

Dynamique des microplastiques dans les cours d'eau du bassin versant de l'Orgeval (Avenelles) : Effet des conditions hydrologiques et des événements de crue extrêmes

Auteurs : Lucas Fricreau¹, Guilherme Calabro Souza¹, Arnaud Blanchouin³, Hocine Hénine³, Bruno Tassin¹, Rachid Dris¹

¹Leesu, École Nationale des Ponts et Chaussées, Institut Polytechnique de Paris, Université Paris-Est Créteil, 6 – 8 Avenue Blaise Pascal 77455 Champs-sur-Marne, France

²Université Paris-Saclay, INRAE, Hydrosystèmes Continentaux Anthropisés - Ressources, Risques, Restauration, 1 Rue Pierre Gilles de Gennes 92160 Antony, France

Résumé

Depuis une dizaine d'années, le PIREN-Seine s'intéresse à la pollution en microplastiques (MPs) en milieu urbain. Ces travaux ont permis d'améliorer la compréhension de l'impact de l'urbanisation sur les flux de MPs à l'échelle du bassin de la Seine, estimés à $5,19 \times 10^{12}$ particules/an, soit 816 t/an (Stratmann et al., 2024). Dans un contexte d'intensification des événements extrêmes liés au réchauffement climatique, il devient essentiel de comprendre la dynamique des MPs selon les conditions hydrologiques, un aspect encore peu documenté. Les études de Treilles et al. (2022) ont confirmé l'influence des zones urbaines sur la pollution en MPs de la Seine, sans toutefois dégager de tendance nette vis-à-vis des conditions hydrologiques. Pour combler ces lacunes, le projet Plastival a été lancé en 2023 sur le sous-bassin des Avenelles (Orgeval). Ce site présente plusieurs atouts : d'une superficie de 45 km², majoritairement agricole (80 %), instrumenté depuis 1962 et fortement drainé (80 % des terres agricoles), il réagit rapidement aux pluies, permettant d'étudier les crues flash et leurs effets sur la dynamique des MPs. Ce bassin offre aussi une première opportunité d'examiner l'influence des pratiques agricoles sur la pollution en MPs dans le cadre du PIREN-Seine. Un suivi fin a été conduit à l'exutoire du bassin entre 2023 et 2024, couvrant une année hydrologique. Les résultats montrent que les conditions hydrologiques contrôlent largement les flux de MPs : le flux médian atteint $5,1 \times 10^{10}$ MPs an⁻¹ en hautes eaux ($n = 34$) contre $1,8 \times 10^9$ MPs an⁻¹ en basses eaux ($n = 18$). Lors des crues, les flux dépassent souvent d'un ordre de grandeur les valeurs observées en hautes eaux. Le suivi d'une crue extrême confirme cette tendance : les flux sont passés de $1,2 \times 10^{10}$ à $1,8 \times 10^{12}$ MPs an⁻¹ au pic, avant de redescendre quatre jours plus tard à $1,5 \times 10^{10}$ MPs an⁻¹, illustrant le rôle majeur des crues dans le transfert des MPs. Les concentrations en MPs et en matières en suspension (MES) évoluent de façon parallèle, suggérant un comportement lié. Ces observations soulignent l'importance de considérer l'ensemble du régime hydrologique dans l'évaluation du transport des MPs. Ce suivi à haute résolution démontre le rôle prépondérant des crues dans le transfert des MPs d'origine agricole vers le bassin de la Seine.

Points clés

- ✓ Les concentrations en MPs montrent une saisonnalité avec des valeurs plus faibles en basses eaux comparée aux périodes de hautes eaux.
- ✓ Les résultats pour les événements de crues soulignent l'importance de réaliser un échantillonnage à chaque étape de la crue pour être représentatif.
- ✓ Les flux de microplastiques peuvent être multipliés par un facteur 100 durant un événement de crue.

Abstract

Over the past decade, the PIREN-Seine program has focused on microplastic (MP) pollution in urban environments. These studies have significantly improved the understanding of how urbanization influences MP fluxes across the Seine River basin, estimated at 5.19×10^{12} particles per year, corresponding to 816 tons annually (Stratmann et al., 2024). In the context of increasing extreme weather events driven by global warming, it has become essential to understand MP dynamics in relation to hydrological conditions, an aspect that remains poorly documented. Treilles et al. (2022) confirmed the influence of urban areas on MP pollution in the Seine but were unable to identify a clear trend regarding hydrological impacts.

To address these knowledge gaps, the Plastival project was launched in 2023 on the Avenelles sub-basin (Orgeval). This site presents several advantages: it covers 45 km², is predominantly agricultural (80 %), has been instrumented since 1962, and is extensively tile-drained (80 % of agricultural land). Its high hydrological responsiveness allows the study of flash floods and their effects on MP dynamics. Moreover, this catchment provides a first opportunity within the PIREN-Seine framework to examine the influence of agricultural practices on MP pollution in rivers.

A detailed monitoring campaign was conducted at the basin outlet between 2023 and 2024, covering one hydrological year. Results show that hydrological conditions strongly control MP fluxes: the median flux reached 5.1×10^{10} MPs yr⁻¹ during high-flow periods ($n = 34$), compared with 1.8×10^9 MPs yr⁻¹ during low flows ($n = 18$). During flood events, fluxes often exceeded the high-flow median by an order of magnitude. Monitoring of an extreme flood confirmed this trend: fluxes increased from 1.2×10^{10} to 1.8×10^{12} MPs yr⁻¹ at the flood peak, before returning four days later to 1.5×10^{10} MPs yr⁻¹, highlighting the major role of floods in MP transfer.

MP concentrations and total suspended solids (TSS) exhibited similar patterns, suggesting closely linked behavior. These observations emphasize the importance of considering the full range of hydrological conditions when assessing MP transport. This high-resolution monitoring demonstrates the dominant role of flood events in transferring agriculture-derived MPs toward the Seine River basin.

Key points

- ✓ MPs concentrations exhibit a seasonal pattern, with lower values observed during low-flow periods compared to high-flow periods.
- ✓ The results from flood events highlight the importance of conducting sampling at each stage of the flood in order to obtain representative data.
- ✓ Microplastic fluxes can increase by up to a factor of 100 during a flood event.

1. Introduction

Cela fait désormais une vingtaine d'années que le terme microplastiques (MPs) a été employé pour la première fois (Thompson et al., 2004). Les MPs désignent l'ensemble des particules plastiques dont la taille est inférieure à 5 mm (Okoye et al., 2022). Alors que les premières études se sont majoritairement focalisées sur le milieu marin, ce n'est qu'une dizaine d'années plus tard que la communauté scientifique a commencé à s'intéresser de manière plus approfondie au milieu continental dont les rivières font partie intégrante.

Le nombre de publications scientifiques consacrées à la présence des MPs dans les rivières a dépassé les 500 en 2023, témoignant d'un intérêt croissant pour cette thématique. Toutefois, de nombreuses zones d'ombre subsistent. L'absence d'harmonisation des protocoles, tant en matière de prélèvement que d'analyse, rend difficile l'établissement d'un diagnostic précis et représentatif de la dynamique de cette pollution.

Si l'attention portée à la contamination des rivières par les MPs ne cesse de croître, la compréhension des processus de transfert au sein de ces milieux reste encore lacunaire. En particulier, les études portant sur la réponse des MPs aux variations de conditions hydrologiques aboutissent à des résultats contrastés. Dans une revue de la littérature réalisée par Lahon et Handique (2023), certains travaux mettent en évidence une corrélation positive entre les variations de débit et la concentration en MPs (Campanale et al., 2020), tandis que d'autres observent une corrélation négative (Barrows et al., 2018) ou encore aucune relation significative (Bujaczek et al., 2021). Ces divergences soulignent la nécessité de conduire des recherches approfondies sur les facteurs influençant le comportement des MPs dans les cours d'eau.

Bien qu'un nombre important d'études ait été consacré au bassin de la Seine, et plus particulièrement à l'agglomération parisienne, la diversité des sources potentielles de pollution demeure considérable. Les incertitudes concernant les mécanismes de transfert, notamment entre la colonne d'eau et les sédiments, suggèrent que ce système reste d'une grande complexité. Ces difficultés mettent en évidence l'intérêt de mener des investigations sur un site d'étude où l'influence des différents paramètres peut être mieux maîtrisée.

Les objectifs de cette étude sont (1) d'améliorer les connaissances portant sur l'impact des conditions hydrologiques sur la dynamique des MPs dans les rivières, (2) d'établir une relation entre les MES et les MPs, et (3) de quantifier finement des flux de MPs à différentes échelles temporelles (annuelle et événementielle).

2. Méthodologie

2.1. Site d'étude

Le bassin versant des Avenelles (45 km², fig. 1) fait partie du bassin versant de l'Orgeval (107 km²) et est localisé 70 km à l'est de Paris. Faisant partie de l'observatoire ORACLE (Tallec et al., 2015), ce site est étudié et instrumenté (80 stations de mesure) depuis une soixantaine d'années. Il fournit des données physico-chimiques essentielles à la compréhension du fonctionnement hydrologique du bassin versant et des transferts de contaminants qui y sont liés (Tallec et al., 2015).

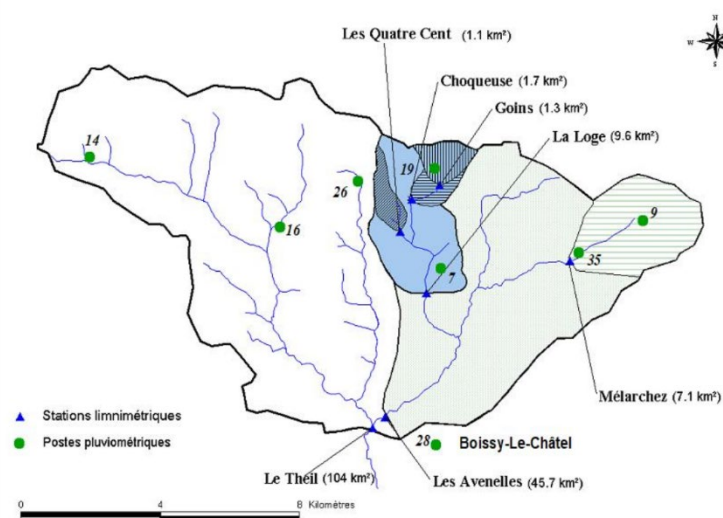


Figure 1 : Carte du bassin versant de l'Orgeval. Le sous-bassin du ru des Avenelles correspond à la partie est (verte) du bassin.

Il s'agit d'un bassin majoritairement agricole (80 % de sa surface) dont une grande partie des sols est drainée (80 % de la surface agricole), ce qui en fait un bassin très réactif aux événements de pluie. Deux communes sont présentes dans le BV, Doue et Saint-Germain-sous-Doue avec respectivement 555 et 1053 habitants (INSEE, 2018). La commune de Doue possède un réseau unitaire, dont les eaux usées et de pluie sont traitées par une station de traitement située entre Saint-Germain-sous-Doue et Doue. Saint-Germain-sous-Doue possède un réseau non collectif pour les eaux grises et noires, mais le drainage urbain est directement rejeté aux cours d'eau de proximité.

2.2. Prélèvement des échantillons

L'échantillonnage s'est tenu à l'exutoire du bassin versant des Avenelles sur 25 journées (113 échantillons) d'octobre 2023 à octobre 2024 (Fig. 3) couvrant les périodes de hautes eaux et de basses eaux ainsi que plusieurs événements de crue, dont un événement de crue extrême (période de retour cinquantennale). Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un système de pompage à filtration *in situ* (Fig. 2) totalement exempt de matière plastique, l'Universal Filtration Object (« UFO », Rist et al., 2020). Cet appareil de prélèvement permet de filtrer de grandes quantités d'eau, tout en fournissant le volume filtré avec une grande précision. L'eau pompée depuis le cours d'eau traverse un premier compartiment métallique à l'intérieur duquel est disposé un filtre métallique ($\varnothing = 167$ mm acier inoxydable) avec un maillage de 300 μ m. L'eau est ensuite entraînée vers deux compartiments disposés en parallèle dans lesquels des filtres métalliques d'une maille de 10 μ m sont disposés. Un débitmètre est présent à la sortie du système et permet la détermination précise du volume d'eau échantillonné. Les volumes d'eaux filtrées varient de quelques litres à plusieurs centaines de litres en fonction des variations de turbidité du cours d'eau.



Figure 2 Dispositif de pompage à filtration in situ (UFO) utilisé pour réaliser les prélèvements de MPs à l'exutoire du bassin versant des Avenelles.

Parallèlement à chaque échantillonnage, des prélèvements sont réalisés pour caractériser la teneur en MES des échantillons. Pour cela, 1 L d'eau est prélevé directement à l'aide d'une bouteille en verre préalablement calcinée. Le contenant est rincé trois fois avec l'eau du milieu avant le prélèvement. L'échantillon est ensuite stocké à 5 °C pour une durée maximale de 48 heures avant caractérisation. La mesure des MES est ensuite réalisée selon le protocole de la norme européenne NF EN 872.

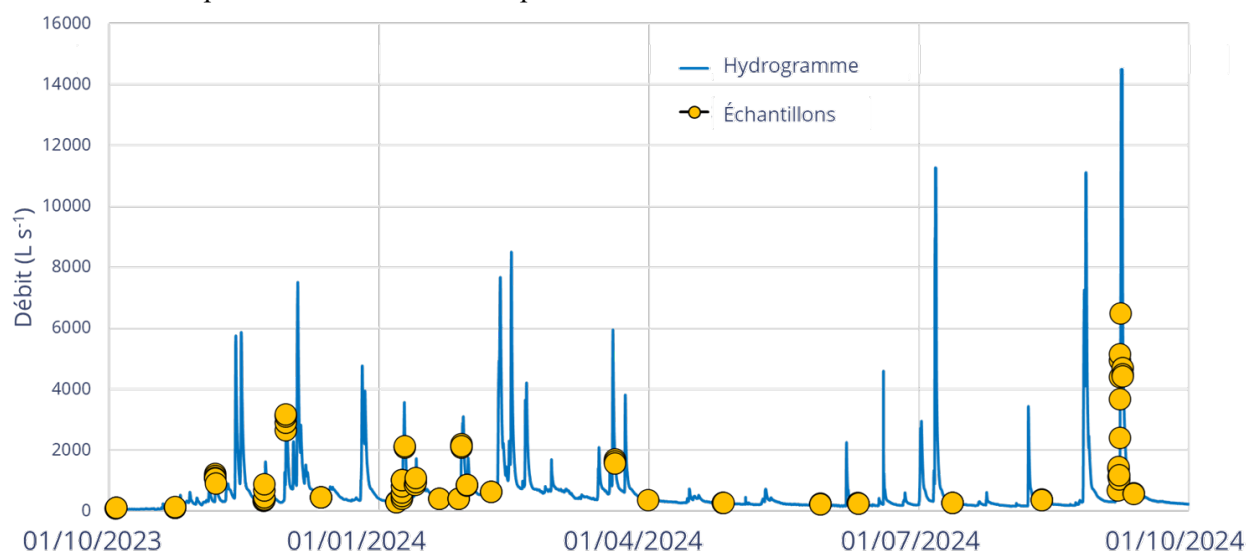


Figure 3 Hydrogramme à l'exutoire du bassin versant des Avenelles et échantillons prélevés entre octobre 2023 et octobre 2024.

2.3. Prétraitement et analyses des échantillons

Un prétraitement des échantillons est nécessaire afin d'éviter des effets de matrice organique et inorganique qui perturbent la détection des MPs. Pour cela, un protocole constitué d'une digestion de la matière organique reposant sur l'utilisation de peroxyde d'hydrogène est appliqué. Une seconde étape basée sur la différence de densité entre MPs ($d = 0.9 - 1.4$ pour la majeure partie des polymères) et matrices minérales ($d > 2$) est utilisée pour éliminer la matrice minérale des échantillons.

Afin de caractériser les particules obtenues après l'étape de prétraitement des échantillons, une analyse par spectroscopie μ -IRTF (Nicolet iN10 MX, Thermo Fischer Scientific) est effectuée. Cette méthode permet de cartographier l'intégralité du filtre. L'acquisition des spectres est effectuée en mode transmission sur une gamme spectrale allant de 1250 à 4000 cm^{-1} . Cette gamme correspond à la gamme de transmission du rayonnement infrarouge où les filtres en alumine ne présentent aucun signal qui pourrait perturber l'analyse.

L'analyse en mode *mapping* permet l'acquisition d'environ 400 000 spectres par filtre. Il est donc nécessaire d'utiliser un traitement automatisé de comparaison de spectres à une base de données. Le logiciel SiMPle (Pimpke et al., 2020) est utilisé pour identifier les particules de plastiques présentes.

3. Résultats

3.1. Dynamique saisonnière de la pollution MPs

Le suivi temporel à l'exutoire du bassin versant a permis de réaliser l'analyse de 52 échantillons distincts. Deux catégories d'échantillons ont pu être distinguées : les échantillons représentatifs des « hautes eaux » (HE) et ceux des « basses eaux » (BE), correspondant respectivement à des échantillons prélevés à des débits supérieurs et inférieurs au débit moyen interannuel. Les concentrations en microplastiques (MPs) observées lors des périodes de BE s'étendent entre 68 et 2088 MPs m^{-3} , avec une valeur médiane de 580 MPs m^{-3} ($n = 18$). En période de HE, les concentrations varient de 151 à 32 941 MPs m^{-3} , avec une médiane atteignant 3597 MPs m^{-3} ($n = 34$) (Fig. 4). Les valeurs minimales de concentration observées lors des deux périodes hydrologiques sont relativement similaires. En revanche, les concentrations médianes diffèrent de manière significative, avec une valeur environ six fois supérieure en période de hautes eaux. Concernant les valeurs maximales, l'écart est encore plus marqué, avec un rapport atteignant seize.

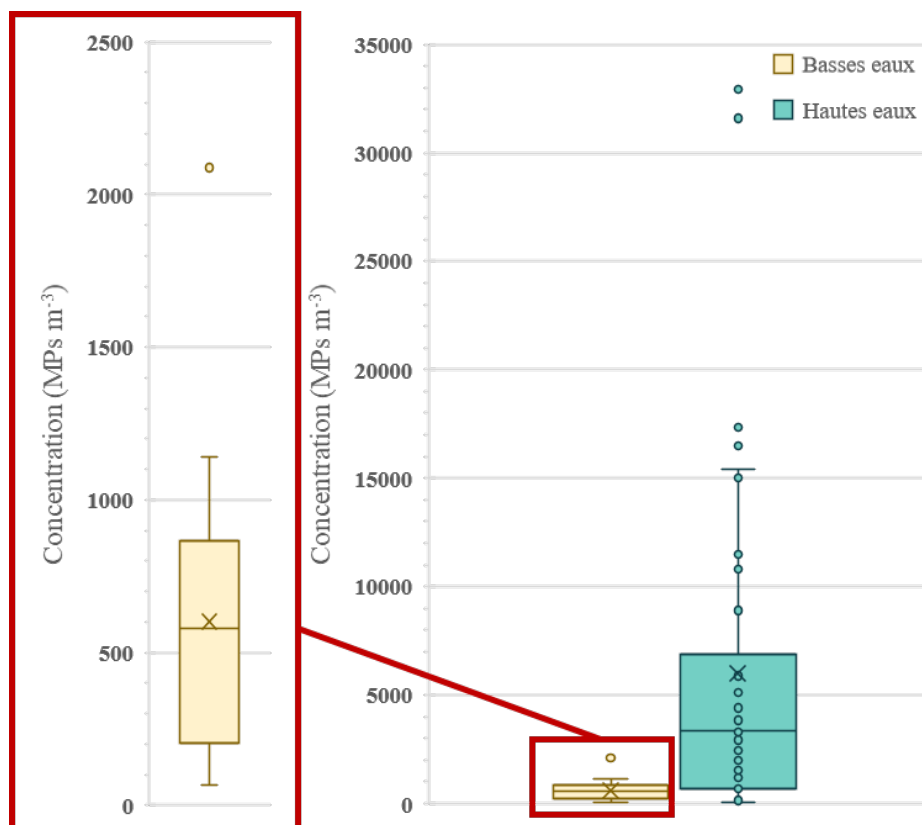


Figure 4 Concentration en MP à l'exutoire du bassin versant des Avenelles en fonction des périodes hydrologiques (hautes eaux en bleu vs basses eaux en jaune).

À l'échelle journalière, les variations de concentration observées en HE sont plus importantes qu'en BE. Les résultats révèlent pour les échantillons de BE des concentrations pouvant varier d'un facteur 3 au sein d'une même journée d'échantillonnage. Pour les échantillons de HE en revanche, une variation allant jusqu'à un facteur 25 a été constatée sur une seule journée. Cette tendance semble résulter de fluctuations des conditions hydrologiques au cours d'une même journée.

D'un point de vue qualitatif, peu de différences ont été relevées quant aux types de polymères identifiés entre les deux saisons. Sur l'ensemble des échantillons collectés, le PE représente 84 % des MPs en HE et 81 % en BE, tandis que le PP atteint respectivement 12 % et 13 %. Parmi les polymères minoritaires, les PET sont observés en proportion plus élevée en période de BE (3.5 %) par rapport aux périodes de HE (0.6 %). Cette différence pourrait s'expliquer par la contribution plus importante des effluents urbains au débit total du cours d'eau en période de BE. Bien que les rejets domestiques ou issus des stations d'épuration constituent probablement une source relativement constante de PET sur l'année, leur impact est davantage dilué lors des HE, en raison de l'augmentation du débit et des apports diffus supplémentaires.

3.2. Dynamique événementielle des MPs

3.2.1. Événements de crue

Jusqu'à présent dans cette étude, les résultats étaient présentés selon des périodes à large échelle temporelle. Bien que des variations saisonnières aient déjà été mises en évidence, ces différences apparaissent encore plus marquées lorsqu'on réduit l'analyse à l'échelle événementielle. Les plus grandes concentrations de MPs mentionnées dans la section 3.1 correspondent à des valeurs mesurées lors d'événements de crue (Fig.5).

Au cours de la montée en débit de l'événement du 27/11/2023 au 01/12/2023 (Fig. 5A), la concentration reste relativement stable ($3.4 \cdot 10^3 - 4.4 \cdot 10^3$ MPs m^{-3}), mais tend à augmenter au cours des deux premières heures. Quatre heures après le début de l'événement, un phénomène de « flush », correspondant à un pic de concentration, est observé ($32.9 \cdot 10^3$ MPs m^{-3}). Les MPs peuvent provenir de la remise en suspension de particules stockées dans les sédiments, d'un transfert depuis les sols via les rejets de drains agricoles, ou encore de rejets urbains.

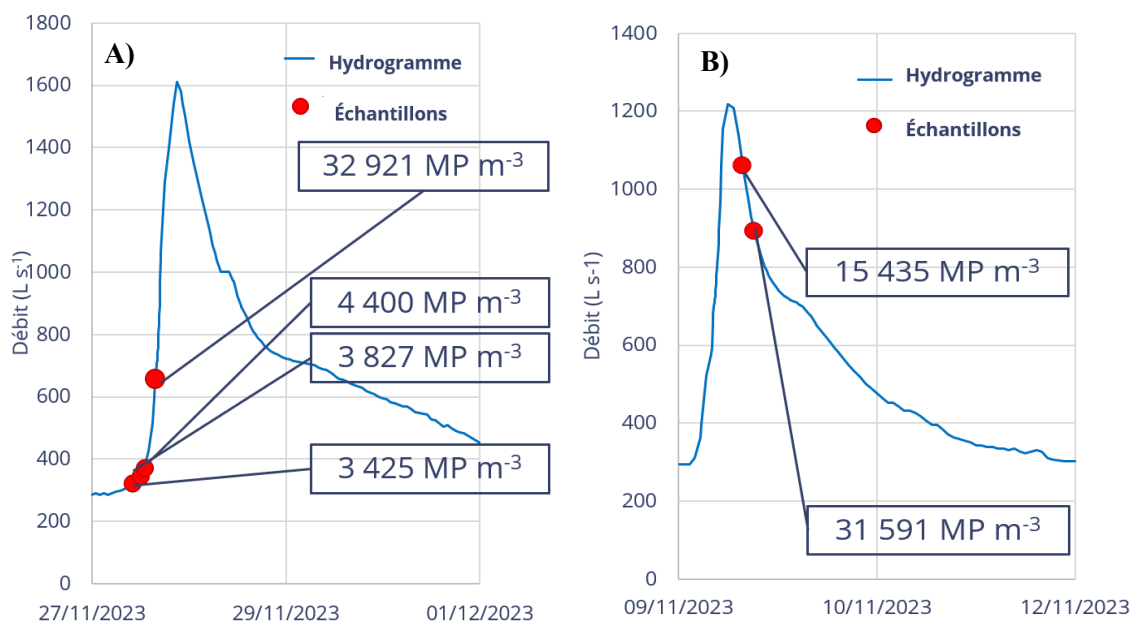


Figure 5 Concentrations en MPs à l'exutoire du bassin versant du ru des Avenelles durant deux événements de crue.

Le second cas (B), correspondant à la crue du 09/11/2023 au 12/11/2023, montre que la concentration continue d'augmenter après le début de la décrue (Fig. 5B). Cet événement, associé à une crue éclair (durée de la montée = 7 heures), suggère un décalage temporel entre l'augmentation du débit et la mobilisation des MPs issus des différentes sources.

Les polymères analysés durant ces deux événements de crue sont majoritairement composés de polyéthylène (PE \approx 83 %), suivi de polypropylène (PP \approx 14 %), ainsi que d'une variété de polymères détectés en très faibles proportions (< 0,5 % chacun). Cette prépondérance en PE et en PP est similaire à celle observée hors période de crue.

3.2.2. Événement de crue extrême – L'ouragan Kirk

Le plateau observé à partir d'un débit de 14 500 L s⁻¹ correspond au débordement du lit de la rivière en dehors de la section bétonnée (Fig. 6). Les calculs ont permis d'estimer que le débit maximal aurait atteint environ 30 000 L s⁻¹. L'analyse des échantillons issus de la campagne de prélèvement menée lors de l'ouragan Kirk, survenu en octobre 2024, a permis de confirmer les premières tendances observées quant à la dynamique des microplastiques. Au cours de l'événement, des concentrations comprises entre 669 et 17 343 MPs m⁻³ ont été observées. L'évolution conjointe des concentrations et de l'hydrogramme met en évidence des tendances similaires : un premier pic de débit suivi d'une diminution, puis un second pic plus marqué. De manière analogue, deux pics successifs de concentration en microplastiques ont été enregistrés.

Pour une même phase de crue, les concentrations peuvent varier d'un ordre de grandeur (Fig. 7), mettant en évidence la forte hétérogénéité du phénomène. Au vu des fortes fluctuations de concentration observées, la réalisation d'au moins un triplicat d'échantillonnage par phase de crue apparaît indispensable pour garantir la robustesse des données et caractériser avec précision les processus impliqués dans la dynamique des MPs.

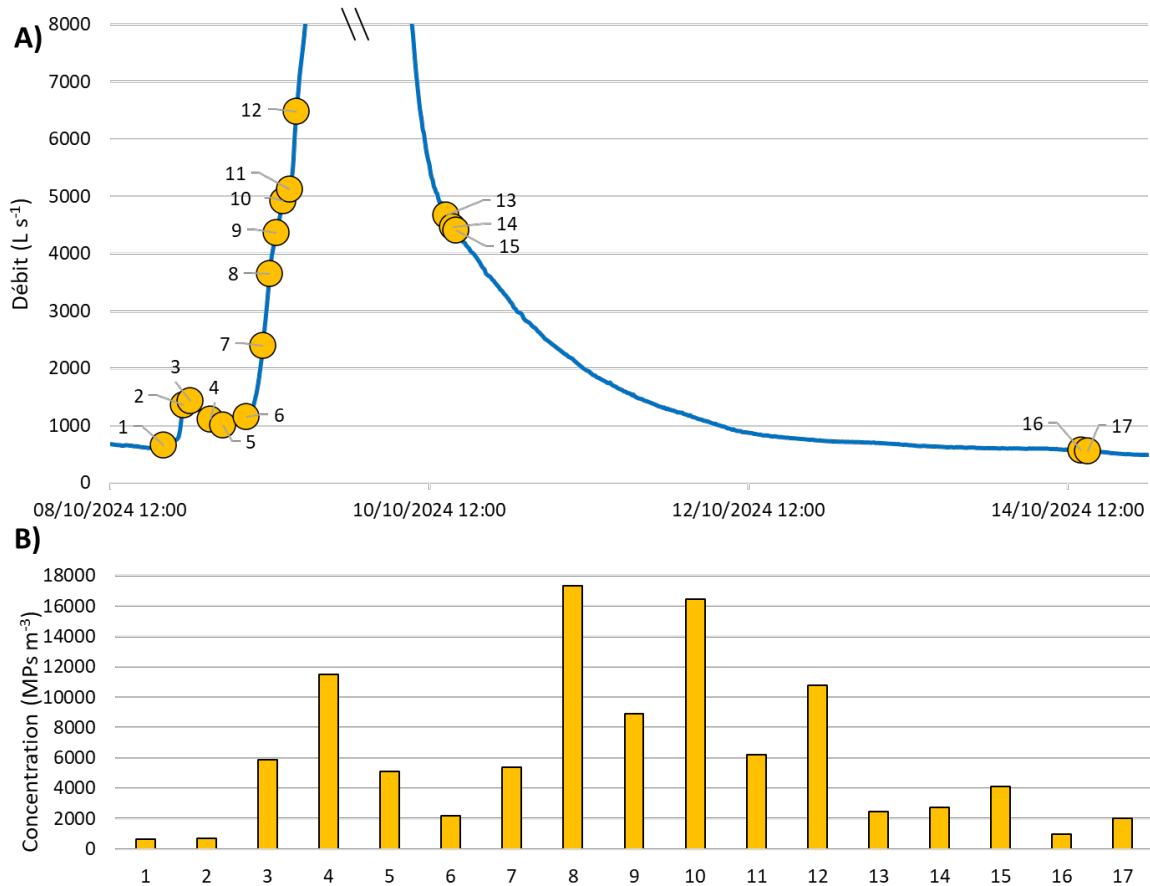


Figure 6 A) Hydrogramme et échantillonnages associés à l'événement de crue Kirk. B) Histogramme des concentrations en MPs (MPs m⁻³) des échantillons de la crue Kirk.

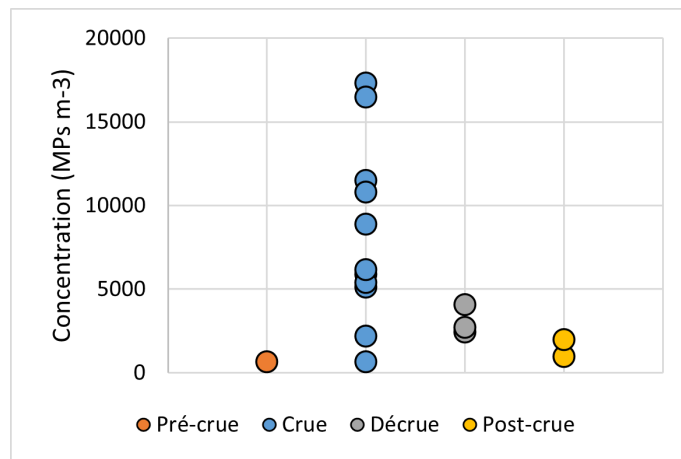


Figure 6 Variations des concentrations aux différents moments de la crue (pré-crue, crue, décrue, post-crue) associée à l'ouragan Kirk.

3.3. Flux de MPs à l'exutoire du bassin versant

Si les concentrations en MPs peuvent parfois être comparables entre les périodes de basses eaux (BE) et de hautes eaux (HE), l'analyse des flux montre une différence majeure : les flux en HE sont plus de cent fois supérieurs à ceux observés en BE. Une estimation des flux de MPs transitant à l'exutoire du bassin versant des Avenelles a pu être calculée pour les saisons de HE, de BE.

Les flux calculés pour les périodes de HE, $1.19 \cdot 10^9$ MPs jour⁻¹, sont en moyenne 155 fois plus importants qu'en période de BE, $7.65 \cdot 10^6$ MPs jour⁻¹. Ces résultats confirment l'existence d'une forte saisonnalité dans la dynamique des microplastiques (MPs) au sein du bassin versant des Avenelles.

Cette disparité souligne que la saisonnalité hydrologique joue un rôle déterminant dans le transfert des MPs vers l'aval du bassin versant avec un impact beaucoup plus marqué en période de HE, où le volume d'eau

et la capacité de transport sont accrus. Ces observations mettent en lumière l'importance de considérer non seulement les concentrations, mais aussi les flux pour une évaluation complète de la pollution microplastique en milieu hydrologique.

Conclusion

Cette étude, menée dans le cadre du PIREN-Seine et du projet Plastival, a permis d'approfondir la compréhension des dynamiques de transfert des microplastiques (MPs) sous l'influence des conditions hydrologiques dans un bassin versant agricole et périurbain. Le suivi à haute résolution réalisé à l'exutoire du bassin des Avenelles entre 2023 et 2024 a mis en évidence une forte variabilité saisonnière et événementielle des concentrations et des flux de MPs.

Les résultats montrent que les flux de microplastiques sont plus de cent fois supérieurs en période de hautes eaux par rapport aux basses eaux, confirmant le rôle déterminant des variations de conditions hydrologiques dans le transport des MPs vers l'aval. Les événements hydrologiques extrêmes, tels que la crue associée à l'ouragan Kirk, ont accentué cette tendance, avec des concentrations pouvant varier d'un ordre de grandeur au cours d'un même épisode. Ces observations soulignent la forte réactivité du bassin versant face aux précipitations et la contribution majeure des processus de remise en suspension et du drainage agricole dans la mobilisation des MPs.

Cette étude met en évidence le fait que les conditions hydrologiques constituent le principal facteur de contrôle des flux de microplastiques dans les milieux continentaux. Elle démontre l'importance de prendre en compte la variabilité temporelle, tant saisonnière qu'événementielle, pour une évaluation représentative de la pollution. Ces travaux fournissent ainsi une base solide pour le développement de futurs modèles de flux et pour la mise en place de stratégies de gestion et de réduction des sources de microplastiques à l'échelle du bassin de la Seine. La suite de ces travaux va viser à affiner les corrélations entre les dynamiques de microplastiques et d'autres particules en suspension pour améliorer la description de leur comportement et potentiellement faciliter les extrapolations qui peuvent être effectuées à partir de mesures ponctuelles. De plus, les sources et apports de ces microplastiques vont être explorés en s'intéressant notamment aux activités agricoles sur le bassin, ainsi qu'au transfert via les drains agricoles.

Bibliographie

- Barrows, A.P.W., Christiansen, K.S., Bode, E.T., Hoellein, T.J., 2018. A watershed-scale, citizen science approach to quantifying microplastic concentration in a mixed land-use river. *Water Research* 147, 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.013>
- Bujaczek, T., Kolter, S., Locky, D., Ross, M.S., 2021. Characterization of microplastics and anthropogenic fibers in surface waters of the North Saskatchewan River, Alberta, Canada. *FACETS* 6, 26–43. <https://doi.org/10.1139/facets-2020-0057>
- Campanale, C., Stock, F., Massarelli, C., Kochleus, C., Bagnuolo, G., Reifferscheid, G., Uricchio, V.F., 2020. Microplastics and their possible sources: The example of Ofanto river in southeast Italy. *Environmental Pollution* 258, 113284. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113284>
- Lahon, J., Handique, S., 2023. Impact of flooding on microplastic abundance and distribution in freshwater environment: a review. *Environ Sci Pollut Res* 30, 118175–118191. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30819-8>
- Okoye, C.O., Addey, C.I., Oderinde, O., Okoro, J.O., Uwamungu, J.Y., Ikechukwu, C.K., Okeke, E.S., Ejeromedoghene, O., Odii, E.C., 2022. Toxic Chemicals and Persistent Organic Pollutants Associated with Micro-and Nanoplastics Pollution. *Chemical Engineering Journal Advances* 100310. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100310>
- Primpke, S., Fischer, M., Lorenz, C., Gerdt, G., Scholz-Böttcher, B.M., 2020. Comparison of pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry and hyperspectral FTIR imaging spectroscopy for the analysis of microplastics. *Anal Bioanal Chem* 412, 8283–8298. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02979-w>
- Rist, S., Vianello, A., Winding, M.H.S., Nielsen, T.G., Almeda, R., Torres, R.R., Vollertsen, J., 2020. Quantification of plankton-sized microplastics in a productive coastal Arctic marine ecosystem. *Environmental Pollution* 266, 115248. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115248>

- Stratmann, C.N., Dris, R., Gasperi, J., Buschman, F.A., Markus, A.A., Guerin, S., Vethaak, A.D., Tassin, B., 2024. Monitoring microplastics in the Seine River in the Greater Paris area. *Front. Earth Sci.* 12, 1386547. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1386547>
- Tallec, G., Ansart, P., Guérin, A., Delaigue, O., Blanchouin, A., 2015. Observatoire Oracle. <https://doi.org/10.17180/OBS.ORACLE>
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* 304, 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Treilles, R., Gasperi, J., Tramoy, R., Dris, R., Gallard, A., Partibane, C., Tassin, B., 2022. Microplastic and microfiber fluxes in the Seine River: Flood events versus dry periods. *Science of The Total Environment* 805, 150123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150123>