

« Nanoplastiques » et environnement

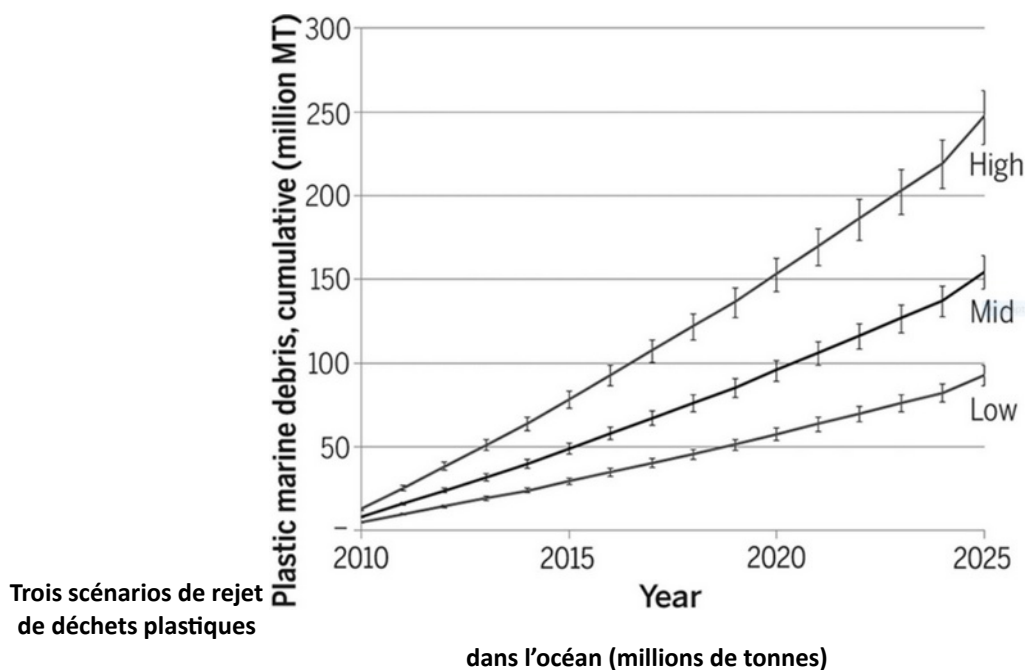
Fabienne LAGARDE , Institut des Molécules et Matériaux du Mans

fabienne.lagarde@univ-lemans.fr

Mon laboratoire effectue la synthèse de nouveaux matériaux, en particulier de polymères. J'essaie de comprendre ce que deviennent certains de ces polymères dans l'environnement, notamment en coordonnant le projet ANR *Nanoplastics*¹.

Les plastiques sont des matériaux intéressants aux nombreuses propriétés et applications qui expliquent leur production de masse. Depuis 1950, 8 300 millions de tonnes (MT) de plastiques ont été produites, mais seulement 600 MT ont été recyclées. Si l'on enlève le stock utilisé (2 600 MT), tout le reste est parti en décharge ou dans l'environnement (4 900 MT) ou a été incinéré (800 MT).

La production des plastiques est en augmentation constante, et s'est accélérée depuis les années 1990. Malgré les efforts de collecte des déchets, les rejets dans l'environnement vont donc se poursuivre. En 2010, on estimait à environ 30 à 40 MT par an la quantité de plastiques rejetés dans l'environnement sur une production annuelle de 265 MT. Les projections pour 2025, même dans le scénario le plus optimiste, envisagent le rejet de 100 MT par an. En France par exemple, sur 4 MT de déchets plastiques/an seulement 900 000 T sont collectées. Globalement, ce sont environ 32 % des plastiques produits qui finissent chaque année dans l'environnement. Une partie de ces plastiques reste à la surface des océans et se dégrade sous forme de microplastiques, fragments de taille inférieure à 5 mm . On distingue les microplastiques primaires, fabriqués à cette taille, et secondaires, issus de la fragmentation de plastiques de plus grande taille. Une part non quantifiée est sous forme de **nanoplastiques, définis pour l'heure comme les fragments de plastiques dont la taille va de 1 à 1 000 nanomètres** (ou 1 micromètre, et non 100 nm ou 0,1 µm comme pour les nanomatériaux).



Source : J.R. Jambeck *et al.*, Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 2015; 347:768-771.

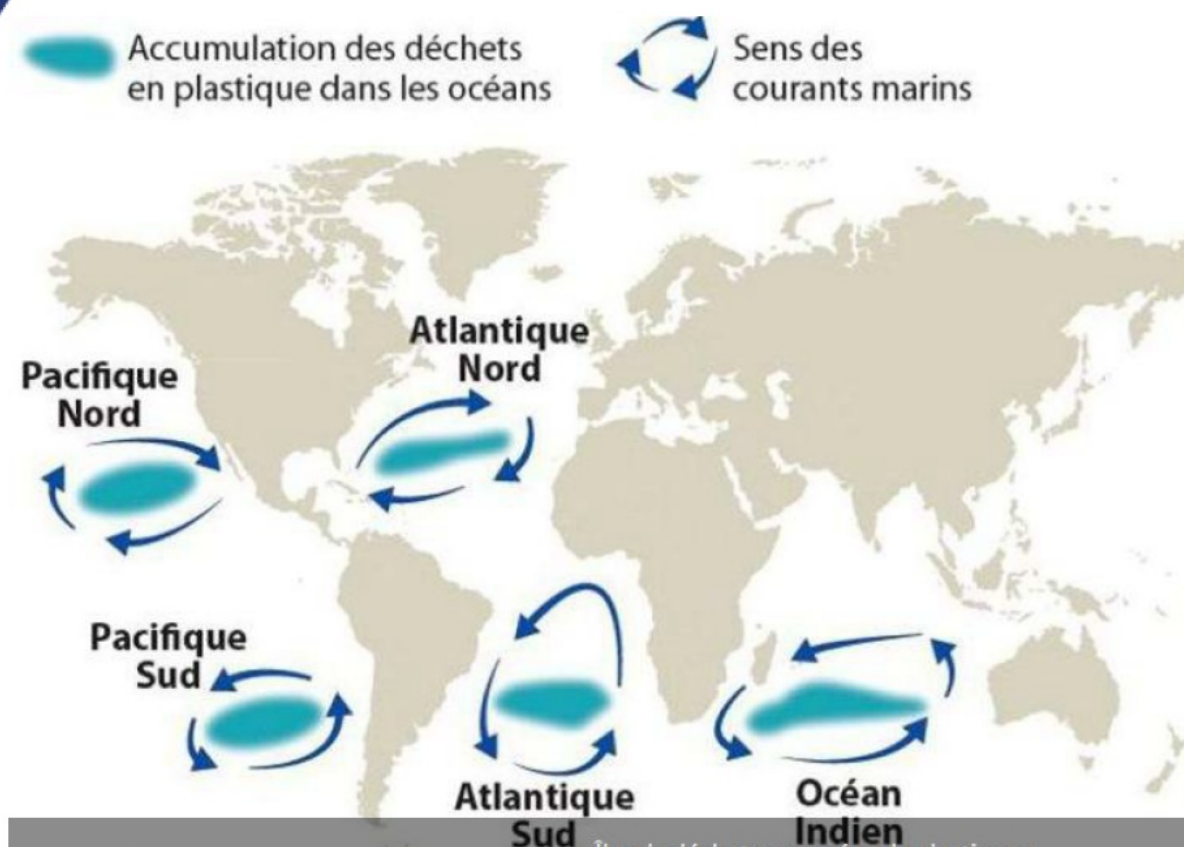
1 <http://immm.univ-lemans.fr/fr/thematiques/polymeres/projets-polymeres/nanoplastics.html>

Où vont les déchets plastiques ?

La plus grande partie des déchets plastiques aboutit dans les océans via les rivières et les fleuves. Les régions asiatiques sont les sources les plus abondantes. Mais on trouve aussi des microplastiques dans les sols et dans l'air. Dans les océans, une partie des microplastiques s'accumulent à la surface de l'eau dans ce que l'on appelle les gyres, des courants circulaires (du fait de la rotation de la Terre) qui accumulent les déchets au centre des océans. Le plus connu est le gyre du pacifique nord, ou « septième continent », dont 80 à 100 % des déchets sont constitués de plastiques. Mais chaque océan a son gyre de déchets. En réalité, les déchets de surface sont ceux qui sont moins denses que l'eau (comme le polyéthylène, PE) et ne représentent qu'une faible part en masse des déchets plastiques, soit 100 000 à 200 000 tonnes. La plus grande part (+ de 90 %) se trouve sur les fonds océaniques car formée de plastiques plus denses que l'eau, comme le PVC (polychlorure de vinyle) ou le PET (polyéthylène téréphtalate, bouteilles).



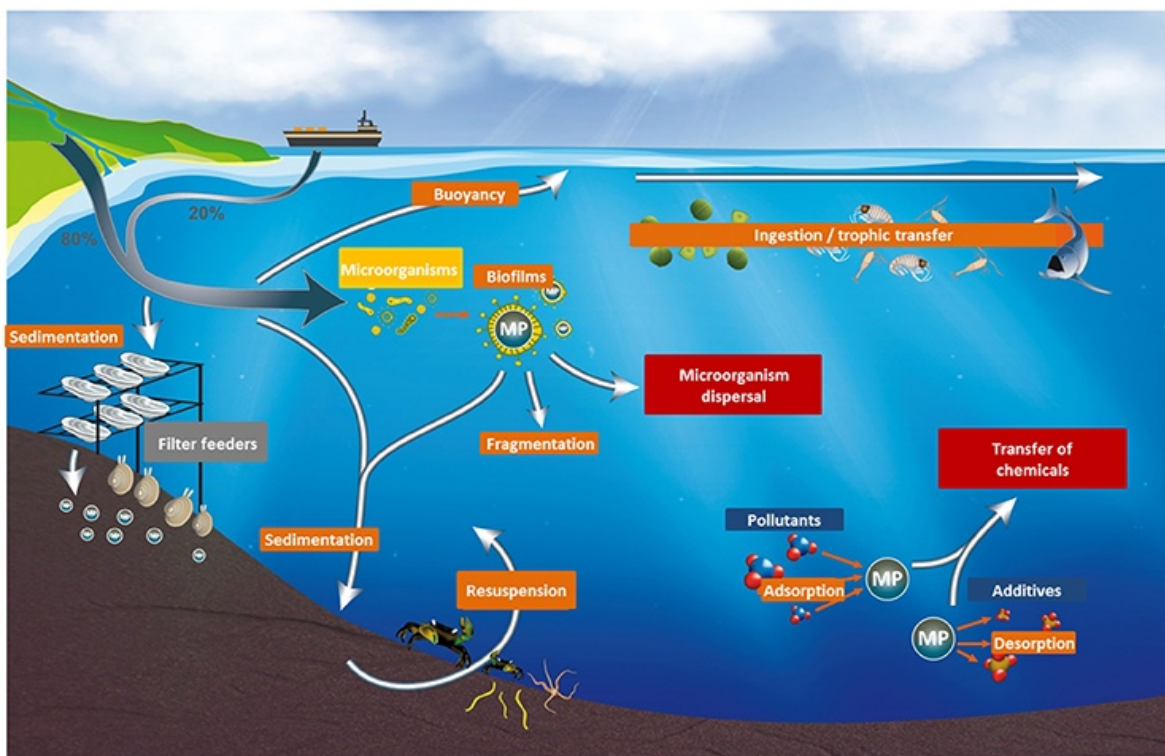
Accumulation à la surface des océans



Les 5 gyres et leurs « continents plastiques »

Que deviennent les microplastiques dans l'environnement ?

Les travaux des cinq dernières années ont permis de mieux comprendre le cycle aquatique des microplastiques. Leur pouvoir de dissémination est très important, et on les retrouve dans tous les compartiments aquatiques, y compris dans les organismes vivants et les sédiments. Ils jouent le rôle d'éponges en adsorbant à leur surface d'autres polluants et des microorganismes.



Source : I. Paul-Pont *et al.* Constraints and Priorities for Conducting Experimental Exposures of Marine Organisms to Microplastics, *Frontiers in Marine Science* 2018, 5, art. 252².

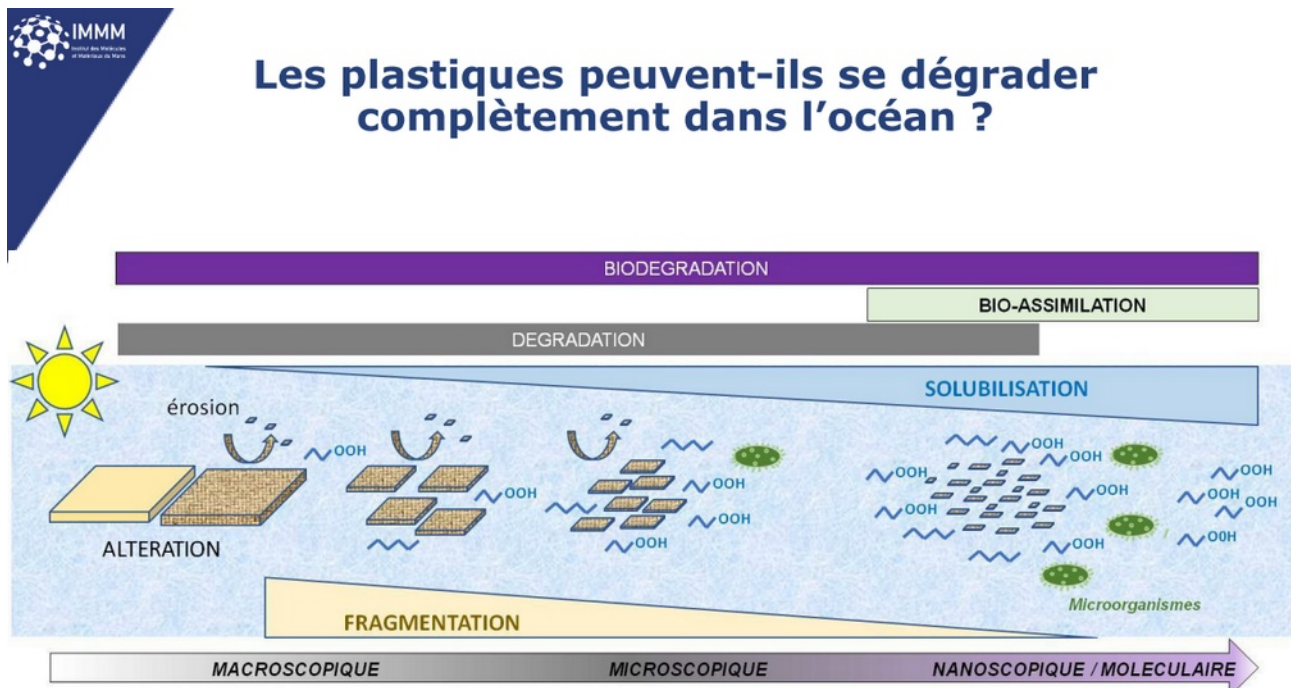
Nous avons travaillé plus spécifiquement sur **la durée de vie des microplastiques**, c'est-à-dire sur leur formation et leur dégradation. Peuvent-ils disparaître au bout du compte ?

Les plastiques ont une grande résistance mais ils sont fragilisés dans la mer du fait des ultraviolets. Le processus de photodégradation les fragmente en particules de plus en plus petites, potentiellement jusqu'aux nanoplastiques. Mais ces derniers sont mal connus. Alors que les microplastiques ont fait l'objet de centaines d'articles scientifiques, on ne compte qu'une dizaine d'articles traitant des nanoplastiques dont seulement trois de leur quantification. Dans notre laboratoire, nous utilisons plusieurs techniques d'analyse dont la spectroscopie vibrationnelle, pour identifier les microplastiques jusqu'à 20 micromètres, et la spectrométrie Raman jusqu'à 1 micromètre (1 000 nanomètres), soit le début de la fenêtre des nanoplastiques. Pour étudier ces derniers, nous collaborons avec une équipe italienne spécialiste des « pinces optiques », des dispositifs de manipulation de particules à base de faisceaux laser. Cependant, nous sommes encore très loin de l'analyse de routine et de la quantification des nanoplastiques dans l'environnement et les organismes marins, alors qu'on commence à bien le faire pour les microplastiques.

Jusqu'où va la fragmentation des microplastiques ?

Nous savons que des nanoplastiques se retrouvent dans l'environnement : d'une part parce qu'il n'y a pas de raison que la fragmentation de la matière s'interrompe pour des morceaux plus petits qu'un micromètre ; d'autre part parce l'industrie en produit pour diverses applications, à l'exemple

des nano-polystyrènes. La question se pose alors de savoir si la fragmentation se déroule de façon linéaire quelle que soit la taille des fragments ?



Dans des essais de photodégradation sur des polymères modèles comme le polyéthylène (PE) et le polypropylène (PP), nous avons montré que le comportement des polymères diffère nettement. Le PE se dégrade en fragments plus gros dans l'eau qu'à sec et le nombre de fragments obtenus au bout d'un temps donné diffère du cas du polypropylène. La morphologie du plastique influe sur sa dégradation. De plus, dans les deux cas, la fragmentation est rapide au départ mais diminue à partir d'une certaine taille. Cela revient à dire que la durée de vie des petits fragments serait plus longue et que le transfert de masse des microplastiques vers les nanoplastiques ne se ferait pas de façon linéaire. Une piste à vérifier...

Quels sont les impacts des microplastiques et nanoplastiques dans l'environnement ?

Dans les écosystèmes, les fragments de plastiques forment des radeaux pour une gamme d'organismes qui s'y fixent, et voyagent ainsi plus rapidement d'un continent à un autre. L'ingestion par les organismes est quasi systématique quels qu'ils soient, les plus petits ingérant les fragments de plus petite taille. Comme ils sont à la base de la chaîne alimentaire, le risque est que les nanoplastiques s'y retrouvent³.

Biologiquement, les microplastiques et nanoplastiques peuvent impacter la nutrition, la reproduction, la digestion des organismes aquatiques. Les nanoplastiques pourraient traverser certaines membranes cellulaires et passer dans les cellules. Des nanoplastiques (de tailles calibrées) avaient un effet néfaste sur les stades de vie libres de l'huître, notamment les gamètes et les embryons⁴.

3 Y. Chae *et al.*, Trophic transfer and individual impact of nano-sized polystyrene in a four-species freshwater food chain. *Scientific Reports* 2018, 8:284.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5762726/>

4 K. Tallec *et al.*, Nanoplastics impaired oyster free living stages, gametes and embryos. *Environmental Pollution* 2018, 242:1226-1235.

https://www.researchgate.net/publication/326956477_Nanoplastics_impaired_oyster_free_living_stages_gamete

Conclusion

Il reste encore de grandes inconnues sur le devenir ultime des plastiques dans l'environnement aquatique. Il y a un réel besoin de **mieux définir** les micro et les nanoplastiques et de **mieux connaître leurs comportements dans l'environnement**. C'est à quoi s'emploie entre autres le **groupe de recherche Polymères et océans**, qui rassemble en France une cinquantaine de laboratoires, plus de 200 chercheurs, ainsi que des industriels et des ONG.

Discussion

Fabrice Nauleau, directeur technique de Saur

Tous les opérateurs de l'épuration de l'eau sont très concernés par les microplastiques et nanoplastiques puisqu'ils produisent de l'eau potable, qui une fois utilisée se retrouve dans les réseaux d'assainissement. Les microplastiques sont partout, par exemple dans les eaux de lavage de machine à laver, dans les réseaux et les stations d'épuration. Celles-ci les éliminent plutôt bien, à 95 %. En revanche les microplastiques aboutissent dans les boues d'épuration, un produit inéluctable de l'épuration. Un habitant en produit 50 grammes de matière sèche par jour. Or ces boues sont utilisées à 70-80 % dans l'agriculture, comme fertilisant. L'opération est très encadrée, avec des analyses régulières de boues et de sols, afin de ne pas dépasser les seuils d'azote et de phosphore, de certains microorganismes, et de métaux lourds.

Cependant, le nouveau problème des microplastiques et nanoplastiques complique singulièrement la gestion des boues d'épuration. Faut-il alors arrêter de les utiliser comme fertilisants ? Quelle est l'alternative ? Les brûler ? Les boues sont composées à 80 % d'eau ; il faudrait les sécher auparavant, en consommant beaucoup d'énergie.

Un autre problème est la gestion des eaux pluviales et de voiries qui entraînent dans les milieux quantité de résidus plastiques provenant de la circulation automobile notamment. Il est indispensable d'étudier cette question pour trouver les meilleures parades, par exemple des dispositifs de filtration des eaux de ruissellement.

Fabienne Lagarde

Les boues d'épuration représentent un vrai problème auquel il faut répondre. On n'en est qu'au début, il est difficile de dégager des solutions claires. La réponse de fond consiste probablement à diminuer la source des déchets plastiques et donc à limiter l'utilisation et la production des objets plastiques superflus ou à usages courts non essentiels. De plus, comme les plastiques ont des comportements de dégradation différents dans l'environnement, il faut accentuer les recherches pour en tenir compte dans la conception des produits intégrant des polymères afin de limiter, voire d'empêcher leur transformation en nanoplastiques.

Compléments bibliographiques

GDR Polymères et océans

<https://po2019.sciencesconf.org/resource/page/id/6>

Voir aussi les résumés des premières journées du GDR Polymères et Océans 24 – 26 juin 2019

https://po2019.sciencesconf.org/data/pages/book_po2019_fr.pdf

et les présentations du colloque « Plastiques dans l'environnement » (Champs-sur-Marne, 27-28 juin 2019)

<https://enviroplast2019.sciencesconf.org/resource/page/id/9>

NanoPlastics, Le Mans Université

<http://nanoplastics.univ-lemans.fr/fr/index.html>

Expédition 7^e continent

<http://www.septiemecontinent.com/>

PA. Stapleton, Toxicological considerations of nano-sized plastics. *AIMS Environ Sci.* 2019;6(5):367-378.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6863350/>

O. Hollóczki & S. Gehrke, Can Nanoplastics Alter Cell Membranes? *Chemphyschem.* 2020 Jan 3;21(1):9-12.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6973106/>