

RECHERCHE DE FRAGMENTS DE PLASTIQUE DANS LES SÉDIMENTS PROFONDS DU LÉMAN

STUDY OF PLASTIC FRAGMENTS IN DEEP SEDIMENTS OF LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2016

PAR

Florian FAURE et Luiz Felipe DE ALENCASTRO

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Central Environmental Laboratory

EPFL GR-CEL, Station 2, CH - 1015 LAUSANNE

RÉSUMÉ

Les microplastiques (particules de plastique inférieures à 5 mm) font l'objet d'un nombre croissant d'études scientifiques montrant que cette problématique concerne tous les compartiments et matrices de l'environnement et mettant en avant des suspicions grandissantes quant à leur toxicité. Dans ce contexte, la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL) a mandaté le Laboratoire Central Environnemental (GR-CEL) de l'EPFL afin de réaliser une étude exploratoire sur douze échantillons de sédiments du Léman. Les échantillons ont été tamisés en 3 classes de taille (> 300 µm, > 1 mm, > 5 mm), les particules de plastique ont été visuellement identifiées, extraites, décomptées et pesées, puis la composition chimique d'une part d'entre-elles identifiée par spectroscopie infrarouge (FT-IR ATR). Des particules de plastique ont été trouvées dans tous les échantillons, l'essentiel étant issu de la fragmentation de plus gros objets en plastique et en particulier de sacs plastiques ou emballages. L'essentiel des particules analysées était constitué de PET, PE et PVC. Ces résultats exploratoires plaident pour un approfondissement de telles analyses sur d'autres échantillons, à une plus grande échelle ou sur des fractions de tailles plus petites.

ABSTRACT

A growing number of studies focusing on microplastics (plastic particles smaller than 5 mm) show this issue affects all environmental matrices and compartments, and suspicions grow as to their toxicity. In this context, the Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL) has mandated EPFL's Central Environmental Laboratory (GR-CEL) for an exploratory study on twelve sediment samples from Lake Geneva. Samples have been sieved in 3 size classes (> 300 µm, > 1 mm, > 5 mm), plastic particles have been visually identified, extracted, counted and weighted, and the chemical composition of a part of them has been identified through infrared (FT-IR ATR) spectroscopy. Plastic particles have been found in all samples, most of them coming from the degradation and fragmentation of larger objects and especially plastic bags or packaging. Most of the analysed particles showed to be made of PET, PE and PVC. These exploratory results suggest further similar analysis on other samples would be appropriate, on a larger scale as well as on smaller size fractions.

1. INTRODUCTION

La pollution par les microplastiques (< 5 mm) a connu une attention grandissante des scientifiques comme du grand public ces dernières années (Barboza and Gimenez, 2015). Leur omniprésence est reconnue tant dans les compartiments marins (Ivar do Sul and Costa, 2013) que dans les eaux douces (Eerkes-Medrano et al., 2015; Faure et al., 2015), tout comme leur ingestion par des organismes de toutes tailles. Si la toxicité de telles particules reste mal connue, il est établi qu'elles peuvent avoir des impacts physiques directs sur les organismes (Wright et al., 2013) et interagissent avec des composés chimiques (Engler, 2012; Faure et al., 2015), qu'il s'agisse d'additifs du plastique (Koelmans et al., 2014) ou de polluants hydrophobes de l'environnement s'adsorbant à la surface des particules de plastique (Lee et al., 2013). Les quelques études en milieu continental sont le plus souvent focalisées sur les plastiques flottants, car les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont d'une part plus courantes et d'autre part plus aisées à mettre en œuvre dans les compartiments correspondants (couches supérieures des eaux de surface et berges). Le compartiment benthique est néanmoins considéré par tous les auteurs comme un puit d'accumulation majeur des plastiques (Corcoran, 2015; Neves et al., 2015; Woodall et al., 2014), et en particulier à proximité des zones d'activité humaine (Browne et al., 2011, 2010).

Les études concernant des sédiments profonds dans les eaux douces sont extrêmement peu nombreuses et, mises à part quelques études exploratoires ne faisant pas l'objet de publications scientifiques, inexistantes en Europe (Breuninger et al., 2016). Sur le continent Nord-Américain, peuvent être mentionnées les études sur le St Laurent (Castañeda et al., 2014), mais dont l'identification des particules est sujette à caution et dont les chiffres semblent largement surévalués (en particulier, identification visuelle erronée de résidus de combustion du charbon comptabilisés comme microbilles (Eriksen et al., 2013)), ou quelques études sur les Grands Lacs mais qui ne considèrent que les sédiments proches des berges.

Etant établi que cette pollution concerne les eaux de surface suisses (Faure et al., 2015), les flux comme les puits potentiels de microplastiques sont d'un intérêt particulier. Les sédiments benthiques sont généralement considérés comme des puits pour les particules de plastiques (Figure 1). Il peut s'agir de polymères plus denses que l'eau (Tableau 2) ou de plastiques densifiés lors des processus de production pour leur conférer des propriétés particulières, ou lors d'interactions avec l'environnement (colonisation par des biofilms, agrégation avec des particules organiques, etc.). Projet du Laboratoire Central Environnemental (GR-CEL) de l'EPFL depuis un certain temps, l'étude des sédiments benthiques du Léman a été possible par la volonté et le soutien du Conseil Scientifique de la CIPEL dans le cadre d'une campagne de prélèvement et d'étude plus générale des sédiments du Léman (Loizeau et al 2017). Cette étude exploratoire se propose d'établir une première évaluation de la quantité et des types de particules plastiques pouvant être trouvés dans les sédiments benthiques du Léman.

2. MÉTHODES

Les 12 échantillons ont été fournis au GR-CEL par la CIPEL, prélevés dans le cadre d'une vaste étude sur les micropolluants des sédiments superficiels du lac (80 stations). Les coordonnées d'échantillonnages sont connues et distribués dans l'axe longitudinal du Léman (Tableau 2 et Figure 1). Les sédiments superficiels ont été échantillonnés à l'aide de deux bennes de type Eckman. Les 2 à 3 premiers centimètres de sédiment ont été prélevés et homogénéisés sur le bateau avant d'être placés dans un sachet plastique d'un litre et conservés au froid. Le volume analysé et le poids sec correspondant servent ici à normaliser les résultats, sachant que la couche analysée n'a pas systématiquement de la même épaisseur.

Les conditions d'échantillonnage n'étant pas particulièrement orientées pour prévenir une contamination par des microplastiques, celle-ci ne peut être exclue, par des fibres ou autres particules de plastique issues des vêtements des manipulateurs, des outils utilisés ou des contenants.

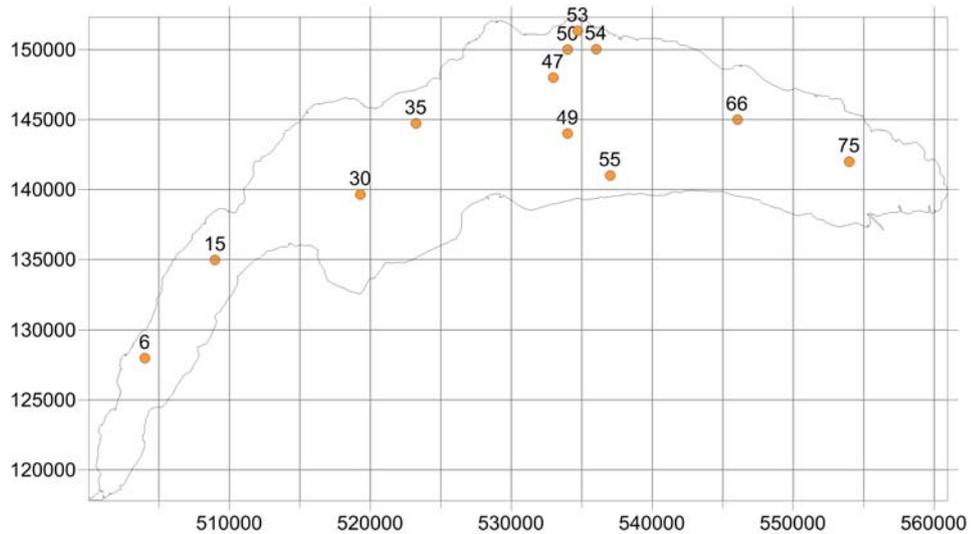


Figure 1 : Stations d'échantillonnage pour les analyses de microplastiques

Figure 1 : Sampling stations for microplastic analysis

Tableau 1 : Données d'échantillonnage

Table 1 : Sampling data

N°	X	Y	-Z (m)	Date et heure	Description sédiment
6	504000	127985	55	28/05/2015 09:20	beige, 1cm, silt fin
15	508975	134961	60	26/05/2015 16:00	beige, 1 cm oxydé, silt fin
30	519295	139643	151	20/04/2015 14:00	beige, 5 cm oxydé, silt fin
35	523230	144720	149	20/04/2015 17:20	beige+noirâtres, 3 cm oxydé, silt fin
47	532976	148002	254	03/06/2015 17:15	beige, 2cm ox, silt fin
49	534000	144000	309	20/04/2015 10:50	beige+brun, qq mm oxydé, silt fin +débris org.
50	534000	150002	169	03/06/2015 10:30	beige+brun, 1cm ox, silt fin
53	534722	151336	44	01/06/2015 17:15	noire, silt, feuilles
54	536013	150043	134	08/06/2015 10:30	brun, silt fin
55	537013	141003	145	10/06/2015 14:40	beige, 1cm ox, silt fin
66	546039	144988	276	04/06/2015 11:00	beige+brun+tache noires, 1cm ox, silt fin à moyen (gaz?)
75	553979	141999	181	04/06/2015 16:15	beige, 2-3cm ox, très compact

Les méthodes utilisées habituellement pour l'analyse de microplastiques dans des sédiments aquatiques (Claessens et al., 2013; Hidalgo-Ruz et al., 2012; Van Cauwenberghe et al., 2015) ont été adaptées à la nature des sédiments et à l'expérience du laboratoire, tout comme aux exigences du mandant. Si, habituellement, les études sur les microplastiques se concentrent sur les plastiques à densité relativement faible (PP, PE et PS expansé notamment), il a été ici choisi d'opérer une recherche plus large sur toutes les matières plastiques susceptibles de se trouver dans les sédiments, ce qui a nécessité le développement d'une méthodologie spécifique.

Les échantillons fournis, d'un volume compris entre 2 et 5 L, ont d'abord été homogénéisés et 1 L en a été prélevé. Chaque échantillon a été rincé à grande eau au-dessus de tamis superposés pour le séparer en 4 classes :

- 5 mm, limite entre méso- et microplastiques ;
- 5 - 1 mm, limite entre petits et gros microplastiques, pour faire la distinction entre deux définitions couramment utilisées des microplastiques (Van Cauwenberghe et al., 2015) ;
- 1 mm - 300 μ m, limite inférieure utilisée en pratique dans la plupart des études comparables ;
- < 300 μ m, conservée mais pas analysée ici.

Seules les fractions supérieures à 300 μ m (0.3 mm) ont été étudiées, d'une part parce que cette limite est celle généralement retenue pour les études dans les milieux aquatiques (GESAMP, 2015) et d'autre part pour des raisons pratiques, la manipulation et plus encore l'identification des plastiques à des tailles inférieures se révélant incertaines.

Les plus grosses fractions ont été directement observées à l'œil nu (> 5 mm) ou à la loupe binoculaire ou microscope (pour les particules > 2 mm) après rinçage. Les plastiques ont ensuite été une nouvelle fois nettoyés à l'eau, puis séchés (12 h à 60°C) avant pesée. Pour les fractions inférieures à 2 mm, une étape d'oxydation rapide avec du peroxyde d'hydrogène (60 ml H₂O₂ à 35 % et catalyse avec 30 ml de solution acide de 0.05 M Fe(II)) et agitation pendant 1 h h suivie d'un rinçage à l'eau (Faure and De Alencastro, 2014) a été appliquée pour décrocher autant que possible les sédiments résiduels des plastiques. L'exposition de plastiques de diverses compositions à des solutions aux mêmes concentrations n'a montré une diminution significative de la masse qu'à des temps d'exposition bien plus longs. Les études utilisant ce procédé concluent généralement à une faible altération des plastiques et notamment du nylon (Catarino et al., 2015; Nuelle et al., 2014), mais avec des temps d'expositions plus longs également (12 h en général) et à des températures plus élevées que celles qui ont été appliquées ici. Après rinçage, les échantillons ont été examinés au microscope, les plastiques ôtés, séchés et pesés comme précédemment décrit. La plus petite fraction (0.3 - 1 mm), lorsqu'elle présentait un volume trop important pour une analyse directe, a été préalablement homogénéisée et séparée par gravimétrie dans une solution saturée de NaCl de densité 1.8, plus dense que les polymères purs pouvant être trouvés sur le marché et que les minéraux des sédiments (Nuelle et al., 2014).

Les plastiques ont fait l'objet d'un tri visuel en catégories suivant leur apparence, caractéristique et origine possible, et ce pour chaque classe de taille. Les 4 à 5 catégories les plus usuellement considérées (Lechner et al., 2014; Reisser et al., 2013; Shaw and Day, 1994) ont été reprises, et détaillées en 7 catégories : fragments, pellets de pré-production, microbilles, ligne (type fil de pêche), fibre (type textile), film (emballages ou sacs plastiques), mousse (type polystyrène expansé), voir Figure . Des plastiques pouvant être issus de cosmétiques, seules les microbilles ont été classées spécifiquement; ceux présentant des formes quelconques (Fendall and Sewell, 2009; Gregory, 1996) et peu caractéristiques ont été classés avec les fragments. Pour chaque type et taille, le nombre de particules a été compté ainsi que le poids au 0.1 mg. Les résultats ont pu être rapportés au poids de sédiments humides et secs. La surface échantillonnée par les bennes n'étant pas connue avec exactitude, et le volume ayant pu être modifié entre le prélèvement et l'analyse, les valeurs ne sont pas extrapolées à des concentrations par unité de surface ou de volume.

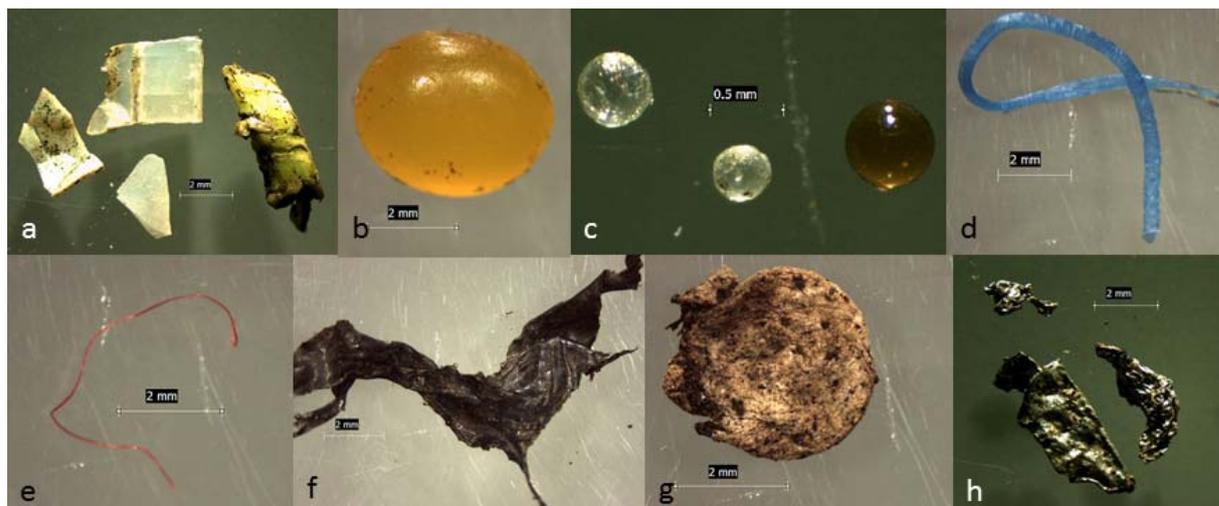


Figure 2 : Exemple de particules pour chaque catégorie. a: fragments (fraction > 1 mm); b: pellet (> 1 mm); c: microbilles (> 0.3 mm); d: ligne (> 1 mm); e: fibre (> 1 mm); f: film (> 1 mm); g: mousse (> 2 mm); h: autre, ici métal (> 1 mm)

Figure 2 : Particles examples for each category. a: fragments (fraction > 1 mm); b: pellet (> 1 mm); c: microbeads (> 0.3 mm); d: line (> 1 mm); e: fibre (> 1 mm); f: thin film (> 1 mm); g: foam (> 2 mm); h: others, here metal (> 1 mm)

Les particules d'une taille suffisante (supérieures à environ 2 mm) ont été analysées par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier avec réflexion totale atténuée (FT-IR ATR) pour en déterminer la composition par comparaison avec des spectres de référence. Pour des raisons pratiques, les plus petites particules n'ont pas pu être analysées par ce procédé, l'utilisation d'un micro-spectroscopie étant requise pour des tailles inférieures et impliquant des temps et coûts d'analyses largement supérieurs. En outre, les fibres et lignes ont été écartées de l'analyse, leur application sur le cristal de l'instrument étant généralement incomplet et ne permettant pas d'obtenir des spectres fiables.

A chaque étape des précautions visant à éviter une contamination aérienne des échantillons par des particules externes, notamment des fibres, ou une contamination des verreries et du petit matériel ont été prises: port d'une blouse 100 % coton en tout temps, couverture des échantillons autant que possible, rinçage répété des verreries et ustensiles avec de l'eau distillée, etc. Des blancs de procédure ont été établis par exposition de boîtes de pétris propres à l'air lors de toutes les manipulations sur les sédiments et plastiques. La moyenne du décompte des fibres ainsi déposées a été ensuite retranchée du total des fibres décomptées dans les sédiments.

3. RESULTATS

Tous les échantillons contenaient des plastiques, les résultats pour les fibres ont été corrigés en amont par les blancs de procédure. Les concentrations globales sont du même ordre de grandeur, et plutôt dans les concentrations élevées, que ce qui est rapporté par la littérature traitant des sédiments marins (Van Cauwenberghe et al., 2015), mais les différences de nature du substrat, d'échantillonnage et de traitement des analyses rendent les comparaisons hasardeuses. Les résultats ne peuvent malheureusement pas être comparés à d'autres études en eau douce en raison de leur quasi-inexistence et des différences d'analyse et d'expression des résultats.

Tableau 2 : Nombre de microplastiques et masses mesurées pour 1L, concentration par masse de matière sèche.

Table 2 : Microplastic count and weight per 1L, extrapolation to dry weight

Echantillon	6	15	30	35	47	49	50	53	54	55	66	75
#	15	22	31	110	12	7	102	189	401	79	54	208
Masse de plastiques (mg)	253,2	222,5	361,4	670,8	110,1	51,7	303,3	508,9	802,5	602,2	412,6	512,9
Masse de sédiment sec MS [g]	123,2	100,1	200,1	145,3	171,3	142,3	164,8	172	210,2	104,3	202,1	99,2
Concentration en nombre #/g MS	0,1	0,2	0,2	0,8	0,1	0,05	0,6	1,1	1,9	0,8	0,3	2,1
Concentration en masse mg/g MS	2,06	2,22	1,81	4,62	0,64	0,36	1,84	2,96	3,82	5,77	2,04	5,17

De manière générale, les fractions les plus fines présentent des concentrations en nombre beaucoup plus importantes, alors que l'essentiel de la masse est constituée de particules supérieures à 1 mm. Il est à noter que ces catégories représentent ce qui a été retenu par les tamis, les particules n'ont pas été mesurées et les catégories inférieures contiennent également des particules plus grosses étant passées à travers les mailles, notamment des films, lignes et fibres. D'autres légers biais possibles peuvent être l'omission et la non-comptabilisation de particules peu visibles pouvant sous-évaluer le total, ou au contraire des particules insuffisamment nettoyées malgré les efforts déployés entraînant une légère surestimation de la masse de certaines particules.

Seuls 2 échantillons présentaient des particules de plastique supérieures à 5 mm, à raison de 2 chacun, tous deux dans la baie de Vidy: les échantillons 53 et 54. Le faible volume analysé en général, et la faible surface de fond correspondante, incite à la prudence quant à l'interprétation de ces chiffres et de l'absence de grosses particules dans les autres échantillons, en particulier au regard de la présence de déchets plastiques de grandes taille et masse régulièrement ramassés sur les fonds du Léman lors d'initiatives citoyennes ou institutionnelles.

Toutes tailles et échantillons confondus (Figure 3), l'essentiel des particules est constitué de fragments et films fins. Les premiers peuvent provenir de tout objet plus gros dégradé et fragmenté, les seconds essentiellement de la fragmentation d'emballages ou de sacs plastiques.

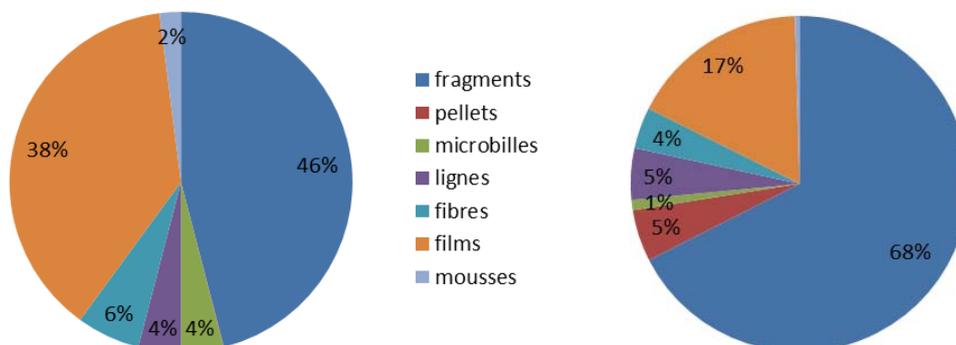


Figure 3 : Proportion des types de plastique, en nombre (gauche) et masse (droite)

Figure 3 : Proportion of each plastic types, in count (left) and weight (right)

L'essentiel de la masse est dû aux fragments, ensemble relativement hétéroclite en lui-même avec des particules dont l'origine peut être diverse. Certains microplastiques sont dits "primaires", n'étant pas issus

de la fragmentation de plus gros objets mais étant directement fabriqués tels qu'ils ont été trouvés. Il s'agit notamment des microbilles, pouvant être issues de cosmétiques, et de pellets de pré-production destinés à être fondus pour la fabrication de biens de consommation (Lechner et al., 2014 ; Napper et al., 2015).

Quelques billes ont été trouvées dans la plupart des échantillons, sans qu'il soit évident d'en deviner la source. Leur masse est négligeable, tout comme celles des lignes et mousses. Des disparités relativement importantes peuvent néanmoins exister entre les échantillons, certains présentant l'influence de quelques particules plus lourdes ou au contraire de nombreuses particules d'un même type de masse réduite. Il peut être surprenant de trouver mousses, fibres ou films d'ordinaire peu denses dans le compartiment benthique. Différentes hypothèses émises dans le cadre d'études visant à la compréhension de flux de microplastiques dans l'environnement peuvent aider à la compréhension de leur présence, sans qu'il soit possible d'en retenir une avec certitude : floculation entre particules et avec la matière organique environnante ; développement de biofilms rendant les particules plus lourdes ; piégeage des particules en profondeur lors d'événements climatiques particuliers, etc.

Il est possible que des concentrations localement élevées d'un type de particules dans certains échantillons puissent être dues à la dégradation et fragmentation d'une plus grosse particule. C'est aussi ce que pourraient suggérer les analyses de la spectroscopie, réalisée sur les particules de plus de 1 mm (représentant 10% du total des particules en nombre (Figure). Cette conclusion serait en contradiction avec les hypothèses de faible dégradation du plastique en profondeur dû à la faible oxygénation et chaleur notamment. La manipulation des échantillons et les traitements subis lors de l'analyse pourraient aussi avoir fragmenté à posteriori des particules fragilisées par leur âge et temps de résidence dans l'environnement.

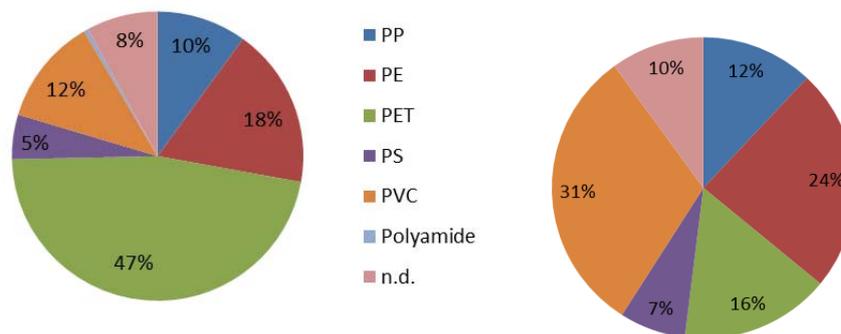


Figure 4: Résultats des analyses spectroscopiques sur les particules de plus de 1 mm, en nombre (gauche) et masse (droite). n.d. désigne aussi bien les particules n'ayant pu être déterminées, généralement en raison de la difficulté pour les nettoyer ou de leur forme ne permettant pas de les exposer favorablement sur le cristal du spectromètre, que celles composées de mélanges de polymères.

Figure 4 : FTIR-spectroscopy analysis results on particles bigger than 1 mm, in number (left) and mass (right). n.d. indicates plastics that couldn't be determined for sure because they couldn't be cleaned enough, or of their shape that didn't allow them to be exposed on the spectrometer's crystal, as well as polymer mixtures.

Ces concentrations sont cohérentes avec les types généraux de plastiques produits et consommés en Suisse (Schelker and Geisselhardt, 2011), avec une légère surreprésentation des plastiques plus denses que sont le poly(téréphtalate d'éthylène) (PET) et le poly(chlorure de vinyle) (PVC), notamment par rapport aux études axées sur le haut de la colonne d'eau ou les berges. A noter que les polyéthylènes (PE) regroupent également les polyéthylènes de haute densité (ou HDPE, qui représentent la majorité des particules classées dans PE) et de basse densité (LDPE), tout comme le PVDF a été regroupé avec le PVC au vu de leurs proches propriétés. PS désigne le polystyrène, et PP le polypropylène.

4. CONCLUSIONS

Globalement, tous les échantillons de sédiments contenaient du plastique. Les concentrations en nombre de particules peuvent sembler considérables, mais représentent finalement des pourcentages massiques relativement faibles. Il est difficile ici d'avancer une analyse plus poussée, le nombre d'échantillons analysés étant relativement faible, tout comme le volume de chacun d'eux. Tous les échantillons contenaient à la fois des fragments, films et fibres, qui constituent la majeure partie des particules de plastique. Les polymères les plus souvent trouvés sont le PE, le PET et le PVC.

Il n'est pas possible ici de dire quels peuvent être les impacts sur les organismes, même s'il est certain que ces particules sont inopportunes. Il serait intéressant d'étudier conjointement la nature et la teneur en micropolluants organiques et en plastiques, ceux-ci constituant l'une des sources et l'un des vecteurs de micropolluants.

En tous les cas, la mise en place d'un suivi, ou en tout cas un approfondissement par des analyses similaires à celles qui ont été réalisées ici, devrait être envisagé à l'avenir afin de mieux définir les concentrations concernées, et obtenir des résultats plus représentatifs et statistiquement plus solides sur un nombre d'échantillons et des volumes plus importants. L'étude des particules inférieures à 300 µm serait d'un intérêt particulier, notamment d'un point de vue écotoxicologique. La manipulation de ces fractions étant malaisée, tout comme l'identification des particules, d'autres méthodes et des moyens plus importants pour leur développement et mise en pratique devraient être envisagées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la CIPEL et les membres de son Conseil Scientifique de les avoir mandatés et financés pour cette étude. Merci en particulier pour l'échantillonnage des sédiments et leur transport à Messieurs Loizeau et Ferrari.

Enfin, merci aux collaborateurs du GR-CEL pour leur aide lors des travaux de laboratoire, et à Marine Decrey et Mathieu Veriter, étudiants de Master des Sciences et Ingénierie de l'Environnement de l'EPFL, pour leur travail sur cette thématique.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
- Barboza, L.G.A., Gimenez, B.C.G., 2015. Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Mar. Pollut. Bull.* 97, 5–12. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.06.008
- Breuninger, E., Bänsch-Baltruschat, B., Brennholt, N., Hatzky, S., Reifferscheid, G., Koschorreck, J., 2016. Plastics in European Freshwater Environments (Issue Paper). German Environment Agency, Berlin.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45, 9175–9179. doi:10.1021/es201811s
- Browne, M.A., Galloway, T.S., Thompson, R.C., 2010. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environ. Sci. Technol.* 44, 3404–3409. doi:10.1021/es903784e
- Castañeda, R.A., Avlijas, S., Simard, M.A., Ricciardi, A., 2014. Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71, 1767–1771. doi:10.1139/cjfas-2014-0281
- Catarino, A.I., Sanderson, W., Thompson, R., Henry, T.B., 2015. Distribution and quantification of microplastics present in mussels along the Scottish coast.
- Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M.B., Janssen, C.R., 2013. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Mar. Pollut. Bull.* 70, 227–233. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.03.009
- Corcoran, P.L., 2015. Benthic Plastic Debris in Marine and Fresh Water Environments. *Environ. Sci. Process. Impacts.* doi:10.1039/C5EM00188A
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C., Aldridge, D.C., 2015. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res.* 75, 63–82. doi:10.1016/j.watres.2015.02.012
- Engler, R.E., 2012. The Complex Interaction between Marine Debris and Toxic Chemicals in the Ocean. *Environ. Sci. Technol.* 46, 12302–12315. doi:10.1021/es3027105
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellars, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S., 2013. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar. Pollut. Bull.* doi:10.1016/j.marpolbul.2013.10.007
- Faure, F., De Alencastro, L.F., 2014. Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Laboratoire central environnemental GR-CEL, Lausanne.
- Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., de Alencastro, L.F., 2015. Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environ. Chem.* 12, 582–591.
- Fendall, L.S., Sewell, M.A., 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1225–1228. doi:10.1016/j.marpolbul.2009.04.025
- GESAMP, 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (No. Rep. Stud. ESAMP No. 90). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection.
- Gregory, M.R., 1996. Plastic “scrubbers” in hand cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified. *Mar. Pollut. Bull.* 32, 867–871. doi:10.1016/S0025-326X(96)00047-1
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M., 2012. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075. doi:10.1021/es2031505
- Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F., 2013. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2013.10.036
- Koelmans, A.A., Besseling, E., Foekema, E.M., 2014. Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environ. Pollut.* 187, 49–54. doi:10.1016/j.envpol.2013.12.013
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E., 2014. The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe’s second largest river. *Environ. Pollut.* 188, 177–181. doi:10.1016/j.envpol.2014.02.006
- Lee, H., Shim, W.J., Kwon, J.-H., 2013. Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals. *Sci. Total Environ.* doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.023
- Loizeau, J.-L., 2017. Micropolluants métalliques et organiques dans les sédiments profonds du Léman. *Comm. int. prot. eaux Léman contre poll.*, Campagne 2016, 143-198.
- Napper, I.E., Bakir, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., 2015. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Mar. Pollut. Bull.* doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.029

- Neves, D., Sobral, P., Pereira, T., 2015. Marine litter in bottom trawls off the Portuguese coast. *Mar. Pollut. Bull.* 99, 301–304. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.044
- Nuelle, M.-T., Dekiff, J.H., Remy, D., Fries, E., 2014. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environ. Pollut.* 184, 161–169. doi:10.1016/j.envpol.2013.07.027
- PlasticsEurope, 2013. *Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data.*
- Reisser, J., Shaw, J., Wilcox, C., Hardesty, B.D., Proietti, M., Thums, M., Pattiaratchi, C., 2013. Marine Plastic Pollution in Waters around Australia: Characteristics, Concentrations, and Pathways. *PLoS ONE* 8, e80466. doi:10.1371/journal.pone.0080466
- Shaw, D.G., Day, R.H., 1994. Colour- and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 28, 39–43. doi:10.1016/0025-326X(94)90184-8
- Schelker, Raymond, et Patrik Geisselhardt. 2011. « Projekt „Kunststoff-Verwertung Schweiz“ - Bericht Module 1 und 2. Studie im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU) ».
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins, J., Janssen, C.R., 2015. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Mar. Environ. Res., Particles in the Oceans: Implication for a safe marine environment* 111, 5–17. doi:10.1016/j.marenvres.2015.06.007
- Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L.J., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A.D., Narayanaswamy, B.E., Thompson, R.C., 2014. The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R. Soc. Open Sci.* 1, 140317. doi:10.1098/rsos.140317
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ. Pollut.* 178, 483–492. doi:10.1016/j.envpol.2013.02.031