

MICROPLASTIQUES

SITUATION DANS LES EAUX DE SURFACE EN SUISSE

La problématique des microplastiques fait l'objet d'un intérêt croissant, mais la situation dans les eaux douces reste peu connue. Les travaux présentés ici cherchent à combler cette lacune, et mieux comprendre l'étendue et les implications de cette pollution avec un premier état des lieux dans les eaux suisses. Cet article est adapté de travaux précédemment publiés (Faure et De Alencastro 2014, [1]; Faure et al. 2015, [2]).

Florian Faure*, EPFL GR-CEL

Felippe De Alencastro, EPFL GR-CEL

ZUSAMMENFASSUNG

MIKROPLASTIK IN SCHWEIZER OBERFLÄCHENGEWÄSSERN

Sowohl Wissenschaftler als auch die Öffentlichkeit beobachten die Verunreinigung der Ozeane durch Mikroplastikpartikel (< 5 mm) in den letzten Jahren mit wachsender Aufmerksamkeit. Allerdings bleibt die Situation in den Binnengewässern im Wesentlichen unbeachtet. Die Auswirkungen auf Flora und Fauna sind dabei in erster Linie physikalischer Natur. Jedoch sind ebenso chemische Folgen – vor allem durch die kleinsten Partikel – zu erwarten. Aus sechs grossen Schweizer Seen wurden Stichproben genommen, um das Ausmass dieser Verunreinigungen zu bestimmen und mögliche Folgen zu ermitteln. Diese Proben wurden mithilfe eines Schwimnetztes an der Oberfläche des Genfersees, des Bodensees, des Neuenburgersees, des Langensees, des Zürichsees und des Brienersees sowie der Rhone nahe der französischen Grenze entnommen. Ausserdem wurden die Ufersedimente analysiert. Die Kunststoffteilchen wurden nach ihrem Typ (Fragmente, Granulat aus der Vorproduktion, Mikroperlen aus Kosmetika, Stränge, Fasern, Folien, Schaumstoff) und nach ihrer Zusammensetzung (PP, PE, PS usw.), die in einigen Fällen ermittelt werden konnte, sortiert. Fische und Wasservögel wurden zerlegt, um ihr Expositionspotenzial zu beurteilen. Zusätzlich wurden an den Partikeln adsorbierte Spurenstoffe sowie bestimmte potenziell toxische Additive, die die Partikel enthielten, analysiert. Offenbar sind alle Seen von diesen Verunreinigungen betroffen, da Mikroplastik aller

INTRODUCTION

LES (MICRO-)PLASTIQUES

Les plastiques sont définis comme «des polymères non-métalliques fabriqués par l'homme, de poids moléculaire élevé, constitués de répétition de macromolécules» [3]. La production mondiale de plastique augmente exponentiellement depuis les années 1950 atteignant 288 millions de tonnes en 2012 [4]. Les usages principaux du plastique en Europe sont les emballages (39%), le bâtiment (20%), l'automobile (8%), le secteur de l'électricité (6%) et l'agriculture (4%). Il existe de nombreux types de polymères, aux propriétés et usages multiples. Le polyéthylène ou PE (30% de la production pour emballages et sacs plastiques, densité 0,92 à 0,96), le polypropylène ou PP (19% pour des bouchons ou boîtes, densité 0,90) et le polystyrène ou PS (7,5% pour boîtes mais surtout mousses types Sagex ou Styropo, densité 1,05 en formulation non expansé) constituent donc un peu plus de la moitié des polymères produits, et sont ceux qui ont le plus de chance d'être trouvés à la surface de l'eau au vu de leur densité. Le polytéréphtalate d'éthylène (PET, utilisé pour les bouteilles, 6,5% de la production) et le polychlorure de vinyle ou PVC (11% de la production pour des conduites ou matériaux de construction) viennent compléter la liste restreinte des polymères les plus utilisés, mais cette

* Contact: florian.faure@epfl.ch

fois avec des densités ne permettant de les trouver en surface qu'exceptionnellement - respectivement 1,5 et 1,4. Ces densités sont indicatives et dépendent grandement du traitement subi par les plastiques lors de leur production pour leur conférer diverses propriétés (l'expansion par exemple, qui diminue la densité du PS) et des additifs, le plastique étant très rarement utilisé pur: charges inorganiques (carbone ou silice p. ex.) pour renforcer le plastique, stabilisateurs thermiques, plastifiants, ignifuges, stabilisateurs UV, colorants, opacifiants, etc.

Les microplastiques sont généralement définis comme des particules de plastique inférieures à 5 mm [5]. Plus grand, ils sont désignés par les termes macro- (ou meso-)plastiques avec une limite à 20 mm. Une distinction est aussi parfois faite entre les petits (< 1 mm) et les grands (1-5 mm) microplastiques, certaines études se concentrant sur ces derniers. La limite inférieure ne fait pas consensus, des particules jusqu'à 1 µm ayant été identifiées comme microplastiques.

Ils sont divisés en microplastiques primaires et secondaires. Ces derniers sont issus de la dégradation de plus grands morceaux de plastiques sous les effets conjugués de l'oxygène, des UV, de la chaleur, d'actions mécaniques comme le vent et les vagues ou encore de l'activité biologique. Il peut aussi s'agir de l'arrachage de fibres textiles ou de la fragmentation des blocs de polystyrène expansé en perles individuelles. Les microplastiques primaires sont quant à eux directement produits tels quels, en pellets ou granulés de pré-production (2-5 mm, aussi observables sous la forme de flocons) destinés à être transformés en biens de consommation ou servant d'abrasifs industriels. Ou, dans une moindre mesure, de microbilles (<1 mm) issues de crèmes de gommage, dentifrices ou autres cosmétiques. Relâchées dans les eaux usées, elles sont retrouvées dans les écosystèmes aquatiques.

DEVENIR DU PLASTIQUE


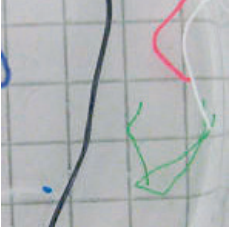
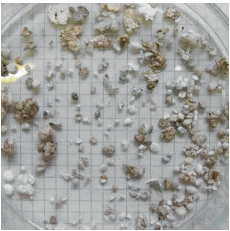
Les déchets plastiques sont en grande majorité mis en décharge à travers le monde, à 46% pour l'Europe [4]. En Suisse, ils sont récupérés à plus de 95% [6] que ce soit pour le recyclage, une valorisation énergétique directe ou l'incinération. Le transfert vers l'environnement se fait par des pertes accidentelles lors du transport de biens, la dissémination des déchets, les eaux usées, le stockage inapproprié de déchets ou encore le rejet direct dans l'environnement par des industries ou des particuliers. Les déchets plastiques sont en grande partie retrouvés dans les eaux, dans lesquelles ils peuvent être transportés sur de grandes distances. Concernant les microplastiques, les premières études faisant explicitement état de leur existence concernent la zone de convergence de l'Atlantique Nord [7]. Des zones d'accumulation, tant de macro- que de micro-déchets, ont été mises en évidence relativement récemment, certaines zones faisant l'objet d'études plus intensives mais toutes les gyres océaniques semblent jouer un rôle d'accumulation, avec une masse globale de plastique dans les océans étant estimée à plus de 250 000 tonnes [8]. Aucune tendance temporelle claire n'est cependant apparue dans ces zones, peut-être en raison de l'augmentation de la densité des plastiques par biofouling les faisant couler ou encore à leur fragmentation en particules non détectées. Par ailleurs, même les zones habituellement considérées comme peu atteintes par la pollution sont touchées, des îles isolées aux pôles ou au fond des océans. Les plages et côtes en général sont des zones de dépôt, mais parfois seulement

temporairement et avec une vitesse de dégradation accrue par rapport aux autres milieux. En revanche, les sédiments marins, y compris des zones les plus profondes, semblent bien jouer un rôle de puits avec une dégradation des plastiques quasiment inexistante. S'il est souvent écrit que 80% des déchets plastiques marins ont une origine continentale, ce chiffre est incertain. Les recherches sur la pollution continentale n'en sont qu'à leurs débuts mais suscitent un intérêt croissant. En dehors de la Suisse, des microplastiques ont été trouvés en concentrations considérables sur les Grands Lacs aux États-Unis, tant à la surface que sur les plages, sur les plages du lac de Garde en Italie et jusqu'à des régions très peu anthropisées et industrialisées, sur la surface et les plages du lac Hovsgol en Mongolie par exemple [9]. Les rivières et fleuves comme vecteurs de cette pollution sont également étudiés et de mieux en mieux documentés: aux États-Unis, au Brésil et en Europe, notamment sur le Rhin, le Danube ou encore la Tamise.

IMPACTS CONNUS ET SOUPÇONNÉS

Si les débris plastiques dans l'environnement suscitent tant d'intérêt, c'est essentiellement parce que leurs impacts avérés ou soupçonnés sont nombreux. Les plus évidents sont les impacts visuels, négatifs pour le tourisme par exemple. Les accidents de navigation impliquant de gros objets plastiques (bouées ou filets à la dérive) sont également nombreux. Les impacts physiques sur la faune ont été observés chez 250 espèces: étranglements ou ingestion de plastique entraînant suffocation ou obstruction des voies digestives ont été observés. De plus en plus d'études montrent la grande biodisponibilité des microplastiques en raison de leur faible taille, comparable à celle des sédiments ou du plancton et donc ingérables par des détritivores ou des planctophages, et bien sûr tous les organismes filtreurs. Leur translocation ainsi que le transfert dans la chaîne trophique font débat. Pour l'ingestion de nanoplastiques (20 nm), l'inhibition de la photosynthèse chez des algues a par exemple été observée, pointant vers les impacts des produits de la fragmentation des microplastiques.

Une autre problématique majeure concernant les plastiques dans l'environnement a trait à leurs caractéristiques chimiques. Leurs additifs peuvent être lessivés dans l'environnement ou lors de leur ingestion (même temporaire), constituant une source secondaire de polluants. Il peut s'agir notamment de phtalates, nonylphénol (NP) ou bisphénol A (BPA). Les plastiques peuvent également être vecteurs de polluants hydrophobes, les transporter et contribuer à leur entrée dans la chaîne trophique. Il peut s'agir par exemple des polychlorobiphényles (PCB), très persistants malgré leur interdiction (1986 pour la Suisse) et qui sont trouvés dans tous les environnements et adsorbés à tous types de polymères. D'autres polluants pouvant être adsorbés sont les pesticides, composés organo-chlorés ou OCP comme la famille des DDT, les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou PAH issus de la combustion du pétrole ou de la fabrication du polystyrène expansé ou encore les polybromodiphényléthers (PBDE) utilisés comme ignifuges. L'affinité des plastiques avec les polluants hydrophobes dépend des plastiques et des polluants, tout comme leur vitesse de désorption et celle du lessivage de leurs additifs, qui semblent accélérées en conditions physiologiques. Certains plastiques sont soupçonnés d'être néfastes par leur formulation même, comme par exemple le PVC qui contient du chlore. Des problématiques annexes concernent le transport

Type	Usage/origine possibles	Exemples
Fragment	Dégradation de grosses particules Plastiques non spécifiques	
Granulé/pellets	Industrie Pré-production, matière première	
Microbille	Cosmétique	
Fil (de pêche)	Pêche	
Fibre	Textiles	
Film fin transparent	Emballages	
Mousse	Sagex/Styropor Construction Alimentaire	
Autre	Aluminium, verre, peinture	

Tab. 1 Catégories des microplastiques, indicatrices de leur usage
Mikroplastikkategorien und Hinweise zum Einsatzbereich der Kunststoffe

d'espèces exotiques parfois invasives, notamment par les voies fluviales.

SITUATION EN SUISSE

MÉTHODES

La surface de six lacs (Léman, Majeur, Constance, Zurich, Neuchâtel et Brienz) a été échantillonnée à l'aide d'un filet manta, chalut flottant avec une maille de 300 µm, le long de transects d'environ 3 km. Les sédiments de leurs plages ont aussi été analysés à raison de 3 plages par lac sur 3 quadrats chacune (40 cm de côté, 5 cm de profondeur, soit 4,51 par échantillon) En outre, des poissons et oiseaux ont été disséqués et analysés pour la présence de plastiques dans leurs tractus digestifs. Les plastiques ont été triés par taille (macroplastiques > 5 mm, gros microplastiques > 1 mm et petits microplastiques < 1 mm), et catégories (tab. 1) indicatrices de leur origine.

Une partie des particules a également été analysée par spectroscopie infrarouge (FTIR ATR) pour en déterminer la composition, et des analyses chimiques ont été conduites pour identifier et quantifier les additifs des plastiques et micropolluants adsorbés à la surface des particules potentiellement nocifs. Pour ces analyses, les substances étudiées ont été extraites des plastiques par ultrason dans des solvants, ces solvants ont ensuite été purifiés puis analysés par chromatographie en phase gazeuse ou liquide couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS/MS et LC-MS/MS).

RÉSULTATS

Lacs

Il apparaît que les microplastiques sont présents sur tous les lacs étudiés, plages et surfaces comprises, en quantités considérables. Les concentrations en nombre de particules sont souvent supérieures à celles observées dans les océans, même si la masse totale est réduite (tab. 2). La variabilité est forte entre les lacs et au sein de chacun, tant spatialement que temporellement. Des zones d'accumulations existent le long des berges et dans les baies, et l'influence déterminante du vent et des précipitations dans la répartition et l'abondance des plastiques est apparue clairement. Les plastiques sont essentiellement issus de la fragmentation de plus gros objets, des emballages pour une bonne part, mais

Lac	Surface [km ²]	Temps de séjour [an.]	Pop.	Surface		Plages	
				[#/km ²]	[mg/km ²]	[#/km ²]	[mg/km ²]
Léman	581,3	11,4	1 040 000	184 000	34 100	2083	959
Constance	536	0,08	1 448 000	61 100	44 800	319	244
Neuchâtel	217,9	8,25	260 000	49 700	5 930	706	922
Majeur	212,3	4,12	550 000	21 800	68 700	1160	433
Zurich	68,15	1,4	330 000	10 900	3 680	464	6 310
Brienz	29,8	2,69	26 600	35 800	4 500	2 500	2 400

Tab. 2 Lacs échantillonnés, concentrations en surface et sur les plages

Beprobte Seen und die an der Wasseroberfläche und an Stränden gefundenen Mikroplastikkonzentrationen

on trouve une quantité importante de mousses (en nombre notamment leur masse étant généralement très réduite), probablement issues du secteur de la construction (fig. 1). Les granulés de pré-production, microbilles issues des cosmétiques et autres microplastiques primaires constituent une faible part de l'ensemble (en tout cas en nombre, leur proportion en masse est plus importante), même si l'opinion publique en fait un fort enjeu symbolique. De fait, nombre de producteurs de cosmétiques en Europe et plus récemment et timidement en Suisse ont déclaré leur intention de recourir à d'autres matériaux. Les particules analysées étaient essentiellement du PE, du PP et du PS expansé (fig. 2). Seulement 2% des particules testées n'ont pu être formellement identifiées comme du plastique par la spectroscopie FT-IR. Globalement, les proportions des types de plastiques trouvés correspondent aux quantités produites, en ce qui concerne les polymères les moins denses.

Rhône

Le transport de microplastiques par le Rhône a été mis au jour par des échantillons exploratoires, la contribution de la Suisse à la pollution en aval des fleuves la quittant ne faisant aucun doute. En revanche, la distance sur laquelle les microplastiques sont transportés est inconnue, il n'est en l'état pas établi que ces particules voyagent jusqu'à l'océan sans être déposées sur les berges ou enfouies dans les sédiments. Néanmoins, la nature de cette pollution est parfaitement comparable à la pollution marine par les plastiques, elle-même bien établie. Des travaux récemment publiés et traitant des microplastiques dans le Rhin viennent corroborer ces conclusions, de façon plus approfondie et indiquant une pollution considérable des cours d'eaux par les plastiques [10].

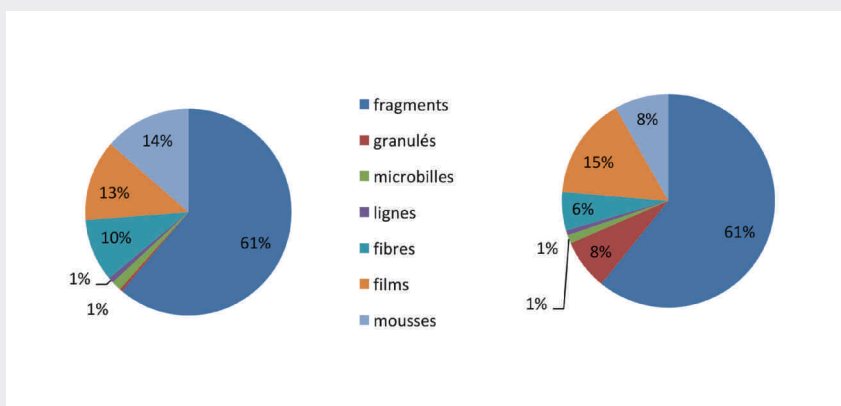


Fig. 1 Proportion des microplastiques de chaque catégorie à la surface des lacs suisses, en nombre (gauche) et masse (droite)

Anteil des Mikroplastiks jeder Kategorie an der Oberfläche der Schweizer Seen, in Anzahl (links) und Masse (rechts)

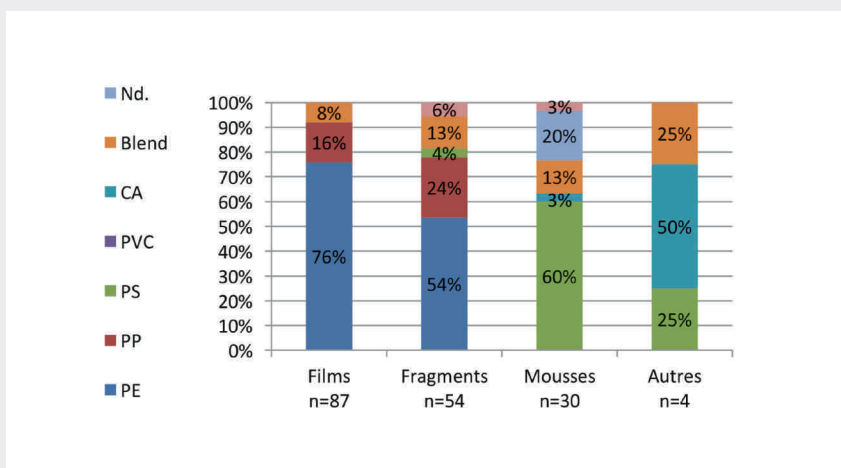


Fig. 2 Identification des polymères par catégorie de plastiques (CA: acétate de cellulose)
Identifikation der Polymere nach Kunststoffkategorie (CA: Celluloseacetat)

Poissons et oiseaux d'eau

Même si le nombre d'échantillons étudiés lors de cette étude est relativement restreint, l'avifaune et l'ichtyofaune sont concernées par l'ingestion de microplastiques de plusieurs types. 3 poissons sur 40 et 8 oiseaux d'eau sur 9 contenaient du plastique dans leur tractus digestif. Aucun impact physique n'a été directement relevé, la masse des particules étant faible et le nombre d'individus re-

streint. Une surface spécifique élevée et une durée d'exposition probablement relativement longue en ce qui concerne les oiseaux, les plastiques se trouvant dans leur gésier et présentant un aspect patiné, fait plutôt craindre d'éventuels impacts chimiques par relargage de polluants adsorbés et concentrés ou d'additifs du plastique. D'autant que les résultats obtenus ici ne concernent que les particules retenues dans les tractus digestifs lors de la



Fig. 3 Pelote de réjection de goéland, lac Léman
Möwengewölle, Genfersee

mort des individus, et non les nombreuses particules en contact temporaire avec la faune, ingérés puis expulsés (fig. 3).

Substances adsorbées et additifs

La concentration en substances adsorbées et additifs toxiques du plastique comme les PCB, PAH, pesticides (DDT, Mirex, HCB), PBDE, NP et le BPA varient de 1 à 6000 ng/g; la concentration en phtalates de 500 à 100 000 ng/g (fig. 4). Si des concentrations élevées en additifs étaient attendues, celles en polluants adsorbés suggèrent un temps de résidence dans les eaux suffisamment long pour s'approcher de l'équilibre. Les particules plus petites sont les plus susceptibles d'adsorber de fortes concentrations, il en va de même pour les particules ramas-

sées dans l'eau plutôt que sur les plages. Même si la translocation des microplastiques fait débat au sein de la communauté scientifique, le transfert de micropolluants vers des organismes les ingérant est de plus en plus largement admis, suggérant un impact réel de cette pollution sur les écosystèmes. En particulier, des perturbations du système endocrinien ont été mises en évidence sur des poissons ayant ingéré des particules de plastiques dont les concentrations en polluants étaient inférieures. Cela dit, les microplastiques ne sont pas la seule voie d'entrée de ces substances dans la chaîne trophique, ni peut-être la plus importante, les concentrations en polluants pouvant être comparées à celles des sédiments.

Bilan

De manière générale, les résultats de cette étude donnent des ordres de grandeur des quantités et types de plastiques mais leur représentativité statistique est sujette à caution. Le nombre global d'échantillon est relativement important pour une étude de ce genre, mais insuffisant pour extrapoler les résultats à l'ensemble des lacs suisses, ou même à chacun des 6 lacs étudiés.

PERSPECTIVES

Des analyses exploratoires complémentaires ont été réalisées afin d'éclaircir quelques questions soulevées, notamment quant à l'origine de cette pollution. La contribution des STEP a été étudiée, tout comme les eaux de ruissellement urbaines, déversoirs d'orages, etc. Les STEP retiennent largement les microplastiques dans les boues d'épurations (abattement de l'ordre de 95%), même si de faibles concentrations sont détectables dans les effluents pour les installations ne mettant pas en œuvre une filtration finale. Les déversoirs d'orages sont une voie d'entrée dans l'environnement considérable, même si très ponctuelle, tout comme les eaux de ruissellement urbaines. Ces résultats donnent des indications quant au cheminement des particules plastiques jusqu'à l'environnement, mais sont pour l'instant trop restreints pour en saisir l'ampleur précise.

De manière générale, si plus de données étaient disponibles, la modélisation des transports dans les lacs et rivières pourrait apporter de précieuses informations

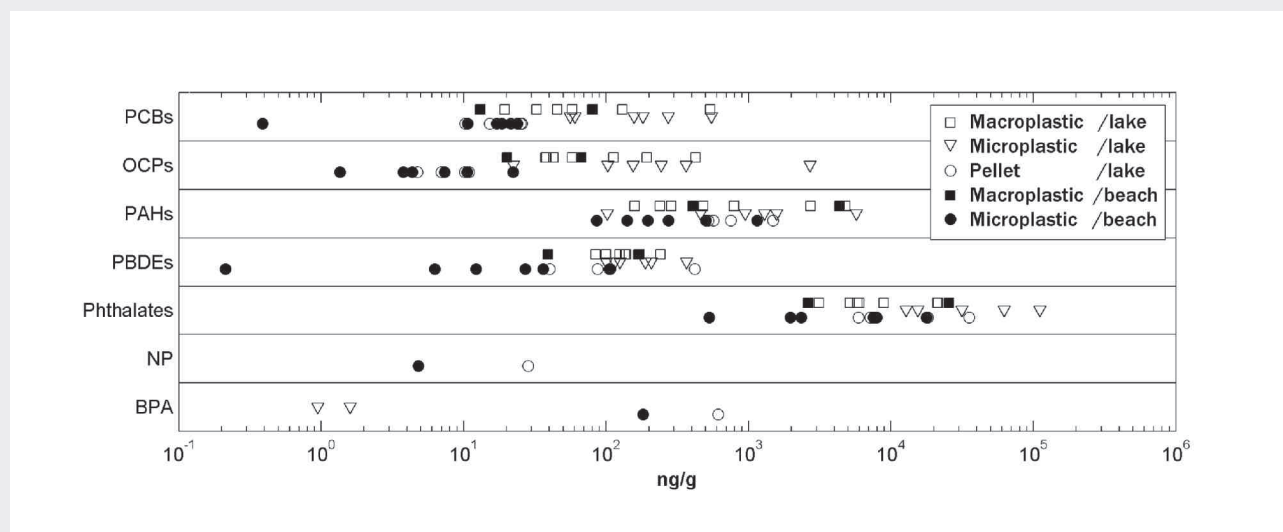


Fig. 4 Vue d'ensemble des concentrations de polluants par type de particule et substrat
Übersicht über die Schadstoffkonzentrationen nach Partikel- und Substrattyp

quant au devenir de ces particules. Les apports éoliens, qui n'ont pas été pris en compte jusque-là, devraient également être étudiés, en particulier en ce qui concerne les mousses (polystyrène expansé) et les films. Largement utilisés dans le domaine de la construction et du bâtiment (respectivement isolation et bâchage), ces plastiques sont généralement stockés et travaillés à l'air libre, ouvrant la voie à leur dispersion par les airs ou par l'eau. La modélisation du transport des plastiques permettrait d'évaluer leur éventuelle propension à s'accumuler. Des échantillonnages périodiques pourraient aussi, si un protocole précis était adopté à un niveau plus global, de mesurer l'évolution de cette pollution et d'en assurer le suivi. Il semblerait utile, au vu des premiers résultats sur les poissons, d'élargir le nombre d'espèces et d'individus analysés. Les résultats obtenus dans d'autres études à l'étranger semblent indiquer une plus grande occurrence de l'ingestion de plastiques par les poissons que ce qui a pu être mis en évidence ici (de l'ordre de 10 à 15% pour des poissons d'eau douce en Europe, bien plus en mer). Des analyses plus étendues sont à envisager sérieusement, notamment s'agissant des espèces consommées couramment. Quant à la faune aviaire, qui semble indubitablement concernée, des études de plus grande ampleur sur leur exposition, et la disponibilité des polluants véhiculés par les plastiques seraient souhaitables. Le Laboratoire Central Environnemental (GR-CEL) a encore mis en évidence la présence de petits microplastiques dans des organismes filtreurs de nos lacs (moules zébrées notamment) lors de tests préliminaires. De manière générale concernant les impacts éco-toxicologique, des recherches approfondies sont encore nécessaires pour les évaluer à toutes les échelles. L'ingestion (mais pas la translocation) de particules a été mise en évidence à tous les niveaux trophiques, mais les impacts chimiques notamment restent extrêmement délicats à prévoir. Les tests en laboratoire sont de plus en plus nombreux et pointent vers des impacts écotoxicologiques tangibles, bien que ces résultats ne soient pas directement transposables à l'environnement d'où la nécessité de suivis environnementaux et études *in situ*. L'étude de particules plus petites que 300µm serait aussi à envisager, étant plus facilement disponibles pour la faune, ayant une plus

grande surface spécifique et étant sans doute bien plus concentrées en nombre. La dégradation du plastique est réputée plus rapide dans les eaux douces, en raison d'une facilitation de l'interface air/eau et d'une plus grande chaleur notamment. Le suivi de cette dégradation (par microscopie électronique ou spectroscopie par exemple) pourrait apporter des informations précieuses sur le temps de séjour des plastiques dans les eaux douces. L'étude des sédiments benthique, environ la moitié du plastique étant plus dense que l'eau et sans compter le fouling qui peut entraîner des plastiques vers le fond (du moins temporairement), permettrait aussi d'évaluer cette pollution à plus long terme, et avec plus de recul. Le Laboratoire Central Environnemental a entamé la poursuite de telles études en collaboration avec divers instituts de recherches et institutions en Suisse et à l'étranger, mais sans disposer pour l'instant de ressources suffisantes pour des études d'envergure. Des moyens financiers publics devraient être alloués à ces recherches, au vu de l'importance des impacts potentiels et des préoccupations du grand public. Le champ de compétence des acteurs concernés devrait être élargi, pour inclure des spécialistes des différents domaines impliqués: environnement, chimie, écotoxicologie, matériaux, mais également des acteurs des secteurs économiques, politiques ou de la société civile. Si l'urgence de la situation n'est pas criante, il semble évident que ces particules n'ont pas lieu d'exister dans l'environnement et que des impacts sont à craindre même s'ils n'ont pu être montrés de façon évidente et claire en l'absence de moyens suffisants pour les études nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] 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*
- [2] Faure, F. et al. (2015): *Plastic Pollution in Swiss Surface Waters: Nature and Concentrations, Interaction with Pollutants. Environmental Chemistry 12 (5): 582-91*
- [3] Bowmer, T.; Kershaw, P. (2010): *Proceedings of the GESAMP International Workshop on Microplastic Particles as a Vector in Transporting Persistent, Bioaccumulating and Toxic Substances in the Oceans. 28-30th June 2010, UNESCO-IOC, Paris. GESAMP Reports and Studies 82. <http://www.vliz.be/imisdocs/publications/227957.pdf>*

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient en premier lieu l'OFEV pour son soutien financier, et notamment Manuel Kunz pour son suivi régulier. L'aide des différents services cantonaux ou fédéraux à l'échantillonnage et à l'analyse a également été précieuse. Les auteurs sont également reconnaissants aux collaborateurs du GR-CEL ayant participé au projet, tout comme aux étudiants ayant contribué par leur travail à l'échantillonnage ou à l'analyse des échantillons.

- [4] *PlasticsEurope (2013): Plastics – the Facts 2013. An Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data*
- [5] Arthur, C.; Baker, J. (2011): *Proceedings of the Second Research Workshop on Microplastic Debris. November 5-6, 2010. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Marine Debris Program*
- [6] Schelker, R.; Geisselhardt, P. (2011): *Projekt «Kunststoff-Verwertung Schweiz» – Bericht Module 1 und 2. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU)*
- [7] Thompson, R.C. et al. (2004): *Lost at Sea: Where Is All the Plastic? Science 304 (5672): 838-838*
- [8] Eriksen, M. et al. (2014): *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250 000 Tons Afloat at Sea. PLoS ONE 9 (12): e111913. doi:10.1371/journal.pone.0111913*
- [9] Wagner, M. et al. (2014): *Microplastics in Freshwater Ecosystems: What We Know and What We Need to Know. Environ Sci Eur. <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/s12302-014-0012-7.pdf>*
- [10] Mani, T. et al. (2015): *Microplastics Profile along the Rhine River. Scientific Reports 5 (December): 17988. doi:10.1038/srep17988*

> FORTSETZUNG DER ZUSAMMENFASSUNG

Typen und mit unterschiedlicher Zusammensetzung in allen Stichproben gefunden wurden. Vögel und Fische können die Partikel aufnehmen. Diese Partikel adsorbieren oder enthalten alle getesteten Spurenstoffe in Konzentrationen über den Nachweisgrenzen und meist auch über den Quantifizierungsgrenzen. Die Quellen dieser Partikel und die Eintragsmengen müssen noch genauer ermittelt und quantifiziert werden. Ebenso sind die ökotoxikologischen Auswirkungen zu bestimmen. Daneben sind noch weitere Fragen offen, vor allem in Bezug auf den Transport und den Verbleib der Mikroplastikpartikel in der Umwelt.