huveaune ; ©Eric Blin, Suez).



Photo 4 : Pugette par temps de pluie exceptionnel (Huveaune ; ©Eric Blin, Suez). Photo prise au début de l'évènement menant à une surverse au niveau de la vanne barrage (au centre de l'image). Noter la quantité impressionnante de débris charriés par les eaux au niveau des dégrilleurs, au premier plan.



Photo 5 : Dégrilleurs d'entrefer 30 mm à Zoccola. (Aygaldes ; ©Eric Blin, Suez).



Photo 6 : Infrastructures de déstagement du ruisseau de Zoccola (Aygaldes ; ©Eric Blin, Suez). A gauche, vers des dégrilleurs d'entrefer 70 mm, à droite le bypass. Les eaux sont ensuite canalisées vers le GPMM.

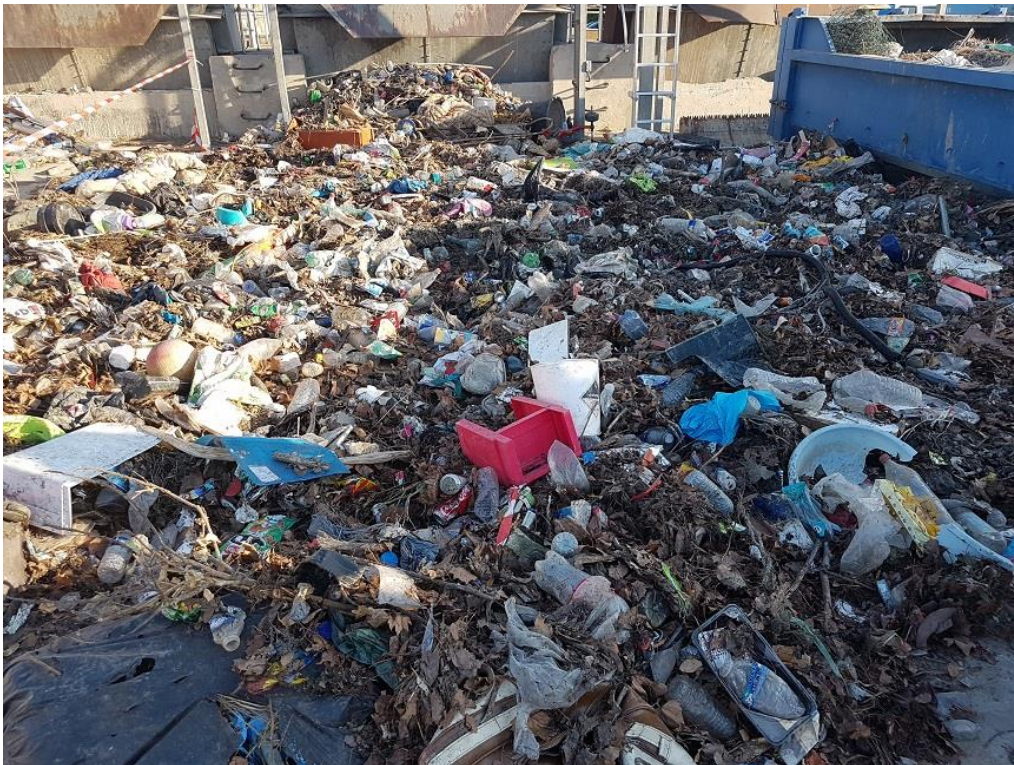


Photo 7 : « Tapis » de déchets à Zoccola (Aygaldes ; ©Eric Blin, Suez). Les déchets de la benne de Zoccola ont été étalés puis séchés à l'air libre pendant plusieurs jours.



Photo 8 : Tranchée à travers le « tapis » de déchets à Zoccola (Aygaldes ; ©Eric Blin, Suez).
Les déchets sont échantillonnés à l'aide d'une pelle, en tranchant au sein de la couche de déchets, sur toute sa hauteur. Ils sont ensuite mis dans des seaux pour estimer les volumes.



Photo 9 : Paquets de déchets triés selon les catégories OSPAR/DCSMM à Zoccola (Aygaldes ; ©Eric Blin, Suez).



Photo 10 : Exemple, catégorie G175/78



Photo 11 : Exemple, catégorie G30.1/19

ANNEXE 2 : DONNÉES DE BASE

Fichier Excel

ANNEXE 3 : POPULATION DU BASSIN DE L'HUVEAUNE À L'AMONT DE PUGETTE

Les flux de macrodéchets plastiques transitant dans l'Huveaune ou se déversant en mer via le Prado ont été ramenés à la population du bassin située à l'amont de Pugette (**Figure 17**). L'estimation a été effectuée sur la base d'un découpage des communes situées sur cette partie du bassin uniquement, en considérant une répartition homogène de la population. Pour les communes qui se situent à cheval sur le découpage du bassin, la population comptée comme partie prenante du bassin est égale au pourcentage de la surface occupée multipliée par la population totale de la commune considérée. L'ensemble des communes et les populations correspondantes sont répertoriées dans le **Tableau 4**.

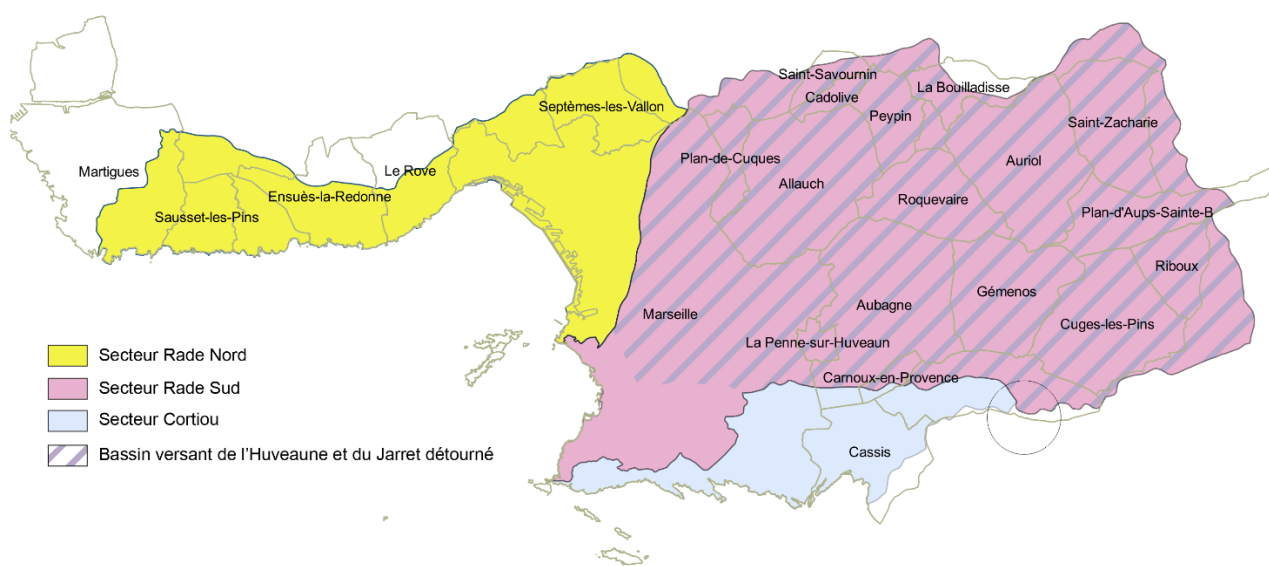


Figure 17 : Bassin de l'Huveaune à l'amont de Pugette (en achuré). Carte réalisée par Thierry Polard (SUEZ-Eau France)

Tableau 4 : Communes et populations correspondantes situées pour tout ou partie dans la partie bassin de l'Huveaune à l'amont de Pugette. BV, Bassin Versant. Pop., population. Données d'après Thierry Polard (SUEZ-Eau France).

Commune	Population (2016)	% sur BV	Pop. sur BV
Allauch	21276	100%	21276
Aubagne	45303	96%	43373
Auriol	11325	100%	11324
La Bouilladisse	6046	57%	3461
Cadolive	2123	100%	2123
Carry-le-Rouet	6053	0%	0
Cassis	7446	0%	0
Cuges-les-Pins	4282	100%	4282
La Destrousse	3101	100%	3101
Ensuès-la-Redonne	5365	0%	0
Gémenos	6232	100%	6232
Marseille	855393	41%	352942
Martigues	47904	0%	0
La Penne-sur-Huveaune	6264	100%	6264
Peypin	5431	100%	5431
Plan-de-Cuques	10689	100%	10689
Roquefort-la-Bédoule	5321	53%	2803
Roquevaire	8776	100%	8776
Le Rove	4557	0%	0
Saint-Savournin	3241	82%	2647
Sausset-les-Pins	7655	0%	0
Septèmes-lès-Vallons	10713	0%	0
Carnoux-en-Provence	6754	73%	4954
Plan-d'Aups-Sainte-Baume	1955	87%	1708
Riboux	36	100%	36
Saint-Zacharie	21276	100%	21276
TOTAL			512 699

ANNEXE 4 : DÉCHETS DÉGRILLÉS

Fichier Excel

ANNEXE 5 : FLUX THÉORIQUES (JAMBECK)

Fichier Excel