

Premières investigations sur les microplastiques en Seine

Rachid DRIS^{1*}, Lisa LAHENS¹, Vincent ROCHER²,
Johnny GASPERI^{1*}, Bruno TASSIN^{1*}

¹Université Paris-Est - Laboratoire eau environnement et systèmes urbains (LEESU) - 61, avenue du Général de Gaulle - 94010 Créteil cedex. Courriel : drisr@leesu.enpc.fr, gasperi@u-pec.fr, tassin@enpc.fr

²Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne (SIAAP) - Direction du développement et de la prospective - 82 avenue Kléber - 92700 Colombes.

* personnes à contacter

Résumé

L'impact des plastiques sur les écosystèmes marins a été constaté dès les années 1970. Même si cet impact est incomplètement cerné (d'un point de vue écotoxicologique essentiellement), il ressort de la littérature qu'il est significatif. Actuellement, l'impact des microplastiques, particules de taille inférieure à 5 mm, est étudié.

Certains travaux suggèrent qu'une grande partie des microplastiques en milieu marin est apportée du continent par les fleuves. Il n'existe de nos jours aucune étude à l'échelle des bassins versants urbains pour étayer ces hypothèses. C'est dans ce contexte que le LEESU a initié un projet de recherche sur les microplastiques. Cette étude est une des premières à mesurer les apports continentaux par une rivière fortement anthropisée. Pour ce faire, des prélèvements ont été effectués en amont et en aval de Paris afin d'évaluer son impact sur la Seine. Les échantillons sont traités (SDS, enzymes, H₂O₂) avant de passer par une séparation densimétrique et une filtration. Les filtres sont observés sous stéréo-microscope et les microplastiques comptabilisés. Une caractérisation des polymères est effectuée à l'aide d'un micro-spectroscopie IRTF-RTA.

Deux types de microplastiques ont été retrouvés, les fibres et les fragments. Les fibres ont été retrouvées à des niveaux de concentrations entre 5,7 et 398,0 particules.m⁻³ dans le milieu, soit environ 2.10⁻⁵ g.m⁻³. Un flux moyen de 1,8.10¹¹ fibres.an⁻¹ a pu être estimé. Des niveaux plus faibles de fragments de microplastiques sont observés, variant de 0,10 à 1,57 fragments.m⁻³ selon la méthode d'échantillonnage utilisée, soit environ 3.10⁻⁶ g.m⁻³. En revanche, aucune tendance n'a pu être mise en évidence entre l'amont et l'aval de l'agglomération parisienne.

La forme fibreuse est prédominante pour les microplastiques retrouvés dans les eaux de surface. Les microplastiques sous forme de fibres semblent provenir des sources urbaines directes ou d'autres sources diffuses comme les apports atmosphériques. Ceci suggère que les microplastiques sous forme de fragments, très peu présents au niveau des sources urbaines analysées et peu concentrés en Seine, proviendraient essentiellement de la dégradation de macroplastiques dans le milieu.

1 Introduction

Dès les années 1970, des « lanceurs d'alerte » ont mis en évidence la présence dans le milieu marin de débris de plastiques de l'ordre du millimètre (Carpenter and Smith, 1972 ; Carpenter et al., 1972). Plus récemment, toujours en milieu marin, des débris de taille infra-millimétrique ont été mis en évidence, et le terme de microplastiques est apparu (Thompson et al., 2004). Si pendant plusieurs années, aucun intervalle de taille n'a été déterminé pour les définir, un consensus a été établi en 2008 afin que soient considérés comme microplastiques, toutes les particules de polymères synthétiques de taille inférieure à 5 mm (Betts, 2008). Les particules de plastique peuvent provenir soit de la dégradation de fragments de taille supérieure à 5 mm, dits macroplastiques, (microplastiques secondaires) (O'Brine and Thompson, 2010), soit être produits directement sous forme microscopique notamment dans les gels de gommage ou exfoliants (microplastiques primaires) (Fendall and Sewell, 2009).

Deux problématiques environnementales ont été étudiées pour les microplastiques : i) leur effet direct sur les organismes vivants et ii) leur interaction avec les polluants organiques (Cole et al., 2011). L'impact direct des microplastiques sur certaines espèces animales a été démontré de manière expérimentale. L'exposition de la moule commune *Mytilus edulis* à des microplastiques entraîne un effet à l'échelle cellulaire et subcellulaire : des inflammations ont lieu ainsi que la déstabilisation des membranes lysosomales (von Moos et al., 2012). De manière générale, les microplastiques peuvent causer une obturation des voies intestinales ou encore une fausse impression de satiété. Ces particules peuvent aussi perturber certains processus cellulaires et dégrader les tissus (Rochman and Browne, 2013). L'ingestion de plastiques a été démontrée pour plusieurs espèces de poissons (Lusher et al., 2013 ; Sanchez et al., 2014), pour certains mammifères marins (Fossi et al., 2012), ainsi que pour des oiseaux et tortues de mer (Andrady, 2011). Si l'ingestion est avérée, des questionnements persistent en ce qui concerne la translocation (assimilation des microplastiques dans les tissus cellulaires) (Browne et al., 2008). Si confirmé, cela impliquerait que la bioaccumulation le long de la chaîne trophique est possible. Par ailleurs, les microplastiques impactent sérieusement le zooplancton, l'un des chaînons de base de la chaîne alimentaire. L'ingestion de microplastiques réduit considérablement leur appétit et impacte, a fortiori, la croissance et la fécondité des populations (Cole et al., 2013). Les microplastiques, en se comportant comme des capteurs passifs, ont la propriété de fixer les polluants organiques hydrophobes. Ces polluants s'adsorbent plus facilement sur les microplastiques que sur les sédiments et pourront être désorbés plus lentement (Teuten et al., 2007). Par conséquent, les microplastiques peuvent représenter un vecteur de polluants organiques important et sur des distances plus longues que les particules naturelles. Par ailleurs, l'ingestion de ces particules contaminées sera un vecteur d'introduction des polluants au sein d'organismes. Différents polluants peuvent s'adsorber sur les microplastiques : les polychlorobiphényles (Endo et al., 2005), les dichlorodiphényltrichloroéthanes et les hexachlorocyclohexanes (Heskett et al., 2012), ainsi que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Frias et al., 2010). En plus des polluants qui s'adsorbent, les microplastiques peuvent relarguer dans le milieu ou l'organisme certains adjuvants ou additifs (plastifiants, retardateurs de flammes, antimicrobiens, etc.) (Teuten et al., 2009).

Si une partie de la pollution marine en microplastiques vient du tourisme côtier, de la pêche, des navires et de l'industrie maritime (Cole et al., 2011), on estime à 80 % la partie ayant une origine terrestre (Andrady, 2011). Malgré l'importance du milieu continental comme source, la quasi-totalité des études se focalise sur le milieu marin. Les milieux continentaux ne sont aujourd'hui que très peu documentés. Quelques études préliminaires témoignent toutefois de la contamination des milieux aquatiques continentaux (Dris et al., 2015a) ; elles portent sur la colonne d'eau (Eriksen et al., 2013 ; Faure et al., 2012) ou des plages de lacs (Imhof et al., 2013 ; Zbyszewski and Corcoran, 2011 ; Zbyszewski et al., 2014) et de l'eau de surface (Moore et al., 2011).

À ce jour, l'influence d'une agglomération sur la qualité des eaux de surface est méconnue. Pour répondre à cette question, le LEESU a initié un projet de recherche sur la contamination de la Seine par les microplastiques. En collaboration avec le programme OPUR (Observatoire des Polluants Urbains) pour ce qui concerne les sources urbaines, une série de campagnes en différents points de la Seine, en amont et en aval de Paris a été menée dans le cadre du programme PIREN-Seine. Ce premier travail a été l'objet de la

thèse de Rachid Dris¹ sur les microplastiques. Cette thèse a été initiée en 2013 et sera soutenue fin 2016. L'objectif de cette thèse est de caractériser l'impact de l'agglomération parisienne sur les eaux de surface, puis, à estimer l'importance des apports continentaux au milieu marin.

Dans ce rapport, la contamination des rivières en fibres et fragments de microplastique est explorée. À la fin du document, un éclairage de cette contamination comparativement aux sources urbaines est également proposé. Tandis que des travaux précédents utilisent de filets de prélèvement présentant des tailles de maille différentes, nous pensons que l'étude des fibres et des microplastiques doit se faire dans une continuité d'échelle de taille. Lors d'une étude préliminaire, deux tailles de maille ont été testées (Dris et al., 2015b). Une différence a été mise en évidence quant à l'utilisation d'une maille fine (80 μm) ou d'une maille plus large (330 μm). Pour les fibres, qui sont apparues très concentrées dans le milieu après nos premiers tests méthodologiques, il est préférable d'utiliser un filet de maille 80 μm . En revanche, les fragments sont moins concentrés et de plus grands volumes de prélèvement sont nécessaires, ce qui est facilité par l'utilisation d'un filet de maille 330 μm . Les deux méthodes ont donc été utilisées pour les objectifs suivants.

- La variation temporelle à court terme (à l'échelle de 2h) ainsi que la variation spatiale des concentrations en fibres ont été évaluées à l'aide d'un filet de maille 80 μm . Les profils de concentration verticaux et horizontaux ont été observés.
- Un suivi mensuel de plus d'un an (n=19 campagnes) sur 5 stations à l'amont et à l'aval de Paris a été mené avec un filet de maille 80 μm dans le but d'avoir une idée globale de la contamination en fibres de l'agglomération parisienne.
- Deux approches ont été choisies pour le prélèvement de fragments à l'aide de filets de maille 330 μm . Des campagnes ont été effectuées avec un filet manta tracté par un bateau à l'aval de Paris afin de fournir des résultats comparables à une part de la littérature, tandis qu'une autre campagne a été menée avec un filet fixe sur les 5 stations du suivi mensuel afin de comparer les résultats à ceux obtenus avec une maille de 80 μm .

2 Matériels et méthodes

L'analyse des microplastiques se fait en plusieurs étapes successives : l'échantillonnage, le traitement, l'observation et la caractérisation.

2.1 Sites d'étude

La Seine est un fleuve long de 777 km de sa source, dans le département de la Côte d'Or, jusqu'à son embouchure située au Havre. Son bassin représente une superficie de 78 650 km² dont le climat est considéré comme pluvial océanique. Dans sa partie amont, le bassin de la Seine intègre la région Île-de-France (12 000 km² soit environ 15 % du bassin de la Seine). La Seine traverse l'agglomération parisienne. Au cours de sa traversée, le fleuve va recevoir les eaux usées traitées générées pas les activités urbaines (27 m³.s⁻¹ rejetés par les STEP parisiennes), faiblement diluées par le débit du fleuve (débit moyen annuel à Paris-Austerlitz : 301 m³.s⁻¹ ; Banque hydro : <http://www.hydro.eaufrance.fr>).

¹ Rachid Dris, First assessment of sources and fate of macro- and microplastics in urban hydrosystems: Case of Paris megacity, 2016. Thèse de l'Université Paris Est.

2.2 Méthode d'échantillonnage pour les fibres

2.2.1 Dispositif d'échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'un filet à plancton (maille 80 μm - section 725 cm^2) couplé à un courantomètre à hélice (OTT - C2'10.150' - mesure de vitesses de courant entre 0,025 et 5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Figure 4). Le courant est mesuré en triplicat de manière simultanée dans le but d'évaluer le volume d'eau échantillonné.

Il arrive que le filet colmate lors des prélèvements du fait des matières en suspension présentes en Seine. Des tests préliminaires ont révélé que ce colmatage se produisait lorsque le prélèvement dépassait les 8 m^3 . Ces tests ont été effectués avec des teneurs en matières en suspension entre 10 et 42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Avec des concentrations plus élevées, le colmatage devrait se produire pour de plus faibles volumes. Afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de colmatage, les volumes de prélèvement sont restés bien inférieurs au seuil des 8 m^3 et le filet est exposé 1 minute afin d'augmenter la représentativité tout en limitant les risques de colmatage. Seule la couche superficielle de la colonne d'eau a été considérée (0,1-0,35 m).

Après chaque prélèvement, le filet est rincé trois fois par l'extérieur avec de l'eau de rivière. L'efficacité du rinçage a été testée lors d'un prélèvement avant le début du suivi. Les trois premiers rinçages ont montré un nombre cumulé de 61 fibres et seulement 2 fibres ont été retrouvées dans le quatrième rinçage. Ce test montre également une faible quantité de fibres dans un blanc de terrain.

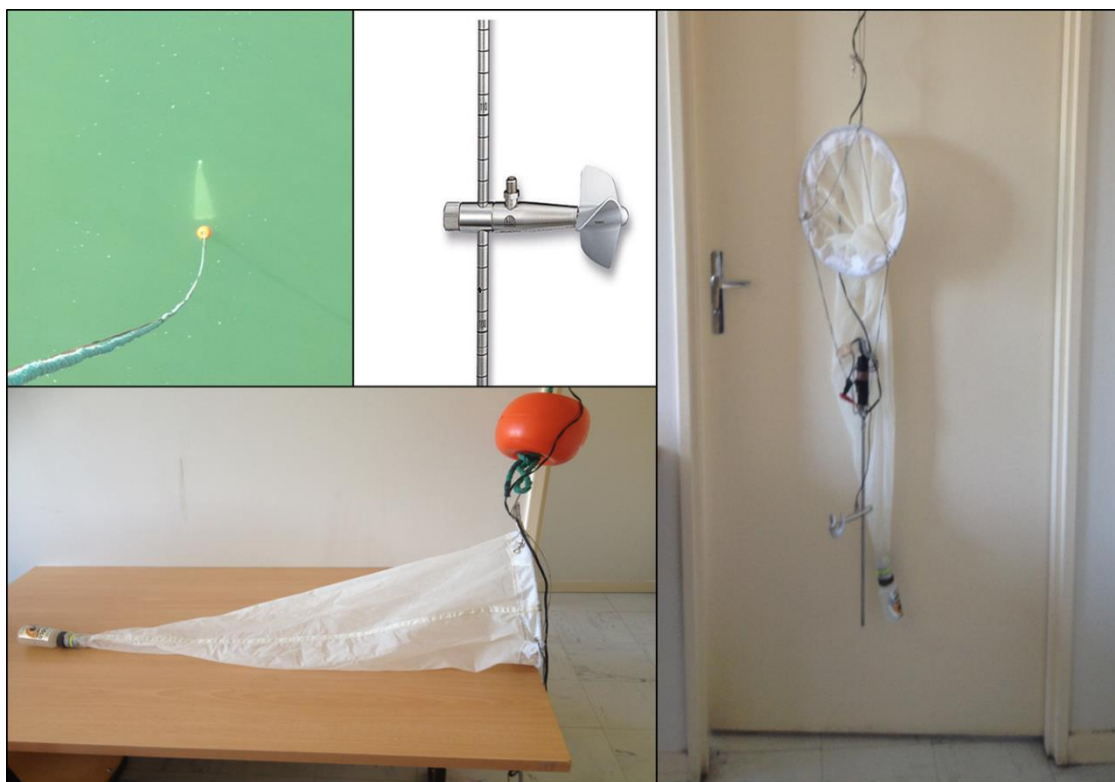


Figure 1 : Filet à plancton de maille 80 μm couplé à un courantomètre à hélice utilisé dans cette étude.

2.2.2 Variabilité temporelle à court terme

Deux campagnes ont été effectuées dans le but de déterminer la variabilité temporelle à court terme des concentrations en microplastiques. Lors de la première campagne le 12 mars 2015 sur le site P1 (Figure 6), 6 prélèvements ont été réalisés dans une période de 2h (10h52 à 12h48). Chaque prélèvement a duré 1 minute et le volume échantillonné était en moyenne de 2,21 m^3 avec un débit mesuré de 144 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

La deuxième campagne a été réalisée sur le même site le 6 juillet 2015. Les 6 prélèvements ont cette fois duré 3 minutes du fait du débit plus faible de la rivière (24 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) qui a permis d'augmenter la durée de

prélèvement sans colmatage. Le volume moyen d'échantillonnage était de $2,72 \text{ m}^3$. Le premier prélèvement a été effectué à 12h03 et le dernier à 15h00.

2.2.3 Variabilité spatiale à travers la section

À la station P1, des prélèvements ont été effectués en triplicata en cinq points de la section de la rivière le 23 avril 2015 (débit de $69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, exposition de 3 minutes). Les échantillons ont été prélevés juste sous la surface (rive droite, milieu, rive gauche) et à différentes profondeurs au milieu de la rivière (Figure 5). La profondeur maximale a été évaluée à 2,6 m à l'aide d'un échosondeur. Tous les prélèvements ont été effectués sur une durée de 3 heures.

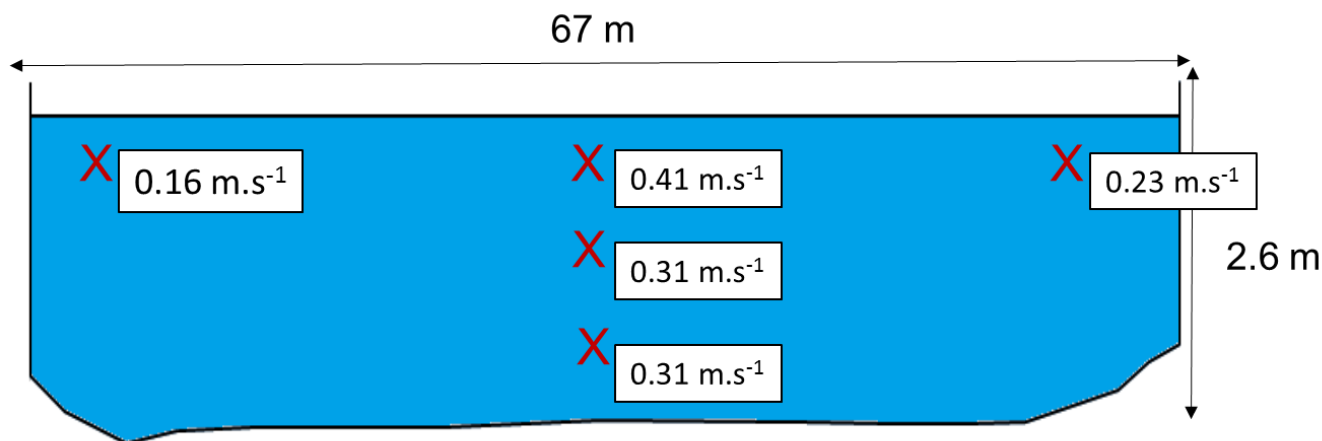


Figure 2 : Points de prélèvement sur la section de la rivière avec les courants mesurés correspondants.

2.2.4 Suivi dans la Seine et la Marne

Une fois par mois, d'avril 2014 à décembre 2015 et en collaboration avec la Direction de la Prospective et du Développement du SIAAP, des prélèvements ont été effectués sur quatre stations sur la Seine en amont et en aval de Paris (P2-P5) ainsi que sur une station sur la Marne (P1) (Figure 6). Deux campagnes de prélèvement n'ont pas pu avoir lieu, en janvier et août 2015, ce qui a donné un total de 19 campagnes de prélèvement (Figure 7). Les échantillonnages ont toujours été réalisés sur une même journée pour les cinq stations. Afin de s'assurer de la répétabilité entre les différentes campagnes, le temps de prélèvement a été fixé à 1 minute pour garantir l'absence de colmatage du filet quels que soient le débit de la rivière et la concentration en matières en suspension. Les volumes échantillonnés variaient de $0,2$ à $4,0 \text{ m}^3$. Ce suivi permettrait également d'avoir une idée des concentrations dans des conditions de débit de 21 à $856 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

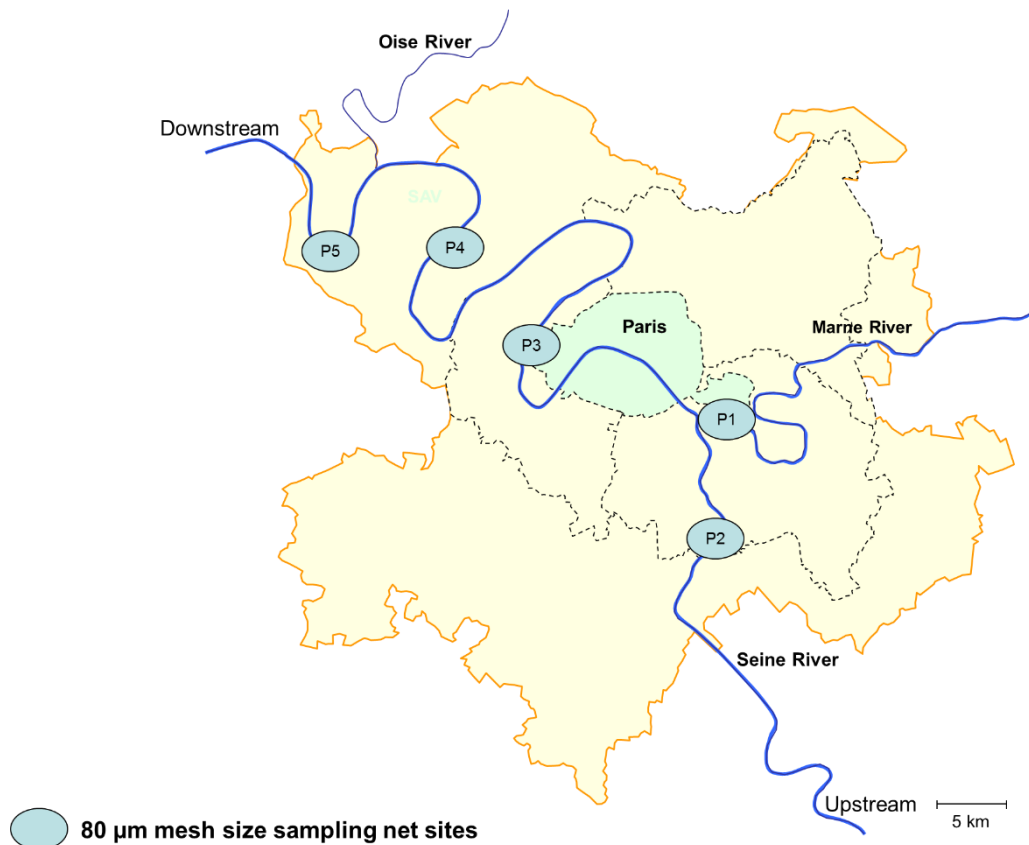


Figure 3 : Emplacement des sites d'échantillonnage durant le suivi annuel avec le filet de maille 80 µm.

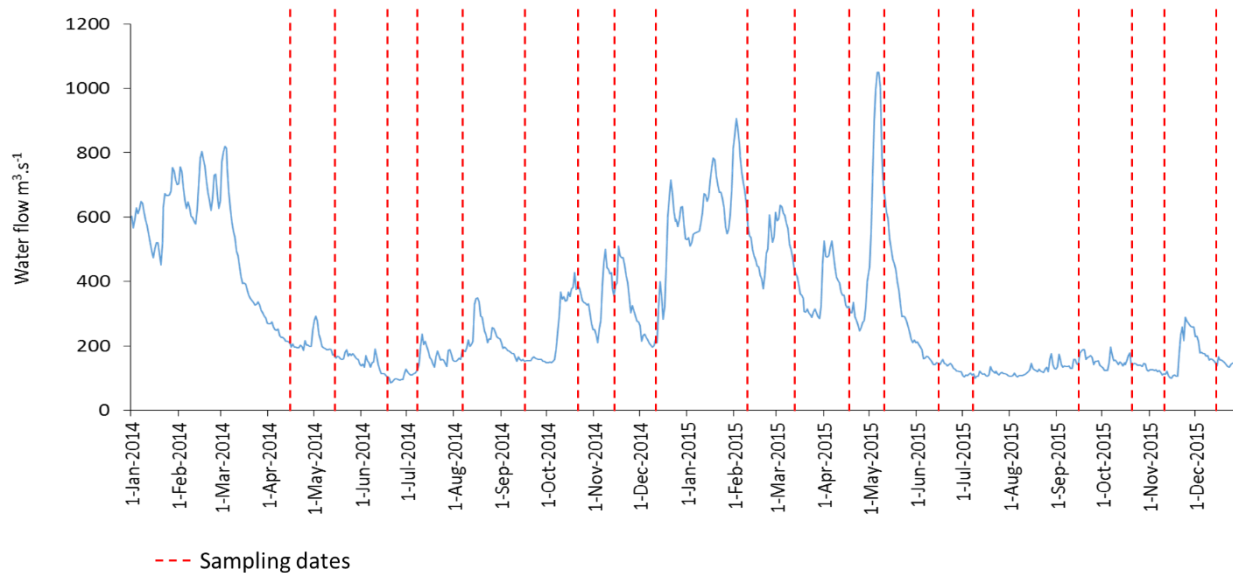


Figure 4 : Débit de la Seine au Pont d'Austerlitz avec visualisation des dates de prélèvement durant le suivi.

2.3 Méthode d'échantillonnage pour les fragments

Deux filets différents ont été utilisés pour échantillonner avec une maille de 330 μm :

- Un filet à plancton a été conçu et utilisé de la même manière que pour le filet de maille 80 μm . Il a été déployé depuis des ponts et couplé à un courantmètre. L'unique différence réside dans la taille du filet qui est ici plus grande avec une surface d'échantillonnage d'environ 1 962 cm^2 .
- Un filet manta a également été utilisé. Il a été tracté par un bateau à moteur vers l'amont pendant 10 minutes sur des distances allant de 0,5 à 1,5 km. La surface d'échantillonnage du filet manta est d'environ 1 350 cm^2 . Le filet est ensuite rincé avec de l'eau de rivière par l'extérieur. Avec cette méthode, de nombreuses plantes et débris végétaux sont collectés. L'utilisation d'un tamis de 2 mm est alors obligatoire pour éliminer ces débris qui augmentent considérablement les volumes et peuvent gêner l'étape de purification. La fraction retenue par le tamis est rincée et triée afin de ne conserver que les débris plastiques et la fraction passant par le tamis est entièrement conservée et transportée au laboratoire pour y être traitée.

2.3.1 Prélèvements statiques à l'aide d'un filet à plancton de maille 300 μm

Deux campagnes ayant des buts différents ont été menées à l'aide du filet à plancton :

- Le 24 mars 2016, une campagne a été effectuée sur le site P1. Trois échantillons ont été prélevés avec une exposition du filet de 5, 15 et 20 minutes. Le but principal était de vérifier que les résultats obtenus avec les différents volumes de prélèvement se trouvaient dans le même ordre de grandeur pour une même journée. L'échantillon de 20 minutes a été écarté à cause de concentrations trop élevées en matières en suspension qui gênent le traitement de l'échantillon et empêche la filtration et l'observation. Des volumes de 32 m^3 en 5 minutes et 89 m^3 en 15 minutes ont été échantillonnés.
- Une deuxième campagne a été réalisée sur les 5 points du suivi (P1 à P5) le 4 juillet 2016. Le filet a été exposé 5 minutes à chaque site et les volumes échantillonnés étaient entre 40 et 73 m^3 . Cette campagne vise à vérifier si une évolution des fragments entre l'amont et l'aval peut être facilement mise en évidence.

2.3.2 Prélèvements statiques à l'aide d'un filet à plancton de maille 300 μm

Cinq campagnes ont été effectuées avec le filet manta sur différents sites (Figure 17). Les volumes d'échantillonnages étaient de 70 à 200 m^3 . Une des campagnes a été réalisée sur le site M1 en amont de l'agglomération parisienne. Les sites M2 et M3 sont situés respectivement en amont et en aval de l'usine de traitement Seine Centre et les sites M3 et M4 sont situés à l'amont et à l'aval de la grande usine de traitement de Seine Aval.

	M1	M2	M3	M4
17 th July 2014		✓	✓	✓
9 th October 2014		✓	✓	✓
17 th September 2015			✓	✓
8 th October 2015	✓			
14 th October 2015			✓	✓

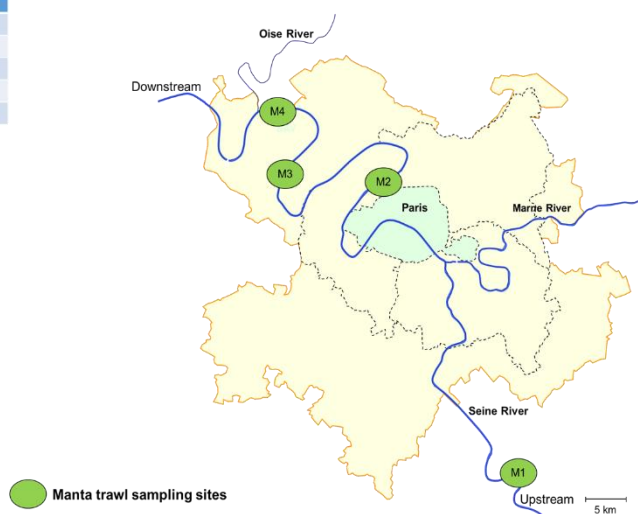


Figure 5 : Emplacement des quatre sites échantillonnés avec le filet manta et dates de prélèvement.

2.4 Traitement des échantillons

Lors de la manipulation des échantillons, seuls de la verrerie et de l'acier inoxydable ont été utilisés, les échantillons étaient couverts d'aluminium et une blouse en coton était portée pour limiter les risques de contamination.

Afin de purifier les échantillons avant l'observation, 1 g de Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) a été ajouté à chaque échantillon qui ont été placés à l'étuve à 70°C pendant 24 heures. Ensuite, 1 mL de bioenzymes SE et F (lipases, amylases, protéases) a été introduit dans les échantillons replacés alors à l'étuve à 40°C pour 48h. Enfin, 15 mL de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) ont été ajoutés avant de remettre les échantillons à l'étuve à 40°C pendant 48h. Certains échantillons étant très chargés en matières en suspension, une séparation densimétrique a été réalisée à l'aide d'une solution saturée de chlorure de zinc (ZnCl₂, densité = 1,6426 ± 0,0016 g.cm⁻³). Finalement, les échantillons ont été filtrés sur des filtres en fibre de verre GF/D Whatman d'un diamètre de 47 mm et d'une porosité de 2,7 µm à l'aide d'une unité de filtration en verre (Figure 1).



Figure 6 : Unité de filtration et filtre.

2.5 Observation des filtres

Les filtres sont observés avec un stéréo-microscope Leica MZ12 (Figure 2) couplé à un logiciel d'analyse d'image. Les filtres sont observés à un grossissement x 16. Les microplastiques peuvent ainsi être repérés et comptabilisés. Leur taille est également évaluée. Selon cette taille, il est parfois nécessaire de passer à un grossissement supérieur afin de confirmer sa nature. Les microplastiques sont classés selon leur forme en fibres, fragments ou sphérules. Puisque certaines fibres peuvent être aussi d'origine naturelle, la reconnaissance de fibres synthétiques plastiques est établie grâce aux critères suivants (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Norén, 2007) :

- les fibres synthétiques ont une largeur homogène sur toute leur longueur ;
- les fibres doivent avoir une courbure, même légère : celles totalement droites ne peuvent être prises en considération, car une origine biologique peut être suspectée ;
- les particules présentant des structures naturelles organiques ou des structures cellulaires (repérables généralement grâce à des cloisonnements) sont automatiquement ignorées ;
- les fibres transparentes ne sont pas prises en compte. Il est impossible en effet de reconnaître dans ce cas précis si l'origine est naturelle ou synthétique. Une fibre verte sera observée avec beaucoup de précautions sachant que c'est une couleur très répandue dans le milieu naturel. Les fibres les plus facilement repérables sont généralement bleues ou de teintes particulières (jaune, rose, etc.).

Le logiciel Histolab, utilisé en couplage avec la loupe, permet aussi de mesurer la longueur des fibres. Ces dernières ont ainsi été comptabilisées par classes d'intervalle de 200 μm entre 50 et 5 000 μm .

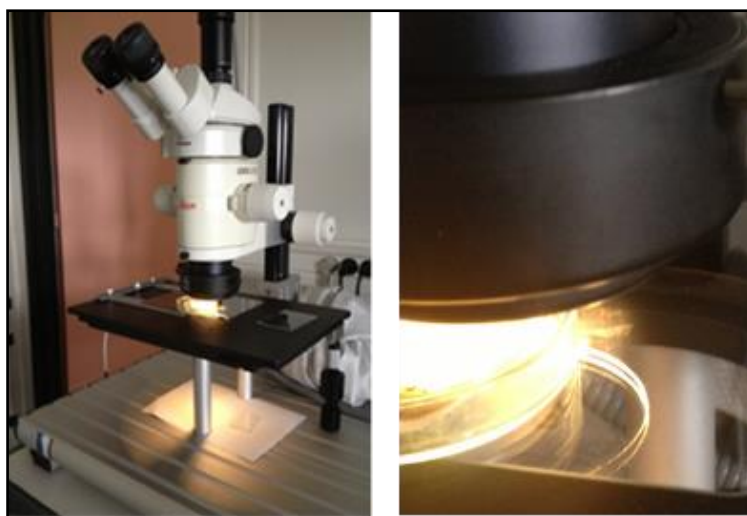


Figure 7 : Stéréo-microscope utilisé pour l'observation des filtres.

2.6 Caractérisation

Afin d'accéder à la composition chimique des fibres et fragments de microplastique observés, un micro-spectroscopie IRTF-RTA a été utilisé (Figure 3). Les spectres obtenus pour chaque particule sont comparés à une base de données permettant de terminer le polymère constituant la fibre ou le fragment analysé.



Figure 8 : Micro-spectroscopie IRTF-RTA et lame d'observation

2.7 Exploitation et expression des résultats

Les résultats sont exprimés en nombre de fibres par mètre cube ou en nombre de particules par mètre cube concernant les fragments. Pour les fibres, le nombre total est exprimé (fibres de polymère synthétique tel que le polyamide + fibre de polymère artificiel tel que la rayonne + fibres de polymère naturel tel que le coton). La caractérisation permet par la suite d'estimer la fraction qui correspond à des polymères synthétiques.

Un paragraphe est consacré à l'estimation des flux de masse. Sachant que les concentrations sont exprimées en nombre et basées sur un comptage, une conversion se basant sur différentes hypothèses (de taille, d'épaisseur et de nature de polymère) doit être effectuée pour accéder à la masse des fibres. Cette estimation n'est effectuée que sur la part de fibres synthétiques. Sachant que toutes les fibres sont mesurées, la longueur totale cumulée de fibres par échantillon a pu être estimée. En couplant cette donnée au diamètre moyen, le volume total des fibres peut donc être approximé. Connaissant les polymères que contiennent généralement les fibres synthétiques, des densités ont pu être considérées afin de réaliser la conversion du volume vers la

masse. Des hypothèses minimales (polyéthylène – 1.0 g.cm^{-3}) et maximales (polyéthylène téréphtalate - 1.4 g.cm^{-3}) ont été posées pour la densité.

3 Résultats

3.1 Caractérisation, concentrations et flux de fibres

3.1.1 Description des fibres

Des fibres de différentes couleurs ont été observées avec une prédominance des fibres bleues. Le diamètre moyen des fibres est de $25 \mu\text{m}$ mais peut varier de 5 à $100 \mu\text{m}$. La distribution en longueur des fibres suit une tendance décroissante. La fraction $[250-450 \mu\text{m}]$ est la plus abondante (Figure 8). Cette proportion décroît avec l'augmentation des tailles. La plus petite classe de taille $[50-250 \mu\text{m}]$ contient moins de fibres, ce qui pourrait être dû au fait que certaines fibres passent facilement à travers les mailles du filet $80 \mu\text{m}$.

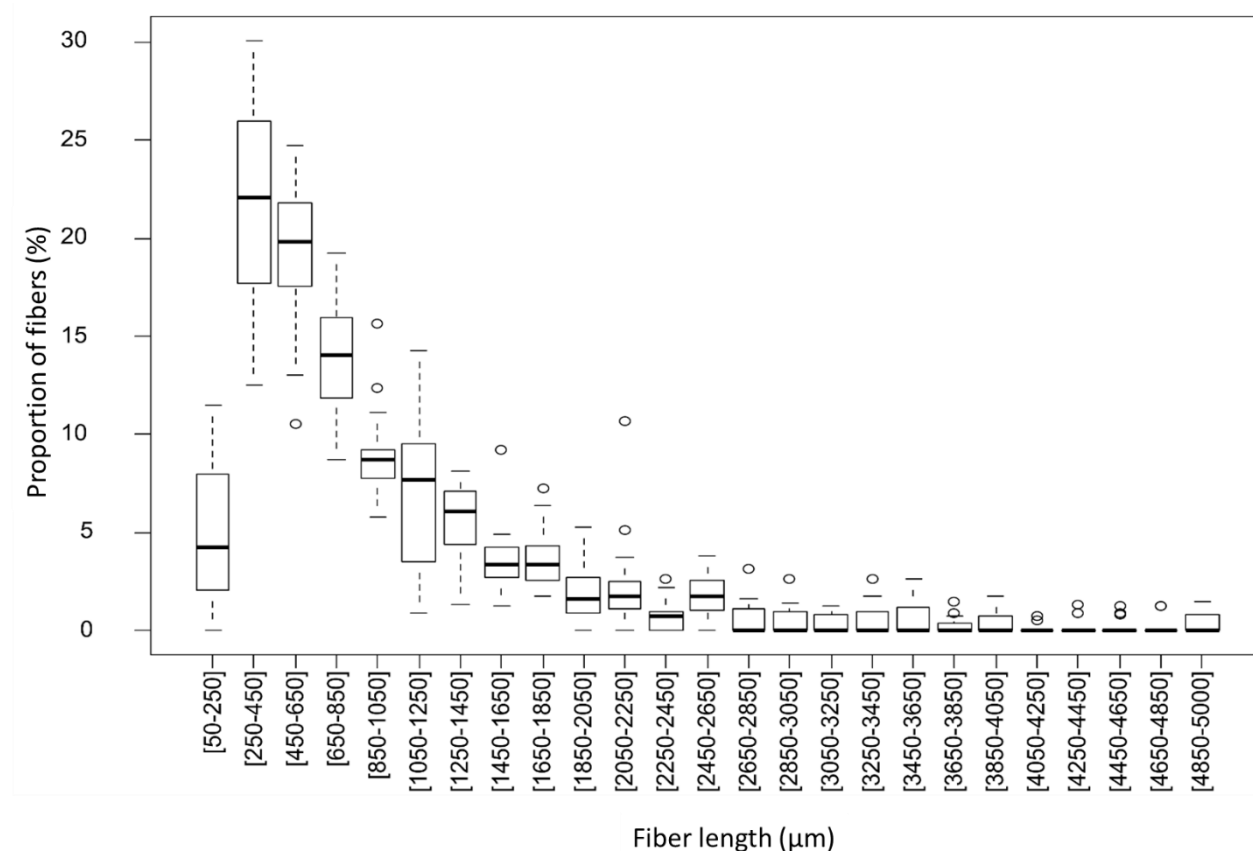


Figure 9 : Distribution en longueur des fibres dans les échantillons de rivière (avec $n=15$ échantillons et 1664 fibres mesurées). Les boîtes à moustaches sont tracées, de bas en haut, de la façon suivante : [Quartile inférieur – $1,5 \times$ Ecart interquartile], [Quartile inférieur], [Médiane], [Quartile supérieur], [Quartile supérieur + $1,5 \times$ Ecart interquartile]. Les valeurs extrêmes sont représentées par des points isolés.

3.1.2 Variabilité temporelle à court terme

Lors de la première campagne de prélèvement, les concentrations variaient de $38,2$ à $101,6 \text{ fibres.m}^{-3}$ (Figure 9) avec un coefficient de variation aux alentours de 45% (avec $n=6$). Cette variabilité semble particulièrement élevée et pourrait être attribuée à une variation des concentrations dans les eaux de surface due à des variations au niveau des vitesses de courant ou des apports de fibres. Cependant cela peut aussi être lié aux courtes durées de prélèvement.

Par conséquent, le temps d'exposition du filet a été triplé pour la deuxième campagne (3 minutes au lieu d'1 minute). Les concentrations étaient alors entre 18,7 et 38,6 fibres.m⁻³ avec une concentration moyenne de 30,4 fibres.m⁻³ et un coefficient de variation de seulement 26% (n=6).

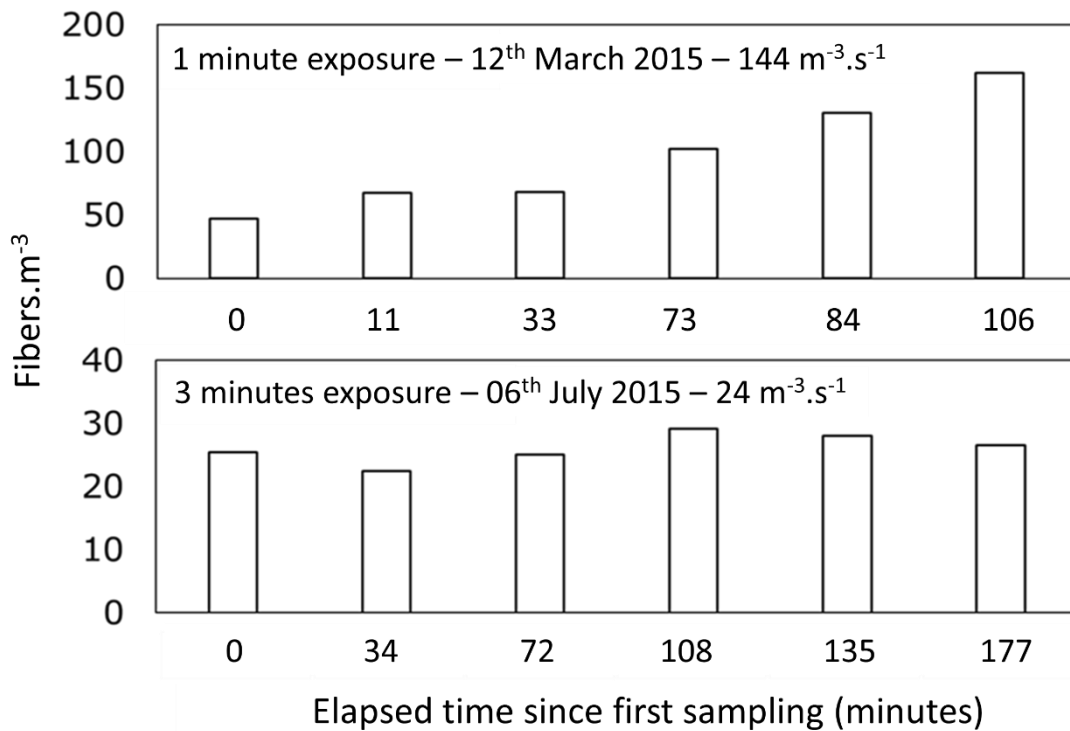


Figure 10 : Variabilité à court terme des concentrations en microplastiques au cours des deux campagnes effectuées respectivement en deux et trois heures.

3.1.3 Variabilité spatiale à travers la section

Des triplicatas d'échantillons de surface de microplastiques au milieu de la rivière ont montré des concentrations de 16,8 - 21,3 - 24,7 fibres.m⁻³ (Figure 10). Des concentrations plus importantes ont été observées proches des berges avec 52,4 - 61,0 - 87,7 fibres.m⁻³ pour la rive gauche et 32,1 - 34,8 - 46,4 fibres.m⁻³ pour la rive droite. Le coefficient de variation pour les 9 échantillons de surface après une exposition de trois minutes est d'environ 53%, ce qui est deux fois plus élevé que le coefficient de variation retrouvé pour la deuxième campagne de prélèvement pour la variabilité temporelle à court terme. Cela montre une différence de concentrations potentielle entre le milieu de la rivière et les rives.

Les concentrations plus élevées observées vers les rives pourraient être liées à l'intense trafic fluvial de l'agglomération parisienne. En effet, il est facile de voir que les macroplastiques et autres débris flottants sont entraînés vers les rives par les vagues formées lors du passage de bateaux et les microplastiques pourraient subir ce même phénomène. Cette différence pourrait également être expliquée par un débit réduit au niveau des rives.

Des concentrations de 19,0 - 20,2 - 28,2 fibres.m⁻³ ont été retrouvées à 1 m de profondeur et 13,7 - 16,9 - 19,1 fibres.m⁻³ ont été observées à 2 m de profondeur.

En prenant en compte les neuf échantillons collectés au milieu de la section à trois profondeurs différentes, un coefficient de variation de 21% est calculé, ce qui montre que la variabilité verticale est plus de deux fois inférieure à la variabilité horizontale. Dans les études de l'environnement marin, les filets flottants sont très utilisés. S'il peut être facilement concevable que les fibres et les microplastiques flottent aux alentours de la surface dans les eaux marines, les conditions hydrodynamiques en rivière pourraient induire une répartition différente à travers la section. L'absence d'homogénéité verticale dans la rivière est probablement due à la turbulence ainsi qu'au fait que la densité est plus faible dans les eaux douces que dans l'environnement marin. La circulation de bateaux contribue également quelque peu à la turbulence.

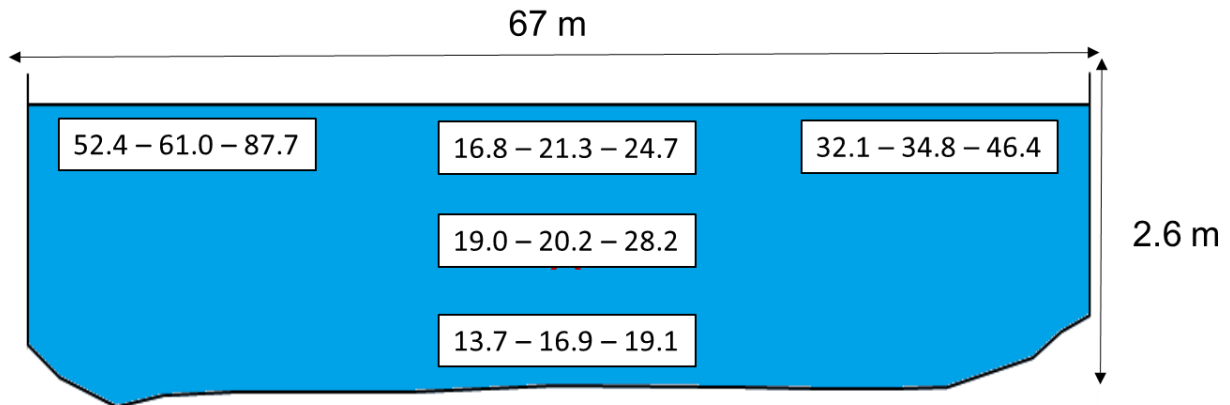


Figure 11 : Concentrations en fibres, exprimées en fibres.m⁻³, pour les 5 points échantillonnés.

3.1.4 Suivi dans la Seine et la Marne

Les concentrations durant l'année de suivi dans la Marne (P1) se situent entre 5,7 et 398,0 fibres.m⁻³ avec une concentration moyenne de $100,6 \pm 99,9$ fibres.m⁻³ (moyenne \pm écart type). Pour la Seine, les concentrations observées de l'amont à l'aval sont de $48,5 \pm 98,5$ fibres.m⁻³ (P2), $27,9 \pm 26,3$ fibres.m⁻³ (P3), $27,9 \pm 40,3$ fibres.m⁻³ (P4) et $22,1 \pm 25,3$ fibres.m⁻³ (P5). Les résultats détaillés sont présentés ci-dessous (Figure 11).

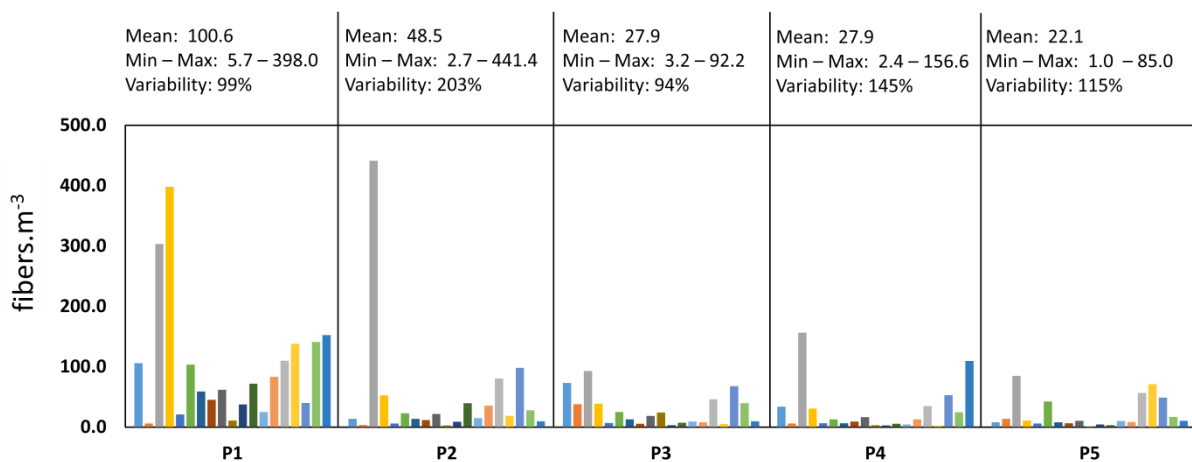


Figure 12 : Concentrations obtenues pour les 5 sites pendant le suivi.

Le coefficient de variation est entre 94% et 203%, ce qui est supérieur à la variabilité temporelle à court terme. Cela pourrait indiquer que de petites variations, même minimales, peuvent se produire au cours de l'année. Les variations semblent survenir parallèlement sur différents sites. En testant la corrélation par paire entre les sites (Figure 12), le coefficient de corrélation de Spearman confirme que les différents sites présentent des niveaux de concentration corrélés (sauf entre P1 et P3). Cela pourrait montrer que des facteurs globaux variant de la même façon sur tous les sites peuvent davantage affecter les concentrations que des facteurs locaux et ponctuels. Des changements d'apports diffus ou des variations saisonnières pourraient en être la cause, mais il pourrait également y avoir un lien avec les variations de débit.

Les coefficients de corrélation (R^2) entre le débit de la rivière et les concentrations aux différents sites sont entre 0,09 et 0,27. Il n'y a donc pas de corrélation évidente mais on observe cependant une certaine tendance pour les périodes de forts débits pendant lesquelles les niveaux de fibres semblent plutôt faibles. Lors des périodes de bas débits, les niveaux de concentration sont plus variables et pourraient être influencés par

différents paramètres tels que l'apport de fibres par des sources ponctuelles (STEP, DO), des sources diffuses (retombées atmosphériques) ou une resuspension possible de fibres à partir des sédiments.

En ce qui concerne les différences spatiales, le test de Kruskal-Wallis montre une différence significative entre les concentrations des cinq points ($p\text{-value} < 10^{-3}$). Une comparaison par paire avec le test de Mann-Whitney (Figure 12) montre que cette différence est due uniquement au site P1 qui présente des concentrations significativement différentes de toutes les autres. Il semble que des concentrations plus élevées sont observées en P1 (Figure 13), qui est le seul site situé sur la Marne, ce qui est cohérent avec la tendance observée précédemment quant aux concentrations plus élevées lors de bas débits. Les connaissances actuelles ne permettent pas d'expliquer une telle différence.

Mann-Whitney pairwise comparisons:					
	P1	P2	P3	P4	P5
P1		0.0032	0.0011	0.0006	0.0002
P2			0.7043	0.2673	0.1526
P3				0.3069	0.4655
P4					0.9534
P5					
Rs Spearman test:					
	P1	P2	P3	P4	P5
P1		0.0047	0.1473	0.0075	0.0141
P2	0.6193		0.0388	0.0127	0.0072
P3	0.3456	0.4772		0.0006	0.0196
P4	0.5930	0.5597	0.7140		0.0286
P5	0.5526	0.5947	0.5298	0.5018	
					R ₂
					P-value

Figure 13 : Résultats des tests statistiques pour la comparaison et la corrélation entre les sites.

Au vu des différents apports de fibres potentiels localisés entre les sites de prélèvement, le fait que les niveaux de concentration ne soit pas significativement différents entre l'amont et l'aval semble contre intuitif. En effet entre P2 et P5, la Seine croise deux affluents (la Marne et l'Oise), trois stations d'épuration dont la plus importante de France (Seine Amont, Seine Centre et Seine Aval), des déversoirs d'orage et la ville de Paris avec sa population très dense. L'absence de différence entre l'amont et l'aval de Paris pourrait être expliquée par la compensation de ces apports par différents puits tels que la sédimentation et le dépôt de fibres sur les berges. La dégradation n'a pas été considérée comme une explication possible du fait du temps de transport de particules estimé trop court entre les points le plus en amont et le plus en aval (environ 72 heures entre P2 et P5 selon les débits moyens).

Les matières en suspension ont été analysées pour chaque campagne et aucune corrélation n'a été mise en évidence entre les taux de matière en suspension et les concentrations en fibre. Le coefficient de corrélation R^2 ne dépasse pas 0,1 pour chaque site.

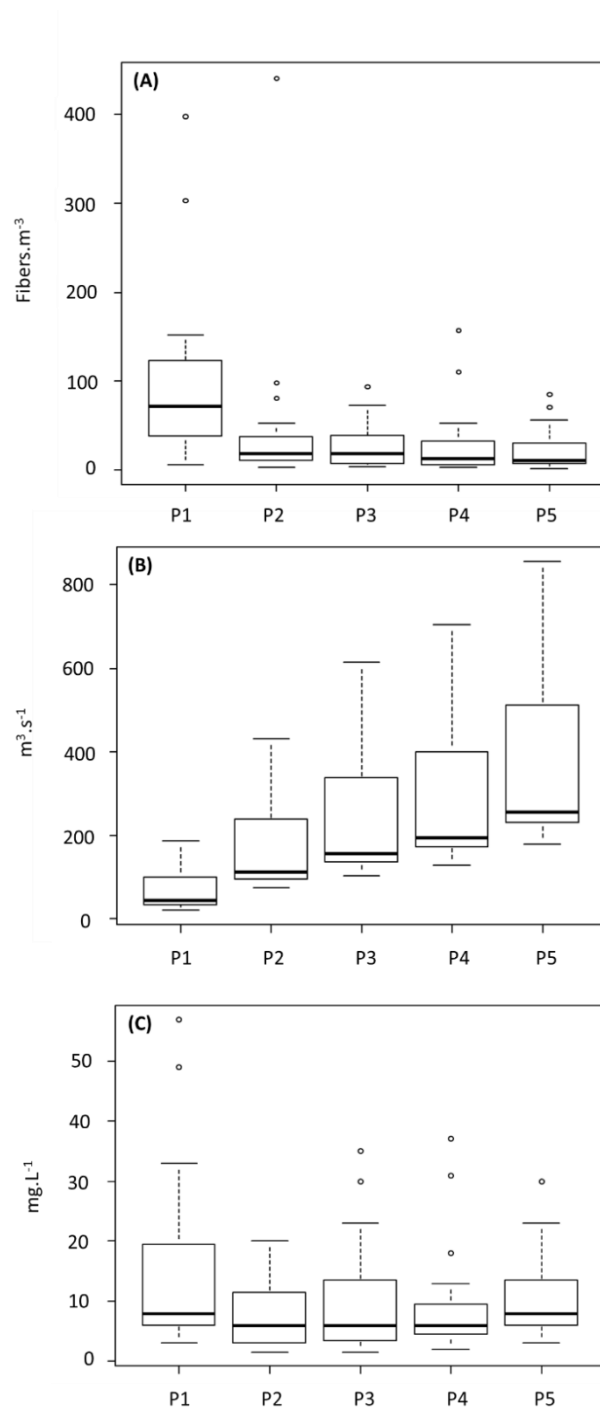


Figure 14 : (A) Concentration en fibres (B) Débits en Marne ou en Seine aux diverses stations considérées (C) Taux de matières en suspension.

3.1.5 Caractérisation chimique des fibres

Un total de 25 fibres a été sélectionné aléatoirement et identifié afin d'estimer la proportion de fibres synthétiques parmi toutes les fibres comptées (Figure 14). D'après les spectres, 15 fibres correspondent à de la rayonne et une fibre à du coton. Cette dernière correspondance pourrait être remise en question car les spectres de la rayonne et du coton sont très similaires. Les fibres restantes (9 fibres correspondant à 65%) sont toutes synthétiques. Cinq de ces fibres ont été caractérisées comme du PET, deux comme du PP et une comme du PA. La dernière fibre est un mélange de PET et PUR. Le PET est le polymère le plus utilisé pour les fibres synthétiques.



Figure 15 : Exemples de fibres identifiées à l'aide de la micro-spectroscopie IRTF.

3.1.6 Estimation des flux de fibres

3.1.6.1 Estimations des flux de fibres à différents points de la section

Il est important d'évaluer les erreurs potentielles induites par les variabilités spatiale et temporelle à court terme avant d'essayer d'estimer les flux de fibres car tous les prélèvements du suivi mensuel étaient ponctuels, en surface et au milieu de la rivière. Le flux de fibres est estimé en multipliant le débit de la rivière et la concentration en fibres. D'après la variabilité spatiale évaluée à travers la section, les flux ont été estimés selon trois théories (Figure 15) :

- Hypothèse A : En prenant en compte uniquement la concentration trouvée pour le point du milieu en surface ($n=3$) et en considérant le débit de toute la section, un flux de $1\,445 \text{ fibres.s}^{-1}$ est estimé.
- Hypothèse B : La variabilité horizontale est prise en compte. Les trois points de surface sont considérés ($n=3 \times 3$). La section de la rivière est divisée en trois sections égales. Le débit mesuré et la concentration en fibres de chaque point sont combinés pour estimer le flux de fibre de chaque section. En additionnant ces trois flux, on obtient un flux global de fibres de $2\,421 \text{ fibres.s}^{-1}$. En conclusion, la non prise en compte de la variabilité horizontale induit dans ce cas une sous-estimation de 40%.
- Hypothèse C : La variabilité verticale est prise en compte. En utilisant la même méthode que pour l'hypothèse précédente avec les points centraux, le flux global de fibres est estimé à $1\,384 \text{ fibres.s}^{-1}$. Cela montre que sans prendre en compte la variabilité verticale, il y a une surestimation de l'ordre de 4%. Cette erreur est plus faible que celle induite par les variabilités horizontale et temporelle à court terme.

Du fait que des profils verticaux de concentrations en fibre et de débit n'aient pas été réalisés pour les rives, le flux selon l'hypothèse prenant en compte les variabilités horizontale et verticale n'a pas été calculé. Cependant ce test a été appliqué uniquement au cas d'une faible profondeur (2,6 m) et il serait nécessaire de vérifier sa fiabilité pour des rivières plus larges et plus profondes ayant des conditions hydrauliques différentes. Ces approximations doivent être prises en considération lors de l'interprétation des flux présentés par la suite.

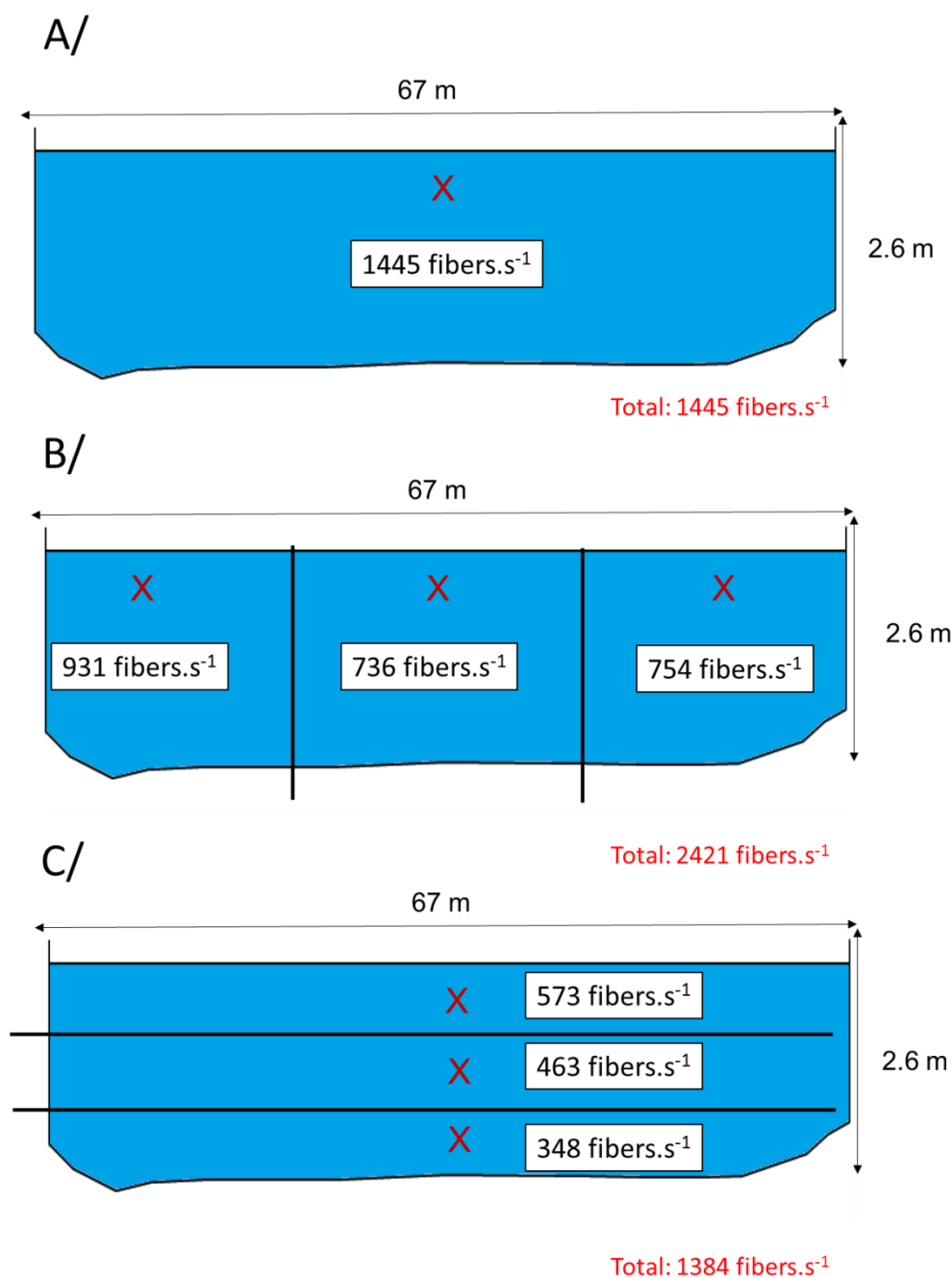


Figure 16 : Estimations de flux en considérant différents points de la section.

3.1.6.2 Flux annuel pour la Seine

Il est possible d'estimer les flux annuels de fibres dans la Seine d'après les 19 flux ponctuels calculés pour chaque site. Les résultats sont présentés dans la figure 16. Le point amont P2 et le point aval P5 révèlent des flux très proches. L'augmentation entre les deux stations est de seulement 6%, ce qui est bien plus faible que l'incertitude induite par la variabilité à court terme présentée précédemment. Par conséquent, l'impact de l'agglomération parisienne ne peut pas être mis en évidence pour ce qui est des fibres et les connaissances actuelles ne permettent pas de comprendre et d'expliquer cette absence de tendance. On pourrait supposer que dans le cas de l'agglomération parisienne les puits et les sources présentent des niveaux similaires.

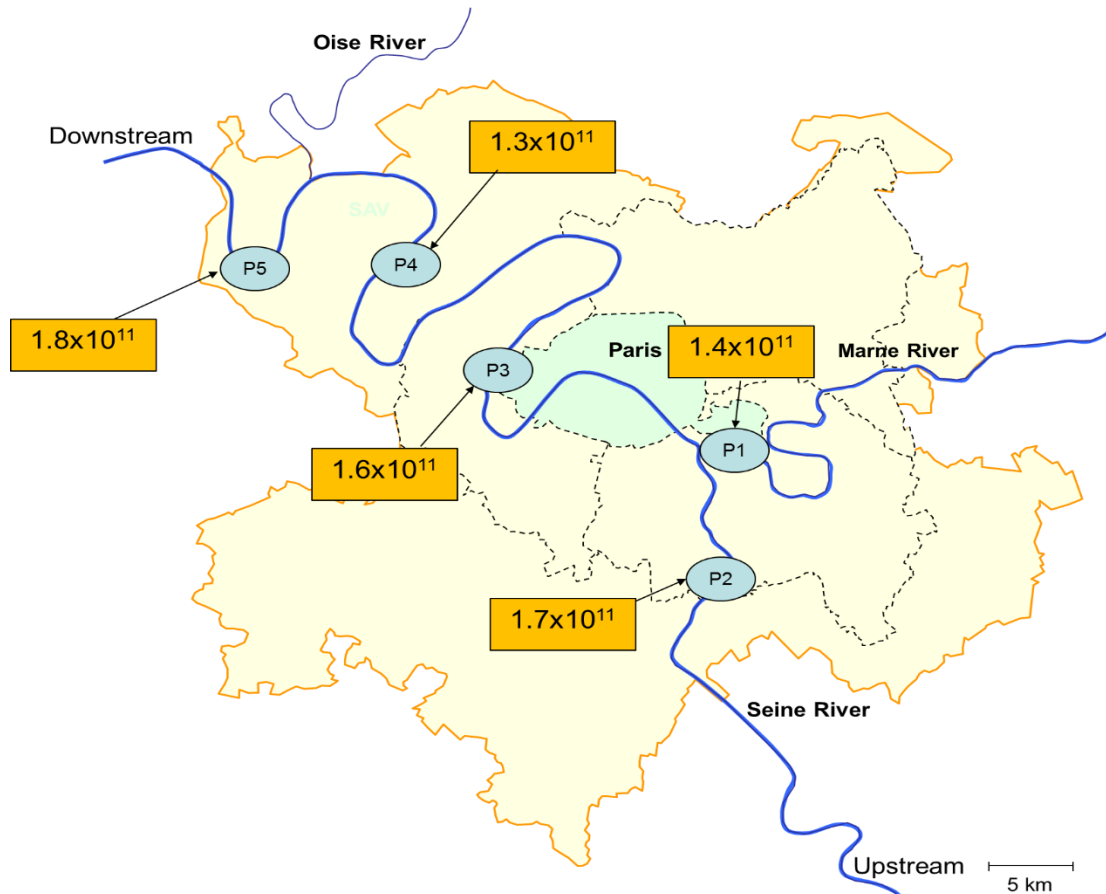


Figure 17 : Nombre de fibres totales circulant par chaque site en un an. Ces résultats sont extrapolés à partir des prélèvements du suivi mensuel.

Les flux estimés maximum et minimum pour le site P5 sont de $2,8 \cdot 10^{10}$ et $6,1 \cdot 10^{11}$ fibres par an avec une moyenne de $1,8 \cdot 10^{11}$. En prenant en compte l'hypothèse des 65% de fibres synthétiques, on peut estimer qu'entre $1,8 \cdot 10^{10}$ et $4,0 \cdot 10^{11}$ fibres de microplastique circulent par ce site en un an. En se basant sur des hypothèses de densité de polymères et de volume des fibres, une masse de fibres synthétiques a pu être estimée entre 0,01 et 0,34 tonnes par an.

3.2 Caractérisation, concentrations et flux de fragments

3.2.1 Description des fragments

Comme pour les fibres, des fragments de nombreuses couleurs différentes ont été retrouvés. Ces microplastiques non fibreux étaient sous différentes formes : irrégulières, régulières (rectangle, triangle, etc.), allongées (qui sont des fragments en 1D plus larges que les fibres), ovales, films, mousses et sphères. Le bleu est prédominant et retrouvé pour 75% des fragments. Des particules jaunes, rouges, grises, violettes, marron, roses et noires ont également été détectées.

La surface apparente des fragments, qui correspond à la surface du périmètre projeté de chaque fragment, a été mesurée (Figure 18). Les fragments ont été classés selon leur surface (en μm^2). 40% des fragments ont une surface inférieure à $50\,000 \mu\text{m}^2$ et le nombre de fragments semble diminuer avec l'augmentation de leur surface. Cependant, les grands fragments contribuent de manière significative à l'aire totale des fragments observés. En effet, même si les plus grands fragments ne comptent que pour 7% du nombre total de fragment, leur aire cumulée représente 45% de la surface cumulée totale. Cela indique que les particules les plus larges sont également prédominantes en ce qui concerne les volumes. Par conséquent, ils représentent probablement la part la plus importante des flux et concentrations massiques. L'observation de la taille des particules dans les eaux douces est importante car leur dynamique en dépend.

Les fragments ont été ramassés avec des pinces à bouts fins afin d’avoir une idée de leur épaisseur. L’épaisseur des fragments a été estimée entre 10 et 100 μm . Cette estimation n’est pas précise et il est nécessaire de développer des méthodes permettant d’évaluer l’épaisseur des plus petites particules.

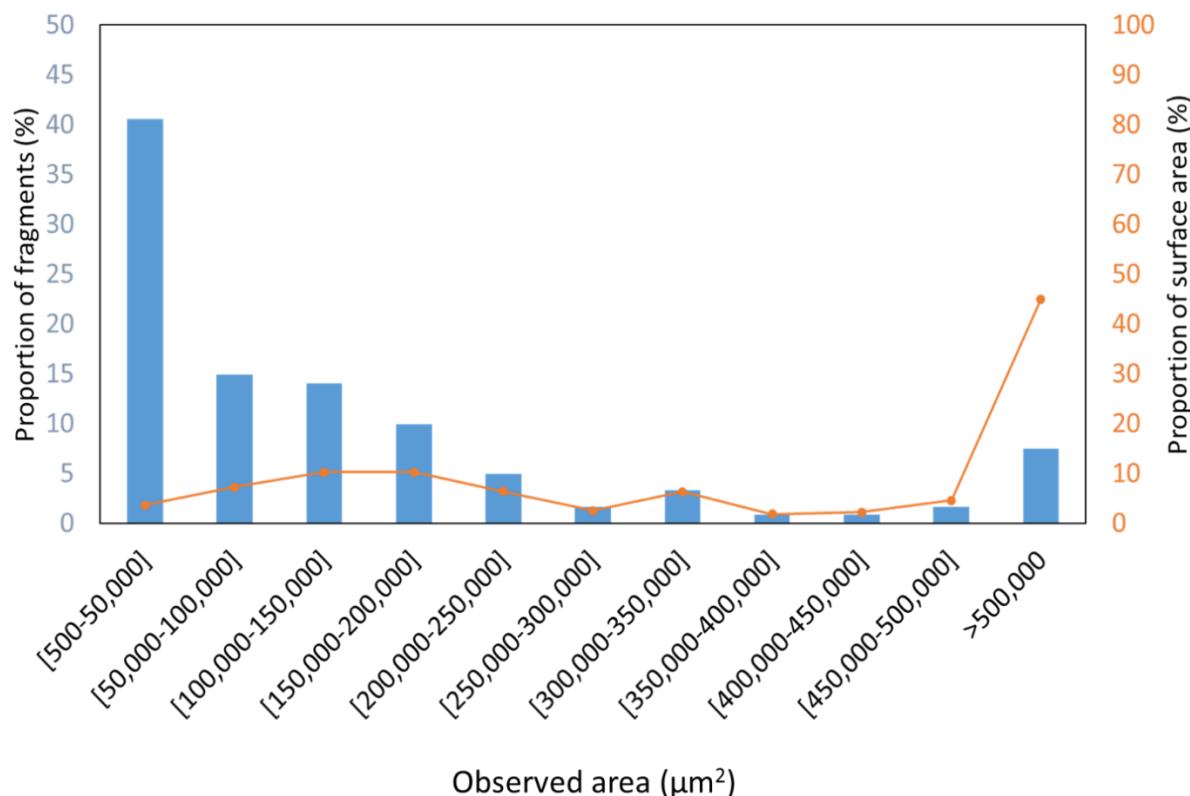


Figure 18 : Distribution en surface des fragments selon n=15 échantillons d'eau de surface.

3.2.2 Concentration en fragments collectés de manière statique

Lors de la première campagne, deux prélèvements de 5 minutes et 15 minutes ont été effectués. L'échantillon de 5 minutes a montré une concentration de 1,42 fragments. m^{-3} tandis que celui de 15 minutes a révélé une concentration de 1,37 fragments. m^{-3} . Ces valeurs très similaires indiquent une absence de colmatage et potentiellement une faible variabilité à court terme pour les fragments en comparaison des fibres.

Durant les campagnes sur les 5 points, le site P1 a montré une concentration de 1,16 fragments. m^{-3} , ce qui est un peu plus faible que pour les autres campagnes mais dans le même ordre de grandeur. De P2 à P5 les concentrations observées sont respectivement de 1,35, 0,88, 1,32 et 1,57 fragments. m^{-3} . Bien qu'il n'y ait pas de nette tendance dans le sens d'une augmentation de la contamination, le niveau de concentration observé au point aval P5 est supérieur au niveau de concentration observé au point amont P2. Seule une campagne a été réalisée sur les quatre points avec le filet de maille 330 μm , ce résultat doit donc être interprété avec prudence.

3.2.3 Prélèvements dynamiques à l'aide d'un filet manta de maille 330 μm

Les niveaux de concentration enregistrés pour toutes les campagnes sont énumérés dans le tableau 1. Les concentrations vont de 0,10 fragments. m^{-3} pour le site M4 à 0,28 fragments. m^{-3} pour le site M1 et ne varient que faiblement selon la campagne et le site de prélèvement. De plus, les résultats sont plus faibles que ceux observés avec le filet à plancton d'un ordre de grandeur. Cela pourrait être principalement lié à des aspects méthodologiques. En effet, afin de ne pas déstabiliser le bateau, le filet manta était tracté à une faible

distance à l'arrière du bateau, ce qui peut affecter le prélèvement par une augmentation de turbulence et une réduction du volume échantillonné.

Dans ce contexte, il ne serait pas judicieux de fournir une interprétation définitive de ces résultats. Cependant, ils sont présentés ici afin de faire prendre conscience des problèmes méthodologiques quant aux prélèvements en rivière. En effet, dans de nombreuses rivières, seuls de petits bateaux peuvent naviguer. Or, comme dans notre cas, de grands filets ne peuvent pas être remorqués trop loin du bateau ou sur le côté sous peine de le déstabiliser. Par conséquent, et quand de plus gros bateaux ne peuvent être utilisés, d'autres dispositifs devraient être élaborés. De plus petits filets manta pourraient être tractés ou des filets stationnaires pourraient être utilisés.

Tableau 1 : Niveau de concentration en fragments pour chaque échantillon exprimé en fragments.m⁻³.

	M1	M2	M3	M4
17 juillet 2014		0,16	0,16	0,28
09 octobre 2014		0,15	0,17	
17 septembre 2015			0,17	0,10
08 octobre 2015	0,29			
14 octobre 2015			0,25	0,12

3.2.4 Caractérisation chimique

Parmi les 38 fragments ayant été caractérisés, un seul présentait un spectre non identifié et correspond probablement à une particule organique naturelle. Tous les autres fragments se trouvaient être des microplastiques. Le PE représentait 50% des fragments analysés (Figure 19), ce qui est cohérent avec la production mondiale de polymères (PlasticsEurope, 2013). De plus, le PE est très utilisé dans les produits jetables qui seraient les plus à même de se retrouver dans l'environnement. Le PP est le deuxième polymère le plus retrouvé à 29%. Ce polymère est également le deuxième plus utilisé en Europe et il est principalement retrouvé dans les produits jetables tels que les emballages. Les particules restantes sont constituées de PS et PET qui sont aussi largement utilisés. Une des particules retrouvées est un copolymère de PE et PP.

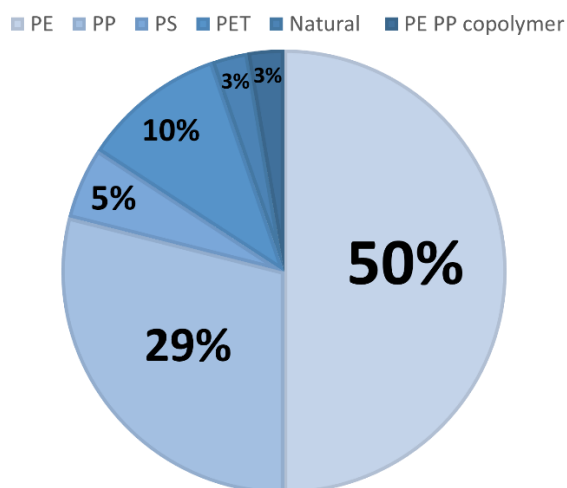


Figure 19 : Répartition des types de polymère pour n=38 fragments.

3.3 Comparaison des fibres et des fragments

Dans cette étude, nous avons mis en évidence une grande différence de niveaux de concentration entre les fibres et les fragments (Figure 20). La concentration moyenne en fibres pour les 95 échantillons est proche de 45 fibres.m⁻³ et celles en fragments est d'environ 0,54 fragments.m⁻³. Par conséquent, l'utilisation de deux méthodes d'échantillonnage différentes pour les fibres et les fragments semble pertinente. Bien que l'analyse

des fibres nécessite l'utilisation d'un maillage fin, il est indispensable d'échantillonner de plus grand volumes pour collecter d'autres formes de microplastiques.

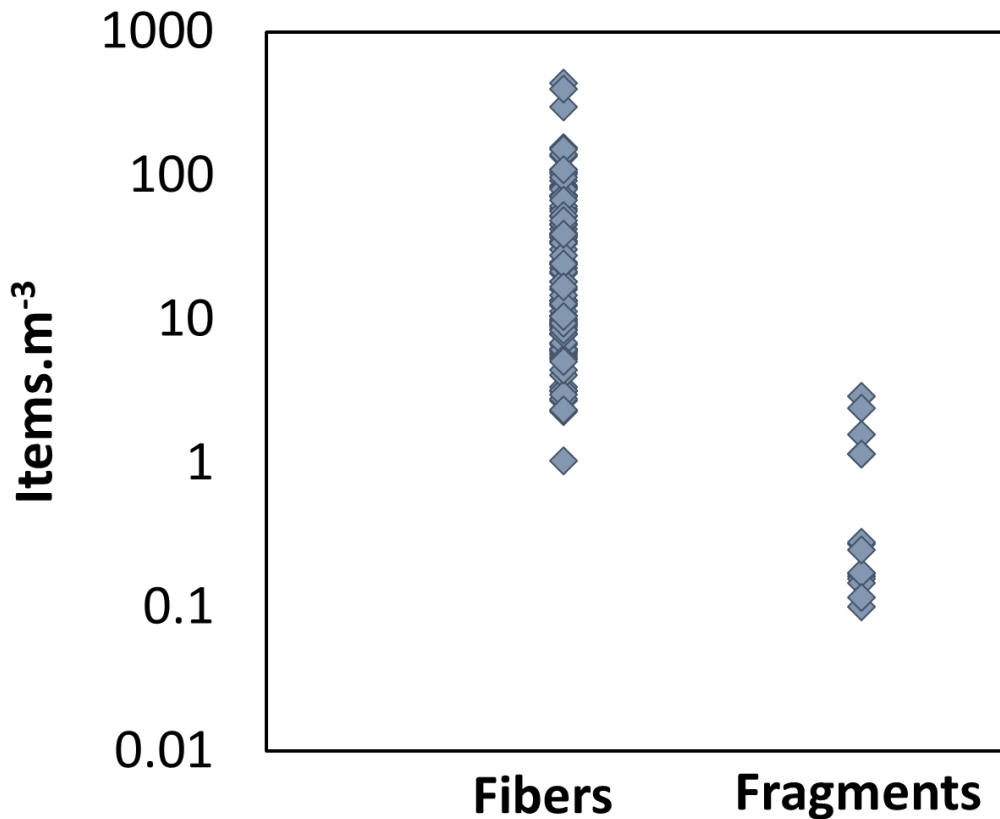


Figure 20 : Concentration en fibres et en fragments à partir de tous les prélèvements de l'étude. Le terme « items » peut être remplacé par les termes fibres ou fragments.

Des approximations de volume pour une particule typique de chaque forme de microplastique peuvent être calculées en considérant la longueur (973 μm) et le diamètre (25 μm) moyens pour les fibres et l'aire moyenne (168 000 μm^2) et une estimation sommaire d'épaisseur (25 μm) pour les fragments. En combinant ces approximations avec les proportions de microplastiques et les densités de polymères déduites de la caractérisation, des concentrations massiques ont pu être estimées.

La concentration moyenne de fibres synthétiques serait de $2.10^{-5} \text{ g.m}^{-3}$ tandis qu'elle serait de $3.10^{-6} \text{ g.m}^{-3}$ pour les fragments. Du fait du peu de données disponibles, le flux massique de fragments n'a pas été estimé. Cependant, il semblerait d'après ces résultats que, bien qu'un fragment soit en général plus grand qu'une fibre, les flux massiques de fragments seraient d'un ordre de grandeur plus faible que les flux massiques de fibres.

3.4 Flux de microplastiques et sources

Dans le cadre de la thèse effectuée sur les microplastiques en Seine, différentes sources de fibres et fragments de microplastiques ont été investiguées. Les résultats ici ne sont pas présentés mais sont détaillés en détails dans Dris (2016). Les flux obtenus dans le milieu sont comparées à ces résultats.

Bien que les estimations de masse de plastique soient basées sur des approximations sommaires, nous avons choisi de considérer les flux massiques plutôt que numériques. Les plastiques peuvent se fragmenter et par conséquent fluctuer en nombre et en taille durant leur transport dans les compartiments urbains et leurs environnements récepteurs. De ce fait, le seul moyen de comparaison est par l'utilisation de la masse totale de plastiques qui devrait être conservative (si tous les puits sont pris en considération).

Il a été estimé que la quantité de fibres synthétiques aux entrées des STEP de l'agglomération parisienne se situe entre 2 et 225 tonnes. Entre 0,1 et 45 tonnes restent après traitement et sont relarguées dans l'environnement. Dans la mesure où aucun fragment n'est observé en sortie de STEP, ces derniers n'ont pas été considérés.

Il est difficile de considérer les estimations de flux vers la Seine d'autres sources comme robustes. Par exemple, les retombées atmosphériques ne sont pas une source directe pour les hydrosystèmes naturels. Il a été estimé qu'entre 6 et 17 tonnes se retrouvent sur la surface de l'agglomération parisienne mais la fraction atteignant directement ou indirectement les environnements aquatiques est indéterminée. Si nous estimons la proportion de surface d'eau pour l'agglomération parisienne à 0,3%, nous pouvons estimer que 0,1 tonnes de microplastiques tombe directement sur la surface d'eau, ce qui se situe dans le même ordre de grandeur que les estimations de sorties de STEP. Il semble donc compliqué de conclure sur les contributeurs principaux. Par conséquent, pour une première approche, seules les sorties de STEP sont ici comparées aux flux d'eau douce.

Pour l'eau douce sur le site P5 (le site le plus à l'aval), il a été estimé qu'entre 0,01 et 0,34 tonnes de fibres synthétiques circulent par an. Cette estimation est dans le même ordre de grandeur que la plus faible estimation pour les sorties de STEP. Cependant, le fait que des quantités similaires de fibres synthétiques soient retrouvées sur des sites en amont de Seine Aval (plus grand contributeur) rend l'interprétation de ces tendances plus compliquée. Dans cette étude, aucune évolution de flux n'a été mise en évidence entre les sites en amont et en aval. Les flux de fragments pour les eaux douces ont été négligées comme pour les sorties de STEP car il a été observé que leur concentration massique est bien plus faible.

Cette étude a fourni des estimations d'apports urbains de microplastiques pour les eaux douces et leur quantité circulant dans les eaux douces mais il y a un manque de connaissance quant aux puits. L'étude plus approfondie des puits pourrait aider à clarifier des incohérences en particulier en ce qui concerne les quantités relativement faibles de fibres synthétiques en aval. Le projet le plus important à mener dans le futur serait de se concentrer sur le compartiment sédimentaire. Une étude précédente a montré que les concentrations en microplastiques augmentaient considérablement à l'abord de grandes villes mais diminuaient également très rapidement à l'aval en prélevant en différents points le long du Rhin (Mani et al., 2015). Nous pourrions supposer que pour l'agglomération parisienne, une tendance pourrait être révélée si des prélèvements étaient réalisés plus en amont du site P2 et plus en aval du site P5.

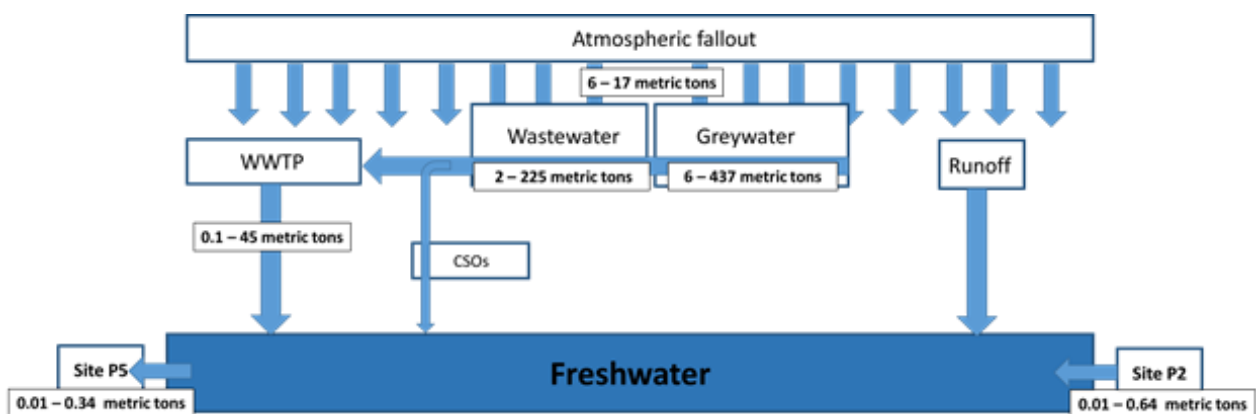


Figure 21 : Flux de microplastiques en amont et en aval de Paris ainsi que l'apport de l'agglomération parisienne.

3.5 Flux de macro- vs. micro-plastiques

Dans cette étude, les macroplastiques, les fibres synthétiques et les fragments de microplastiques ont tous été estimés pour la Seine. En considérant différentes approches, le flux annuel de macroplastiques en Seine a été estimé à au moins 750 tonnes (approche théorique basée sur les données SYCTOM). En considérant uniquement l'approche de terrain, le flux serait d'au moins 1 000 tonnes par an. Ces deux méthodes d'évaluation sont détaillées dans Dris (2016). Dans tous les cas, les macroplastiques présentent une masse

totale bien supérieure aux fibres synthétiques (0,34 tonnes au maximum) et aux fragments de microplastiques (fraction négligeable).

Cette information aiderait les projets suivants à mieux concentrer les efforts selon le but de l'étude. En effet, lorsque le but est d'estimer des flux de plastiques du milieu continental au milieu marin, les microplastiques devraient être négligés pour se concentrer sur les flux de macroplastiques. La quantification des macroplastiques nécessitent de plus grand volumes de prélèvement et une méthodologie moins sophistiquée que pour les microplastiques. Lorsque l'objectif est d'estimer le nombre de plastiques présents dans l'environnement, il est déraisonnable de prendre les microplastiques en compte, surtout en sachant qu'il y a un modèle de dégradation continue des macroplastiques. En effet, il est possible qu'à plus ou moins long terme, les macroplastiques quantifiés dans la rivière vont se dégrader et vont potentiellement produire dans l'environnement marin, s'ils l'atteignent, encore plus de microplastiques que le flux de microplastiques lui-même.

Si les macroplastiques surpassent les microplastiques en masse et en volume, les microplastiques sont prédominants en nombre. Ainsi, les microplastiques représentent un problème différent lié plutôt à l'impact écotoxicologique. Par conséquent, les prochains projets sur les microplastiques dans les environnements continentaux devraient se concentrer sur cet aspect. Par exemple, des fibres ont déjà été retrouvées dans le contenu stomacal de gardons en Seine (Sanchez et al., 2014). Alors que la présence de fibres est maintenant confirmée dans les eaux douces et la faune de ces eaux, le lien entre les niveaux de concentration et l'impact potentiel qu'ils pourraient avoir n'est pas déterminé et doit être étudié.

4 Conclusions

Les contaminations en fibres et fragments plastiques sont examinées. Une double approche a été utilisée afin d'échantillonner des volumes différents en fonction des niveaux de concentration.

En ce qui concerne les fibres, de plus faibles volumes ont été échantillonnés à l'aide d'un filet de maille 80 μm , limitant la perte de fibres. Les campagnes de variation temporelle ont montré qu'une exposition plus longue du filet (3 minutes plutôt qu'1 minute) permet d'avoir une variabilité plus faible entre les échantillons successifs. Cependant, bien que l'échantillonnage de plus grands volumes augmente la représentativité, celui-ci est limité par le colmatage.

La variabilité des fibres à travers la section de la rivière a montré que les concentrations sont similaires sur toute la colonne d'eau mais les fibres ont tendance à se concentrer vers les rives. Il a été mis en évidence que la variabilité verticale pouvait être négligée lors de l'estimation des flux tandis que la variabilité horizontale a un plus grand impact.

Lors d'un suivi sur 5 points et d'une durée de plus d'un an, seules de faibles variations ont été observées. Les concentrations variaient parallèlement entre les différents sites. Aucune corrélation directe entre les niveaux de concentration et le débit n'a été dégagée. Cependant, bien que les niveaux de concentration soient variables en bas débits, ils sont faibles lorsque les débits sont élevés. La variabilité des concentrations est donc en partie due au débit mais également à d'autres facteurs non déterminés probablement liés aux apports. Le flux annuel de fibres pour chacun des 5 sites a été estimé à partir des résultats du suivi. Les flux sont similaires à l'amont et à l'aval de l'agglomération parisienne, son impact n'a donc pas été souligné et les fibres ne semblent pas s'accumuler vers l'aval. Des études supplémentaires sont nécessaires à la compréhension des différents mécanismes et dynamiques potentiellement responsables de cette tendance. Par exemple, il serait intéressant d'examiner la sédimentation des fibres.

Les fragments ont également été étudiés. Des filets à maille plus large (330 μm) ont été utilisés dans le but d'échantillonner de plus grands volumes afin de prélever un nombre représentatif de fragments. Une approche statique avec un filet à plancton et un tractage de filet manta ont été employés. Quelle que soit la méthode utilisée, les fragments se sont montrés moins concentrés que les fibres avec des niveaux en moyenne 80 fois inférieurs. Les flux de fragments en nombre et en masse sont également inférieurs aux flux de fibres.

Bibliographie :

- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605.
- Betts, K. (2008). Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans. *Environ. Sci. Technol.* 42, 8995–8995.
- Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., and Thompson, R.C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 42, 5026–5031.
- Carpenter, E.J., and Smith, K.L. (1972). Plastics on the Sargasso sea surface. *Science* 175, 1240–1241.
- Carpenter, E.J., Anderson, S.J., Harvey, G.R., Miklas, H.P., and Peck, B.B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. *Science* 178, 749–750.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., and Galloway, T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588–2597.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., and Galloway, T.S. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environ. Sci. Technol.* 130606145528005.
- Dris, R., Imhof, H., Sanchez, W., Gasperi, J., Galgani, F., Tassin, B., and Laforsch, C. (2015a). Beyond the ocean: Contamination of freshwater ecosystems with (micro-) plastic particles. *Environ. Chem.* 32.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., and Tassin, B. (2015b). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environ. Chem.* *Accept.*
- Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Takada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Ogi, H., Yamashita, R., and Date, T. (2005). Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences. *Mar. Pollut. Bull.* 50, 1103–1114.
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., and Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar. Pollut. Bull.* 77, 177–182.
- Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H., and de Alencastro, L. (2012). Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. *Arch Sci* 65, 157–164.
- Fendall, L.S., and Sewell, M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1225–1228.
- Fossi, M.C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L., and Minutoli, R. (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Pollut. Bull.* 64, 2374–2379.
- Frias, J.P.G.L., Sobral, P., and Ferreira, A.M. (2010). Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 1988–1992.
- Heskett, M., Takada, H., Yamashita, R., Yuyama, M., Ito, M., Geok, Y.B., Ogata, Y., Kwan, C., Heckhausen, A., Taylor, H., et al. (2012). Measurement of persistent organic pollutants (POPs) in plastic resin pellets from remote islands: Toward establishment of background concentrations for International Pellet Watch. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 445–448.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., and Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075.

- Imhof, H.K., Ivleva, N.P., Schmid, J., Niessner, R., and Laforsch, C. (2013). Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Curr. Biol.* *23*, R867–R868.
- Lusher, A.L., McHugh, M., and Thompson, R.C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar. Pollut. Bull.* *67*, 94–99.
- Mani, T., Hauk, A., Walter, U., and Burkhardt-Holm, P. (2015). Microplastics profile along the Rhine River. *Sci. Rep.* *5*, 17988.
- Moore, C.J., Lattin, G.L., and Zellers, A.F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *J. Integr. Coast. Zone Manag.* *11*, 65–73.
- von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., and Köhler, A. (2012). Uptake and Effects of Microplastics on Cells and Tissue of the Blue Mussel *Mytilus edulis* L. after an Experimental Exposure. *Environ. Sci. Technol.* *46*, 11327–11335.
- Norén, F. (2007). Small plastic particles in Coastal Swedish waters - Kimo reports (<http://www.kimointernational.org/WebData/Files/Small%20plastic%20particles%20in%20Swedish%20West%20Coast%20Waters.pdf>).
- O’Brine, T., and Thompson, R.C. (2010). Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* *60*, 2279–2283.
- PlasticsEurope (2013). *Plastics - the Facts 2013, An analysis of European latest plastics production, demand and waste data.* Plast. Eur. Assoc. Plast. Manuf. Bruss. P40.
- Rochman, C.M., and Browne, M.A. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature* *494*, 169–171.
- Sanchez, W., Bender, C., and Porcher, J.-M. (2014). Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence. *Environ. Res.* *128*, 98–100.
- Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S., and Thompson, R.C. (2007). Potential for Plastics to Transport Hydrophobic Contaminants. *Environ. Sci. Technol.* *41*, 7759–7764.
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Bjorn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., et al. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* *364*, 2027–2045.
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., McGonigle, D., and Russell, A.E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science* *304*, 838–838.
- Zbyszewski, M., and Corcoran, P.L. (2011). Distribution and Degradation of Fresh Water Plastic Particles Along the Beaches of Lake Huron, Canada. *Water. Air. Soil Pollut.* *220*, 365–372.
- Zbyszewski, M., Corcoran, P.L., and Hockin, A. (2014). Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. *J. Gt. Lakes Res.* *40*, 288–299.