

Les microplastiques dans l'environnement

Fiche d'information

La pollution de l'environnement par les matériaux plastiques va croissant. La quantité de plastique produite dans le monde est aujourd'hui 170 fois supérieure à ce qu'elle était il y a 60 ans, à savoir 288 millions de tonnes par an [1]. On estime que près de 10 % de ce plastique se déverse dans les océans où il s'accumule sans être quasiment dégradé [2]. Ces derniers temps, l'opinion publique s'intéresse de plus en plus aux microplastiques, c'est-à-dire aux particules de moins de 5 mm de diamètre [3,4]. Moins visibles que les gros débris qui flottent à la surface des océans, ils sont tout aussi préoccupants dans la mesure où leur petite taille leur permet d'être absorbés par les organismes les plus petits et donc de s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Les articles de presse mentionnant la présence de microplastiques dans le miel ou l'eau minérale montrent clairement que ces particules discrètes peuvent contaminer notre alimentation.

Qu'appelle-t-on microplastique ?

Le plastique est composé de polymères organiques de synthèse obtenus par la polymérisation de monomères extraits du pétrole ou du gaz : le tableau récapitule les principaux matériaux concernés. On appelle microplastiques les particules de plastique de moins de 5 mm de diamètre. On en distingue deux catégories en fonction de leur processus de formation : les microplastiques primaires et les microplastiques secondaires. Les **microplastiques primaires** sont directement produits sous la forme de microparticules. Cette catégorie englobe par exemple les microbilles intégrées aux produits cosmétiques ou d'hygiène corporelle comme les peelings, les gels douche ou les dentifrices pour en augmenter le pouvoir nettoyant par leurs propriétés abrasives. Les microplastiques primaires sont également utilisés en remplacement du sable pour le décapage au jet d'abrasif et servent de matière première pour la fabrication de produits en plastique (granulés de pré-production). Les **microplastiques secondaires** résultent au contraire de la dégradation d'éléments de plus grande taille qui, dans l'environnement, sont réduits en fragments de plus en plus petits par l'action, notamment, du soleil et des forces mécaniques naturelles.

Les microplastiques dans les eaux de surface marines et continentales

Pour le moment, c'est sur la pollution des océans par les microplastiques que nous avons le plus d'informations. D'après les estimations les plus récentes, plus de 250 000 tonnes de plastique [5] dont 21 000 tonnes de microparticules [6] flotteraient dans les mers du monde. Les déchets plastiques sont très mobiles et gagnent même les régions polaires ou abyssales. Des quantités particulièrement importantes de plastiques flottants s'accumulent au niveau des grands vortex océaniques cependant que les débris les plus lourds se déposent au fond des mers. Dans une nouvelle étude, l'analyse d'échantillons prélevés sur 12 sites de l'Atlantique, de Méditerranée et de l'océan Indien révèle que les fonds

marins constituent un puits très important pour les microplastiques [7]. En Europe, certains ont été détectés dans la Baltique, la mer du Nord et la Méditerranée. Des chercheurs allemands ont ainsi mesuré 150 particules de microplastique par litre d'eau dans une baie de la mer du Nord [8]. En Belgique, près de 400 microparticules par kilo ont été trouvées dans les sédiments portuaires [9] tandis que les Hollandais en découvraient près de 3300 par kilo dans les sédiments de l'embouchure du Rhin [10].

La situation des milieux d'eau douce est moins bien connue. Des microplastiques ont été observés à la surface des Grands lacs américains et sur leur rives [11, 12]. Des scientifiques ont recensé respectivement 100 et 1100 microparticules par m² sur deux plages du lac de Garde en Italie [13]. Comme dans les Grands lacs, il s'agissait en majorité de polystyrène, de polyéthylène et de polypropylène et en moindre mesure de polyamide et de polychlorure de vinyle. Au lac Léman, des chercheurs de l'EPFL ont également démontré la présence de microplastiques dans l'eau et sur les plages [14]. Dans un premier état des lieux des eaux suisses mené sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement dans le Léman, les lacs de Constance, de Neuchâtel, de Brienz et de Zurich, le lac Majeur et le Rhône, ils ont observé des microparticules dans la plupart des échantillons et en ont recensé en moyenne 91 000 /km² de superficie lacustre et 1300 /m² de plage [15]. Le matériau le plus fréquent était le polyéthylène suivi par le polypropylène et le polystyrène.

On estime que le Rhône transporte chaque jour 10 kg de microplastiques vers la France. Les scientifiques considèrent cependant qu'en Suisse, cette pollution ne représente pas de danger direct pour la santé et l'environnement. Les fleuves dans leur ensemble sont des vecteurs importants de microplastiques et contribuent ainsi à la pollution des mers. Dans le Danube, des chercheurs ont recensé davantage de particules de moins de 5 cm que de larves de poisson - en moyenne sur 2 ans et rapporté à la masse - et ils estiment que le fleuve apporte ainsi chaque jour plus de 4 tonnes de plastique à la mer Noire [16]. Dans la Tamise, des microplastiques ont été observés dans les sédiments à des concentrations atteignant 800 particules/l sur la totalité des 10 sites concernés par une étude. Le nombre de microparticules était corrélé avec la densité de stations d'épuration et de déversoirs d'orage [17].

Origine des microplastiques

La majeure partie du plastique qui pollue les océans est d'origine continentale et s'y déverse soit directement soit à travers les fleuves [18]. A l'échelle planétaire, ces rejets, qui sont principalement dus à une mauvaise gestion des déchets plastiques, devraient être multipliés par dix dans à peine dix ans [19]. Les sources potentielles des microplastiques, principalement secondaires, sont les déchets qui sont jetés dans la nature, perdus accidentellement ou entraînés par le vent ainsi que les décharges d'ordures et certaines activités industrielles. Par exemple, le décapage

sans sable des surfaces métalliques peintes ou le nettoyage des pièces mécaniques au jet d'abrasif, qui font appel à des particules de plastique de taille microscopique, en sont émetteurs. Des microplastiques, surtout primaires, peuvent également être émis par les stations d'épuration. Ceux qui sont contenus dans les cosmétiques ou émis par l'industrie se retrouvent en effet dans les effluents domestiques ou industriels. En Suisse, ils ne constituent cependant qu'une petite partie des microparticules observées dans le cadre de l'état des lieux (moins de 6 % en nombre et moins de 12 % en poids sauf dans le Rhône - jusqu'à 34 %) [15]. Le lavage des vêtements en fibre synthétique est également source de microfibrilles qui sont évacuées vers les stations d'épuration. Grâce à leurs étangs d'oxydation, bassins de boues activées et filtres divers, ces dernières sont en mesure de retenir les macroplastiques et une partie des microparticules mais le restant aboutit dans le milieu naturel.

Les eaux de pluie collectées en zone urbaine ou industrielle peuvent également être une source d'émission de plastique de même que l'agriculture : des films en polyéthylène y sont utilisés pour recouvrir les cultures, le sol ou le fourrage et ils peuvent libérer des microparticules sous l'action de la pluie, du vent et du soleil. Mais une partie du microplastique provient également des activités de loisir et du tourisme, des bateaux de transport, des équipements de pêche abandonnés et des ports, qui produisent des déchets sur les plages et les côtes. Enfin, le plastique peut être directement déversé en milieu marin par le biais d'objets jetés ou perdus par les engins de pêche, les plateformes pétrolières ou gazières ou de déchets jetés à la mer par les plaisanciers. Il peut même arriver que les cargos perdent une partie de leur chargement en mer.

Identification et quantification des microparticules de plastique

Par le passé, différentes méthodes ont été employées pour identifier et quantifier les microplastiques. Ces particules peuvent être de tailles, de couleurs, de densités et de compositions différentes. La plupart des échantillons destinés à l'analyse des sédiments sont prélevés à la limite des vagues sur les plages de sable et la plupart de ceux collectés dans l'eau marine ou lacustre sont prélevés à la surface à l'aide de filets flottants. Par filtration, centrifugation et autres techniques de séparation, les microplastiques contenus dans les échantillons sont répartis en différentes fractions : on distingue ainsi les fragments, les fibres et filaments, les billes et granules et les films fins. Le plus souvent, les particules sont identifiées et triées au microscope selon leur type, leur forme et leur couleur puis dénombrées. Des informations concernant les propriétés physico-chimiques (comme la densité spécifique) complètent l'analyse.

La méthode la plus fiable pour identifier les particules de microplastique et pour déterminer leur composition chimique est la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) ou la spectroscopie Raman [20]. L'IRTF permet de compter beaucoup plus de particules dans un échantillon que le simple microscope : avec ce dernier, il est en effet difficile de faire la distinction entre les particules de plastique et les autres lorsque leur taille est inférieure à 1 mm. Les microplastiques blancs ou transparents ne sont souvent pas identifiés comme tels. L'IRTF demande toutefois beaucoup plus de temps que l'examen microscopique. D'autre part, sa limite de détection se situe aux alentours de 20 µm. C'est là qu'intervient la spectroscopie Raman qui permet de détecter les particules à partir de 1-2 µm de diamètre. Mais il existe très

peu d'instruments qui se prêtent à l'analyse des nanoplastiques dans les échantillons naturels complexes.

Dégradation des microplastiques dans l'environnement

Dans le milieu naturel, les macro et les microplastiques sont dégradés en particules plus petites par le jeu de facteurs biotiques et abiotiques. La dégradation totale est cependant extrêmement longue, de sorte que la plupart des plastiques sont considérés comme persistants. L'action des agents abiotiques est la première étape de ce processus. Elle est très importante puisqu'elle entraîne la perte des propriétés mécaniques des matériaux et une modification profonde de la structure moléculaire. La matrice polymère se disloque, libérant des fragments de différentes tailles et toutes sortes d'additifs.

En conditions naturelles, la photolyse est l'une des principales causes de dégradation. Par la rupture des chaînes polymériques et diverses réactions chimiques, les matériaux deviennent poreux et instables. La photodégradabilité du plastique dépend alors de sa composition. La structure des polymères peut d'autre part être détruite par thermolyse, oxydation, hydrolyse ou par l'action mécanique des forces de cisaillement. La vitesse et le degré de dégradation dépendent fortement des propriétés des polymères : ceux qui comportent des liaisons ester (comme le polyuréthane) peuvent être attaqués par des enzymes, les estérases. En conférant au matériau un caractère plus ou moins hydrophobe, la composition du polymère influe également sur la capacité des microorganismes à se fixer à sa surface et donc à participer à la dégradation. La composition et la complexité de la structure polymérique déterminent donc la biodégradabilité des plastiques. Ceux qui sont composés d'unités courtes et répétitives, qui présentent une grande symétrie et de fortes liaisons hydrogène (le PE, le PP et le PET par ex.) sont moins accessibles aux enzymes et donc plus stables. La minéralisation par les microorganismes ne peut commencer qu'une fois que les molécules sont suffisamment petites, c'est-à-dire lorsque les monomères et oligomères solubles dans l'eau peuvent être libérés.

Impact des microplastiques sur les organismes

Les particules de plastique les plus grosses peuvent être prises pour de la nourriture par les animaux et être absorbées dans leur appareil digestif où elles peuvent causer des blessures, des ulcères et des obstructions ainsi qu'un sentiment erroné de satiété qui peuvent conduire au délabrement physique et à la mort par sous-alimentation. L'impact des microplastiques est moins bien connu. Les petits organismes subissent certainement des dommages similaires à ceux décrits ci-dessus en absorbant les microparticules à la place de leur nourriture habituelle. Des essais de laboratoire ont montré que beaucoup d'organismes aquatiques pouvaient absorber les microplastiques, notamment le zooplancton, les vers aquatiques, les mollusques, les crustacés et les poissons [12, 21]. Dans une étude portant sur 11 cours d'eau français, des microparticules ont été retrouvées dans le contenu stomacal de 12 % des goujons examinés [22]. Dans les moules, le microplastique peut passer du système digestif aux autres tissus adjacents [23]. Il peut par ailleurs affecter la capacité de filtration des bivalves [24] et d'absorption de nourriture des organismes du zooplancton marin [25] et réduire la capacité de reproduction et la survie des copépodes marins [26].

Différents biomarqueurs utilisés pour mettre en évidence l'exposition des poissons aux substances toxiques réa-

gissent positivement aux microplastiques [27]. Dans la plupart des essais, les concentrations de plastique employées étaient toutefois supérieures à celles typiquement rencontrées dans le milieu naturel. Il se trouve cependant que les données sur ces concentrations environnementales sont rares et que l'hétérogénéité des particules et les différences d'échelles employées dans les études rendent les comparaisons difficiles. Néanmoins, un transfert de microplastiques a été observé le long de la chaîne alimentaire du mésozooplancton au macrozooplancton [28] et des mollusques aux crevettes [29]. Très peu d'informations sont disponibles sur les effets en eau douce.

En raison de leur important rapport surface/volume et de leur composition chimique, les microplastiques adsorbent les polluants tels que les métaux lourds et les polluants organiques persistants (POP), ce qui a notamment été démontré pour les polychlorobiphényles (PCB), le DDT et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les microplastiques constituent de ce fait une nouvelle source d'absorption de ces substances chimiques. Lorsque des microparticules de plastique qui ont été au contact de

polluants complexes comme les HAP, les PCB ou les PBDE sont ingérées par les poissons, les toxiques dont elles sont porteuses se transfèrent à ces derniers et s'accumulent dans les tissus en pouvant causer une toxicité hépatique et un stress général [30]. Le plastique renferme par ailleurs des additifs potentiellement dangereux comme le nonylphénol, le bisphénol A et les phtalates, connus pour être des perturbateurs endocriniens, les PBDE (agents de thermorésistance) ou le triclosan (agent antibactérien). Dans des essais de laboratoire, des vers ayant ingéré des microplastiques ont accumulé suffisamment de polluants et d'additifs pour compromettre au moins partiellement leur survie (triclosan), leur prise de nourriture (triclosan et PBDE) et leurs défenses immunitaires [31]. Dans l'étude de l'EPFL, la concentration de microplastiques calculée était cependant beaucoup plus faible que celle de particules en suspension naturelles présentant les mêmes capacités d'adsorption, si bien que l'on peut supposer que le transport de polluants par les microparticules de plastique joue un rôle très secondaire dans les lacs et rivières suisses.

Tableau: Les différents types de polymères et leurs utilisations (tiré de [32])

Type de polymère	Utilisations
Polyéthylène (PE)	Basse densité: bouteilles, jouets, sacs plastiques, sacs poubelle, revêtements, emballages, tubes pour le transport du gaz ou de l'eau Haute densité: jouets, articles de ménage et de cuisine, isolants électriques, sacs plastiques, emballages alimentaires
Polypropylène (PP)	Récipients alimentaires type Tupperware, industrie automobile
Polychlorure de vinyle (PVC)	Bâtiment, transport, emballages, électronique et domaine médical
Polytéréphtalate d'éthylène (PET)	Bouteilles, barquettes pour plats cuisinés allant au four
Polystyrène (PS)	Emballages alimentaires, emballages de repas à emporter, gobelets de distributeurs automatiques, couverts en plastique, boîtes de CD
Polyuréthane (PUR)	Rouleaux d'impression, pneus, semelles de chaussures, pare-chocs, matelas, sièges auto, usages biomédicaux
Polycarbonate (PC)	Bouteilles, récipients, appareils électriques, usages médicaux
Polyméthylpentène (PMP)	Matériel médical, seringues, abat-jour, radars, emballages alimentaires allant au micro-ondes
Polytétrafluoroéthylène (PTFE)	Revêtements antiadhésifs, joints, usages électriques et médicaux, matériel de laboratoire, pièces de pompes
Polysulfure de phénylène (PPS)	Utilisations dans l'électronique, la cuisine et l'automobile, matériel de laboratoire stérilisable
Polyisoprène (NR)	Gants, pneus, bottes, élastiques, gommes, tuyaux, usages médicaux
Polybutadiène (BR)	Pneus, balles de golf, intérieur des tuyaux
Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)	Instruments de musique, bordures de cordon, usages électriques et médicaux, casques, canoës, appareils de cuisine, jouets
Styrène butadiène (SBR)	Pneus, chaussures, bâtiment, enduction du papier
Polyhydroxycanoate (PHA)	Appareils médicaux

Références bibliographiques

- [1] PlasticsEurope (2013) Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2013.aspx?Page=DOCUMENT&FoID=2>
- [2] Thompson, R.C. (2006) Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. In: Krause, J.C., Nordheim, H., Bräger, S. (Eds.), *Marine Nature Conservation in Europe*. Federal Agency for nature Conservation, Stralsund, Germany. Pp. 107-115
- [3] Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S. (2011) Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62: 2588-2597
- [4] Wagner, W., et al. (2014) Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe* 26: 12
- [5] Eriksen, M., Lebreton, L.C., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borrorro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G., Reisser, J. (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, doi: 10.1371/journal.pone.0111913
- [6] Law, K.L., Morét-Ferguson, S.E., Goodwin, D.S., Zettler, E.R., DeForce, E., Kukulka, T., Proskurowski, G. (2014) Distribution of Surface Plastic Debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-Year Data Set. *Environ. Sci. Technol.* 48, 4732-4738
- [7] 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
- [8] Dubaish, F., Liebezeit, G. (2013) Suspended microplastics and black carbon particles in the Jade System, Southern North sea. *Water Air Soil Pollut.* 224, 1352-1360
- [9] Claessens, M., De Meetser, S., Van Landuyt, L., Thopson, R.C., Thiel, M. (2011) Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2199-2204.
- [10] Leslie, H.A., van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D. (2013) Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biota. Amsterdam: Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam.
- [11] Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S. (2013) Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar. Pollut., Bull.* 77, 177-182.
- [12] Zbyszewski, M., Corcoran, P.L., Hockin, A. (2014) Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. *J. Great Lakes Res.* 40, 288-299
- [13] Imhof, H.K., Ileva, N.P., Schmid, J., Niessner, R., Laforsch, C. (2013) Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Curr. Biol.* 23: R867-R868
- [14] Faure F., Corbaz M., Baecher H., de Alencastro L.F. (2012) Pollution due to Plastics and Microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. *Archives des Science* 65, 157-16
- [15] Faure, F., de Alencastro, F. (2014) Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Rapport mandaté par l'Office fédéral de l'environnement.
- [16] Lechner, L., Keckeis, H., Lumesberger-Loislet, 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. *Environmental Pollution* 188, 177-181
- [17] Horton, A.A., Lahive, E., Svendsen, C., Williams, R.J., Read, D.S., Spurgeon, D.J. (2015) Presence and Abundance of Microplastics in the Thames River Basin UK. Poster presented at SETAC Europe 2015 in Barcelona.
- [18] Andrady, A. (2011) Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596-1605.
- [19] Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 468-771
- [20] Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, M., Han, G.M., Rani, M., Lee, J., Shim, W.J. (2015) A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples. *Mar. Pollut. Bull.* 93, 202-209
- [21] 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
- [22] Sanchez, W., Bender, C., 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
- [23] von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., Kohler, A. (2012) Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after experimental exposure. *Environ. Sci. Technol.* 46, 11327-11335
- [24] Wegner, A., Besseling, E., Foekema, E.M., Kamermans, P., Koelmans, A.A. (2012) Effects of nanopolystyrene on the feeding behaviour of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.). *Environ. Toxicol. Chem.* 31, 2490-2497
- [25] Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T.S. (2013) Microplastic ingestion by zooplankton. *Environ. Sci. Technol.* 47, 6646-6655

- [26] Lee, K.W., Shim, W.J., Kwon, O.Y., Kang, J.H. (2013) Size-dependent effects of micro polystyrene particles in the marine copepod *Tigriopus japonicus*. Environ. Sci. Technol. 47, 11278-11283
- [27] Oliveira, M., Ribeiro, A., Hylland, K., Guilhermino, L. (2013) Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). Ecol. Inic. 34, 641-647
- [28] Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Lehtiniemi, M. (2014) Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. Environ. Pollut. 185, 77-83
- [29] Farrell, P., Nelson, K. (2013) Trophic level transfer of microplastics: *Mytilus edulis* (L) to *Carcinus maenas* (L.). Environ. Pollut. 177, 1-3
- [30] Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J. (2013) Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. Sci. Rep. 3, 2363
- [31] Browne, M.A., Niven, S.J., Galloway, T.S. et al. (2013). Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. Current Biology. 23:2388-2392.
- [32] Lambert, S., Sinclair, C., Boxall, A. (2014) Occurrence, degradation, and effect of polymer-based materials in the environment. Rev Environ Contam Toxicol. 227:1-53

Personne à contacter

Dr. Anke Schäfer, téléphone +41 58 765 5436, anke.schaefer@oekotoxzentrum.ch

as, juillet 2015

Oekotoxzentrum | Eawag | Überlandstrasse 133 | Postfach 611 | CH-8600 Dübendorf
T +41 (0)58 765 55 62 | F +41 (0)58 765 58 63 | info@oekotoxzentrum.ch | www.oekotoxzentrum.ch

Centre Ecotox | EPFL-ENAC-IIE-GE | Station 2 | CH-1015 Lausanne
T +41 (0)21 693 62 58 | F +41 (0)21 693 80 35 | info@centreecotox.ch | www.centreecotox.ch