

EFFETS SUR LA SANTÉ MARINE DES MICROPLASTIQUES PRÉSENTS DANS NOS OCÉANS

Subhankar Chatterjee
Professeur assistant, Université centrale d'Himachal Pradesh

Shivika Sharma
Postdoctorante, Université centrale d'Himachal Pradesh



Le Dr. Subhankar Chatterjee, Professeur assistant, et le Dr. Shivika Sharma, Postdoctorante, travaillent à l'Université centrale d'Himachal Pradesh (Kangra, Himachal Pradesh, en Inde). Leurs travaux relèvent du Groupe de recherche de bioremédiation et de métabolomique du Département de Sciences environnementales et du Département de chimie.

MOTS CLÉS

- MICROPLASTIQUES
- MICROBILLES
- BIOTE MARIN
- SANTÉ MARINE

Si le XX^e siècle est considéré comme l'âge d'or de l'industrie du plastique, qui a entraîné une production excessive d'objets en plastique, du seau jusqu'à la voiture, alors c'est au XXI^e siècle de payer la facture. En raison d'une gestion déraisonnée, d'un manque d'informations sur les effets négatifs et d'une utilisation irresponsable aboutissant à des rejets dans la nature, notre planète est devenue la « planète du plastique ». Ce matériau n'apparaît pas uniquement sous forme de déchets solides, mais aussi de microplastiques, qui constituent aujourd'hui une menace majeure pour la santé humaine et animale. Le plastique pollue non seulement nos routes, nos forêts, nos montagnes, mais aussi nos océans. Les populations humaines, ignorantes du problème, ont toujours jeté les déchets plastiques dans les cours d'eau, suivant la logique bien connue : « si je ne le vois plus, ce n'est plus mon problème ». Or, la présence des microplastiques dans l'écosystème marin est une source de grande inquiétude aujourd'hui.

Dans cet article, nous étudions les différentes sources de microplastiques dans les océans et leurs impacts nocifs sur les organismes marins. En raison de leur dimension microscopique, ces fragments de plastique peuvent être ingérés par un ensemble d'organismes marins, ce qui a des effets néfastes sur leur santé. En outre, la capacité de ces microplastiques à absorber divers polluants hydrophobes nocifs provenant du milieu environnant fait entrer des agents polluants directement dans la chaîne alimentaire. Il est donc nécessaire de mettre en place des politiques et des réglementations pour lutter contre le grave problème de la pollution de l'écosystème marin par les microplastiques. Enfin, pour diminuer cette menace, il est urgent d'arrêter la production du plastique et de le remplacer par des matériaux plus respectueux de l'environnement.

INTRODUCTION

La fabrication et l'utilisation du plastique ont augmenté de façon spectaculaire en raison de son faible coût. Nous constatons aujourd'hui une augmentation de la présence de ces polymères plastiques synthétiques (traités) non recyclés dans l'écosystème terrestre et aquatique¹. Les petits fragments de plastiques jetés dans l'habitat marin ayant des dimensions ≤ 5 mm sont définis comme des microplastiques². Ces petits morceaux de plastique peuvent être ingérés par différents biotes marins tels que les coraux, le plancton, les invertébrés marins, les poissons et les baleines et remontent ainsi la chaîne alimentaire³. Ces polymères plastiques constituent une menace directe pour les organismes marins et affectent aussi indirectement l'écosystème en absorbant d'autres polluants marins. En raison de leur ratio surface/volume élevé, les microplastiques absorbent les polluants hydrophobiques présents dans le système aquatique. Ainsi, la pollution par les microplastiques devient une source d'inquiétude en raison des effets nocifs sur la santé et le biote marins.

LES MICROPLASTIQUES

Les plastiques sont des polymères synthétiques souples ou malléables (flexibles) par nature, qui peuvent adopter différentes formes. Le plastique est constitué d'une longue chaîne de polymères composés de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, de silicium et de chlorure provenant du gaz naturel, du pétrole et du charbon⁴. Les principaux plastiques synthétiques sont le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS), le polyéthylène téréphtalate (PET), le chlorure de polyvinyle (PVC), le polyéthylène basse densité (LDPE) et le polyéthylène haute densité (HDPE). Ils constituent 90 % de la production mondiale de plastique⁵. En raison de ses propriétés (flexibilité, durabilité, coût, facilité d'utilisation, légèreté et résistance à la corrosion), le plastique est un composant très utilisé. Comme il isole également de la chaleur et de l'électricité à un niveau élevé, il a également de nombreuses applications industrielles et commerciales⁶. La production de plastique a suivi une courbe exponentielle, passant de 1,5 à 322 millions de tonnes entre 1950 et 2015⁷. Ce sont justement les propriétés du plastique, sa durabilité et sa résistance à la corrosion, qui compliquent les choses quand il faut s'en débarrasser. Des années sont nécessaires pour que des morceaux de plastique se décomposent en petits fragments⁸, avec des dimensions variables qui se mesurent en mètres ou en micromètres, sous l'effet du changement des conditions environnementales. Les fragments dont les dimensions sont inférieures à 5 mm sont connus sous le nom de microplastiques⁹ et ont une persistance

élevée dans l'écosystème. Ils se différencient par leur forme, leur dimension et leur composition chimique.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE MICROPLASTIQUES

En fonction de leur origine, on peut classer les microplastiques dans deux catégories : microplastiques primaires ou secondaires¹⁰. Les microplastiques primaires sont des polymères synthétiques microscopiques utilisés comme exfoliants dans divers procédés : formulations chimiques, produits de sablage, entretien de divers produits plastiques et fabrication de vêtements synthétiques. Les microbilles sont un autre type de plastique primaire (dimension < 2 mm). Il s'agit de billes de polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polystyrène (PS) utilisées dans les produits cosmétiques et de soin. Les microplastiques secondaires sont le produit fragmenté des macro ou mésoplastiques, principalement sous l'effet de divers processus environnementaux : biodégradation, photodégradation, dégradation thermo-oxydative, dégradation thermique et hydrolyse³ (cf. schéma 1). D'autres nanoplastiques sont des fragments de plastique de dimension < 1 µm. Tous ces microplastiques et nanoplastiques peuvent avoir des implications dans la bioamplification et la bioaccumulation de divers produits chimiques et polluants en raison de leur rapport surface/volume élevé¹¹.

Diagramme présentant les différents types de plastiques et leurs effets sur les organismes marins

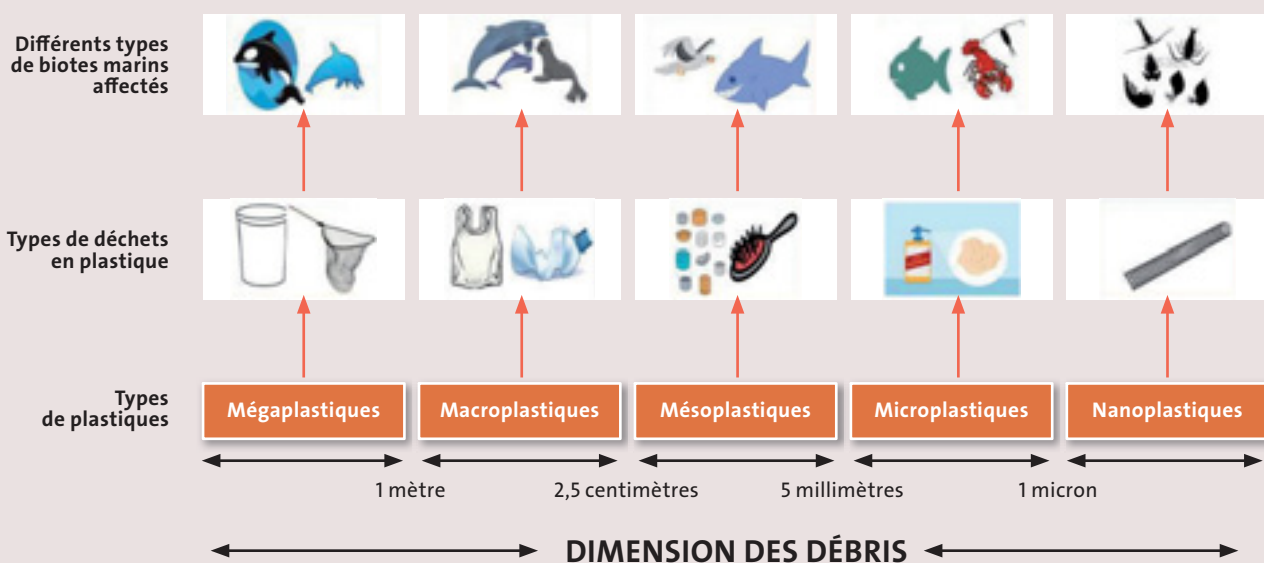


Schéma 1



LES ORIGINES DES MICROPLASTIQUES

La présence de ces fragments de plastique dangereux dans l'écosystème (terrestre et aquatique) est due à différentes activités anthropiques, c'est-à-dire les activités domestiques, industrielles et côtières. L'introduction des microplastiques dans l'écosystème aquatique s'explique principalement par l'écoulement des eaux usées domestiques, qui contiennent des microbilles et des fragments microplastiques (utilisés dans les produits cosmétiques et autres produits de consommation), et par la fragmentation des gros déchets plastiques¹². L'industrie fabrique le plastique à partir de pastilles et de poudres de résine produites par sablage à air¹³ qui finissent par contaminer le milieu aquatique. Les activités côtières, qui comprennent les différentes formes de pêches, les activités du tourisme nautique et les industries marines polluent également l'écosystème marin par les microplastiques.

Une fois entrés dans l'habitat marin, les microplastiques sont exposés à différents processus physico-chimiques comme l'encrassement biologique, le lessivage ou l'incorporation de polluants secondaires. Les microplastiques ont des formes, des tailles et des densités différentes. En fonction de leurs caractéristiques, les fragments se répartissent dans différents compartiments de l'écosystème marin (pour finalement se fixer au benthos), à disposition du biote marin³. Le biote marin pélagique, composé de planctons et de crustacés, est exposé à des microplastiques de faible densité, tandis que les organismes benthiques comme les vers polychètes et tubifex, les amphipodes et les mollusques sont exposés à des microplastiques¹⁴ de densité élevée. Le taux de sédimentation des microplastiques tout au long de la colonne d'eau varie en fonction de différents facteurs tels que le type de polymère,

l'encrassement biologique et la chimie de la surface des particules¹⁵. Dans la plupart des études, des microplastiques ont été détectés dans des milieux benthiques et des sédiments. L'environnement benthique est l'un des écosystèmes d'alimentation les plus importants pour un ensemble de biotes marins. Des études récentes révèlent que le biote benthique marin ingère des microplastiques présents dans la mer sous la forme de microbilles et de microfibrilles¹⁶.

L'EFFET DES MICROPLASTIQUES SUR LA SANTÉ DU BIOTE MARIN

Ces minuscules fragments de plastique sont persistants dans l'écosystème marin et, en raison de leur taille micrométrique, sont confondus avec de la nourriture et ingérés par le biote marin qui comprend les coraux, les phytoplanctons, les zooplanctons, les oursins, les homards, les poissons etc. Ces substances passent alors au niveau trophique suivant. L'impact des microplastiques sur le biote marin est inquiétant car il entraîne des entraves et étouffements, qui peuvent être mortels pour la vie marine. Comme les fragments microplastiques proviennent principalement de sources terrestres, les écosystèmes côtiers (qui comprennent des récifs coralliens) sont particulièrement menacés par cette pollution. Les coraux survivent en association symbiotique avec les algues unicellulaires présentes dans les tissus de la cavité corallienne. L'association algale est une source d'énergie, via le processus de photosynthèse. Les coraux obtiennent également de l'énergie en se nourrissant de plancton pour acquérir des nutriments importants, essentiels à leur croissance, à leur développement et à leur reproduction³. Le mécanisme complet comprend l'ingestion, la rétention de fragments plastiques et l'évacuation¹⁷. Les effets nocifs des microplastiques sur les coraux sont dus à la rétention de fragments de plastique dans les tissus mésentériques, qui entraînent une diminution de la capacité à s'alimenter et une baisse des réserves d'énergie¹⁸.

Les microplastiques nuisent également aux planctons, qui sont la composante essentielle de l'habitat marin.

Par ailleurs, les biofilms microbiens associés aux microplastiques peuvent aussi avoir des effets négatifs sur le récif corallien en accélérant la transmission des agents pathogènes¹⁹. C'est sur la Grande barrière de corail d'Australie qu'a été signalée pour la première fois la présence de microplastiques dans des coraux scléactiniaires. Les expériences réalisées montrent que les coraux exposés aux microplastiques consomment ces minuscules fragments à un rythme d'environ 50 µg de plastique cm⁻² h⁻¹. Ces fragments de plastique ingérés, détectés dans le tissu mésentérique de la cavité intestinale du corail, ont des effets négatifs sur la santé du corail²⁰.

Les microplastiques nuisent également aux planctons, qui sont la composante essentielle de l'habitat marin. La pénétration des microplastiques le long de la paroi cellulaire des phytoplanctons entraîne une diminution de l'absorption de chlorophylle²¹. Par ailleurs, le plancton hétérotrophe exposé aux microplastiques subit également le processus de phagocytose et retient ces minuscules fragments de plastique dans ses tissus²². Le zooplancton joue un rôle essentiel dans l'écosystème marin, car ces microorganismes sont des



consommateurs primaires de la chaîne alimentaire aquatique. Les zooplanctons ont des mécanismes d'alimentation variés et utilisent des récepteurs chimiques et mécaniques pour la sélection des proies²³. L'omniprésence des microplastiques dans l'habitat marin entraîne une interaction des microplastiques avec ces zooplanctons, car les deux sont de même dimension ($> 333 \mu\text{m}$). Des études expérimentales ont révélé que le zooplancton ingérait des billes de latex quand il était exposé aux microplastiques²⁵. Une autre étude a révélé que le zooplancton (qui appartient à la classe des invertébrés marins) avait tendance à ingérer des billes de polystyrène de 1,7 à 30,6 μm . Il a été aussi constaté que quand le *Centropages typicus*, un copépode bien connu, ingérait des microplastiques (de 7,3 μm), il perdait sa capacité à se nourrir, avec des effets négatifs sur sa santé²⁴. Les effets des microplastiques sur *Gammarus fossarum* ont tendance à augmenter la croissance de son organisme quand il est exposé au polyméthacrylate de méthyle (PMMA) et au polyhydroxybutyrate (PHB)²⁶. En revanche, l'ingestion de microplastiques de polyéthylène (PE) par les organismes benthiques *Hyalella azteca* a tendance à entraîner un ralentissement de la croissance et du processus de reproduction²⁷. L'absorption de microplastiques par l'*Arenicola marina* entraîne une réduction de la capacité à s'alimenter, qui débouche sur une perte de poids²⁸.

Certaines caractéristiques des microplastiques, comme leur dimension microscopique, leurs couleurs attrayantes et leur grande flottabilité les rendent facilement accessibles aux poissons, qui les ingèrent en les prenant pour des planctons ou d'autres proies naturelles. Une étude a révélé la présence dans la cavité intestinale des *Acanthochromis polyacanthus*,

des poisons planctonivores, de microplastiques de dimension $< 300 \mu\text{m}$ ²⁹. L'une de ces expériences montrait que l'ingestion de microplastiques par le poisson entraînait des modifications histopathologiques de l'intestin, causant le détachement de l'épithélium de la lamina propria et provoquant son élargissement, ainsi que la réduction et le gonflement des villosités, l'augmentation du nombre de cellules globulaires et certaines altérations de la structure normale de la membrane séreuse des poissons³⁰. Les effets du polystyrène sur la perche commune (*Perca fluviatilis*) ont été étudiés en exposant des œufs et des alevins de perche à divers niveaux de concentration de microplastiques trouvés sur la côte suédoise, à savoir 10 000 particules par m^3 et 80 000 particules par m^3 . Il a été constaté que les œufs exposés à de fortes concentrations de microplastiques avaient un taux d'éclosion plus lent que les œufs témoins. De plus, les alevins exposés aux microplastiques étaient plus petits et plus lents que les autres. La capacité de réaction à l'alarme chimique (présence d'un prédateur) des alevins de perche exposés aux microplastiques se révèle très faible, ce qui a un effet négatif sur le taux de survie des poissons. D'autres études ont montré que l'ingestion de microplastiques par les poissons provoquait des altérations métaboliques induisant une hausse ou une baisse des acides gras et des acides aminés respectivement³¹. L'ingestion de micro et de nanoplastiques entraîne des altérations du taux de triglycérides et de cholestérol dans le niveau de sérum sanguin des poissons et cause également des variations dans le transfert de cholestérol entre leurs muscles et leur foie³².

Les effets nocifs de l'ingestion de microplastiques sont un problème particulièrement préoccupant, surtout chez les



oiseaux marins, car la moitié de ces espèces est menacée et que la toxicité des fragments de plastique peut affecter leur organisme, ce qui peut altérer leur alimentation, leur reproduction et faire augmenter leur taux de mortalité³³. Les résultats des recherches font apparaître que la région stomacale de six espèces d'oiseaux marins (*Phalacrocorax bougainvillii*, *Pelecanoides garnotii*, *Pelecanoides urinatrix*, *Pelecanus thagus*, *Spheniscus humboldti* et *Larus dominicanus*) contient des fragments de plastique. Le taux le plus important a été relevé chez le *Larus dominicanus*, qui se nourrit généralement sur les filets de pêche, les dispositifs d'élimination des déchets et les conteneurs en plastique³⁴. L'ingestion de débris plastiques par ces espèces dépend largement de certains facteurs tels que la taille, le poids et l'habitat des oiseaux marins. Par exemple, les espèces d'oiseaux marins telles que les pingouins *Spheniscus* et les albatros *Thalassarche*, de petite taille, affichent des taux d'ingestion inférieurs à ceux des gros oiseaux marins. Les espèces tels que les fulmars *Fulmarus*, les macareux *Cyclorhynchus*, les *Oceanodroma*, les prions *Pachyptila* et les *Pelagodroma* affichent un taux d'ingestion de débris plastiques plus élevé en raison de leur taille et de leur poids plus importants³³.

Les créatures les plus imposantes du biote marin, dont les requins, les baleines, les phoques, les tortues marines et les ours polaires, sont également vulnérables à l'ingestion des microplastiques dans les océans du monde entier. La présence de microplastiques a été détectée dans

l'estomac et l'intestin du phoque commun, *Phoca vitulina*³⁵. Cette classe de mammifères marins est filtrante et ingère donc des quantités importantes de microplastiques, soit directement (en avalant de l'eau de mer), soit indirectement (en consommant des proies dont le corps contient des microplastiques). La présence des microplastiques dans l'estomac des requins de la Mer de Cortez et des baleines de la Méditerranée a prouvé que la plupart des déchets plastiques jetés dans le monde finissent par se retrouver dans la mer³⁶ et constitue une grande menace pour les animaux marins. Une étude a révélé une concentration élevée de phtalates chez le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), ce qui témoigne de la gravité de la pollution des océans du monde par les microplastiques³⁷.

MESURES DE CONTRÔLE

La quantité de déchets plastiques entrant dans les gyres océaniques a été estimée entre 4,8 et 12,7 millions de tonnes. Avec l'utilisation accrue des produits en plastique, le volume

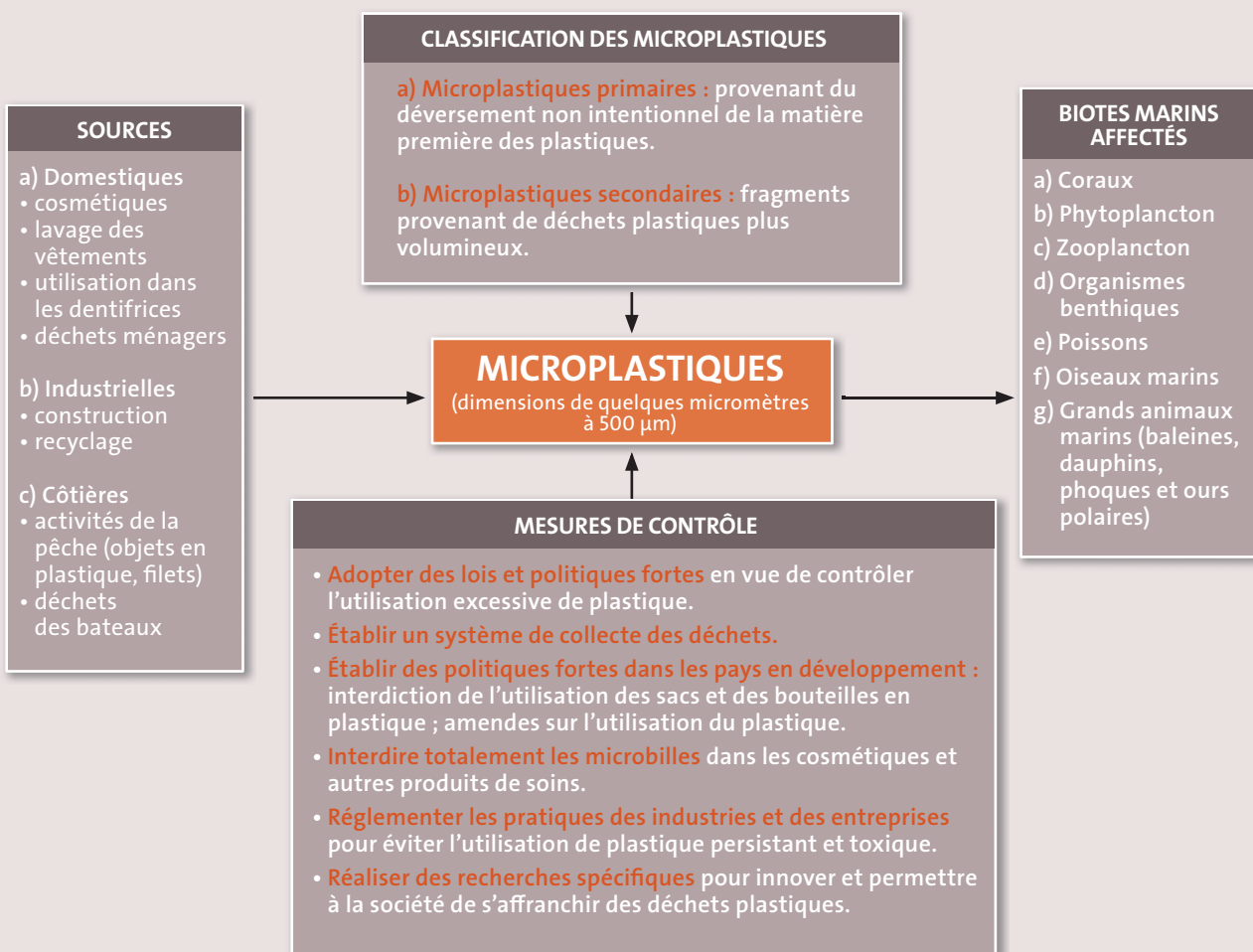
total de déchets plastiques présents dans les écosystèmes marins devrait augmenter substantiellement d'ici à 2025³⁸. Cette question cruciale a été abordée à l'occasion de la 16^e réunion mondiale des conventions et plans d'action pour les mers régionales, qui visait à informer les nations du monde entier sur la menace que représente la pollution par le plastique pour l'habitat marin. Les dégâts financiers pour les écosystèmes marins ont alors

Les créatures les plus imposantes du biote marin, dont les requins, les baleines, les phoques, les tortues marines et les ours polaires, sont également vulnérables à l'ingestion des microplastiques dans les océans du monde entier.

été estimés à quelque 13 milliards de dollars par an³⁹. Au vu des constatations récentes sur la pollution océanique par des déchets plastiques, il est capital de lancer des travaux de recherche spécifiques en vue de limiter cette pollution et de contribuer au nettoyage de plusieurs masses d'eau à l'échelle mondiale. Les États doivent prendre des mesures novatrices afin de sensibiliser la société aux effets néfastes des débris plastiques sur les écosystèmes marins. Il est indispensable d'adopter des mesures législatives et politiques fortes permettant de limiter l'utilisation excessive des objets en plastique, sans quoi la santé des écosystèmes marins continuera à se dégrader au cours des années à venir³. Il convient de mettre en place un système fiable pour la collecte des déchets, afin de mieux contrôler ceux qui contiennent du plastique. Des processus de gestion, de recyclage et d'élimination respectueux de l'environnement pourraient contribuer à limiter la pollution par le plastique. Un certain nombre de politiques ont été formulées dans les pays en développement pour lutter contre

l'utilisation du plastique et de ses produits, comme l'interdiction totale des sacs et des bouteilles en plastique ou la mise en place d'amendes sur l'utilisation du plastique⁴⁰. Malheureusement, les biens de grande consommation sont encore vendus dans des emballages en plastique. En outre, il serait nécessaire de tendre vers une interdiction totale des microbilles dans les cosmétiques et dans les autres produits de soin tels que les dentifrices, les nettoyants pour le visage et les shampoings. Les systèmes de gestion des déchets tels que la REP (responsabilité élargie du producteur), qui encouragent le recours à des matériaux d'emballage alternatifs pour l'alimentation et les boissons, doivent être généralisés. Les organisations gouvernementales et non-gouvernementales doivent organiser des campagnes de sensibilisation de l'opinion publique aux effets néfastes et chroniques de la pollution par les microplastiques. Enfin, il convient d'encourager les innovations scientifiques permettant de produire des matériaux respectueux de l'environnement plutôt que des matériaux plastiques (cf. schéma 2).

Vue d'ensemble des sources et des effets néfastes des microplastiques sur le biote marin et mesures de contrôle possibles



CONCLUSION

Le problème de la pollution des écosystèmes marins par le plastique constitue aujourd'hui un sujet d'inquiétude majeur en raison de ses effets néfastes sur le biote marin. Les microplastiques sont ingérés par un ensemble d'organismes marins tels que les coraux, le plancton, les poissons, les oiseaux marins et les mammifères marins, avant de se diffuser via la chaîne alimentaire. En raison de leur taille microscopique, leur potentiel de bioaccumulation est très élevé. En outre, les polymères plastiques contiennent différents additifs chimiques et stabilisants qui absorbent les substances polluantes et toxiques situées dans l'environnement immédiat. Ces polluants nocifs se déposent sur les microplastiques, qui deviennent ainsi des vecteurs. Longtemps ignoré, le problème des microplastiques est reconnu depuis peu. Aujourd'hui, l'eau potable, le sel de table et bien d'autres denrées alimentaires utilisées au quotidien sont contaminées par des microplastiques. Nombre de plateformes telles que *Plastic Pollution Coalitions*, *Plastics for change*, *Plastic Oceans*, *Surfers Against Sewage*, *Greenpeace*, *By the Ocean We Unite*, *One More Generation*, *One Green Planet*, *Surf Rider Foundation* et *Earth Guardians* travaillent aujourd'hui sur cette question et apportent leur contribution. La pollution par les microplastiques dans l'environnement marin a des effets nocifs au niveau moléculaire des organismes et des conséquences physiologiques qui se traduisent par une dégradation de la santé des organismes. Il convient donc d'agir de façon immédiate contre l'utilisation superflue du plastique et de ses produits. Des mesures doivent être mises en œuvre aux échelles nationale et internationale pour interdire l'utilisation des plastiques. Il faut également

mener des études scientifiques afin d'identifier les facteurs qui influent sur la présence des microplastiques dans les écosystèmes marins et leurs conséquences biologiques sur le biote marin. De nouvelles méthodologies de recherche doivent être développées en vue de mieux gérer la préservation de la nature et de soutenir un ensemble de programmes éducatifs portant sur la protection des écosystèmes contre ces polymères nocifs. Il est urgent de sensibiliser au plus vite l'opinion publique aux effets nocifs des microplastiques. Ces mesures encourageraient les innovations en vue de réduire l'utilisation et la consommation du plastique et de ses produits. Pour limiter l'introduction de plastique dans les écosystèmes, il convient avant tout de collecter et réutiliser les déchets. S'agissant de l'avenir, la meilleure solution passe par un arrêt de la production de plastique et la recherche d'un matériau alternatif.

REMERCIEMENTS

Le soutien financier a été apporté par SS by SERB-DST, Gouvernement indien (PDF/2016/000818).

Conformité avec les normes éthiques

Conflit d'intérêts : les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts

RÉFÉRENCES

1. Dokyung Kim, Yooeun Chae et Youn-Joo An, Mixture toxicity of nickel and microplastics with different functional groups on *Daphnia magna*, *Environment Science and Technology*, DOI: 10.1021/acs.est.7b03732, 2017
2. Karen Duis et Anja Coors, Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects, *Environmental Sciences Europe*, 28:2, 2016
3. Shivika Sharma et Subhankar Chatterjee, Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review, *Environment Science and Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-017-9910-8, 2017
4. Aamer Ali Shah, Fariha Hasan, Abdul Hameed et Safia Ahmed, Biological degradation of plastics: A comprehensive review, *Biotechnology Advances*, DOI: 10.1016/j.biotechadv.2007.12.005, 2008
5. Anthony L Andrady et Mike A Neal, Applications and societal benefits of plastics, *Philosophical Transactions of the Royal Society: B*, DOI:10.1098/rstb.2008.0304, 2009
6. Richard C Thompson, Charles J Moore, Frederick S vom Saal et Shanna H Swan, Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends, *Philosophical Transactions of the Royal Society: B*, DOI: 10.1098/rstb.2009.0053, 2009
7. Plastics Europe, Plastics—the Facts 2014/2015: an analysis of European plastics production, demand and waste data. (Extrait) http://issuu.com/plasticseuropebook/docs/final_plastics_the_facts_2014_19122/1?e=5245759/13757977, 2014
8. David K A Barnes, Francois Galgani, Richard C Thompson et Morton Barlaz, Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philosophical Transactions of the Royal Society: B*, DOI: 10.1098/rstb.2008.0205, 2009
9. Maria Sighicelli, Loris Pietrelli, Francesca Lecce, Valentina Iannilli, Mauro Falconieri, Lucia Coscia, Stefania Di Vito, Simone Nuglio et Giorgio Zampett, Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes, *Environmental Pollution* 236: 645-651, 2018
10. Carlo Giacomo Avio, Stefania Gorbi et Francesco Regoli, Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat, *Marine Environmental Research*, DOI.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012, 2016
11. Joso Pinto da Costa, Patricia S M Santos, Armando C Duarte et Teresa Rocha-Santos, (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects, *Science of the Total Environment*, DOI.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.041 0048-9697, 2016
12. Anthony L Andrady, Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin* 62:1596–1605, 2011

13. Michiel Claessens, Steven De Meester, Lieve Van Landuyt, Karen De Clerck et Colin R Janssen, Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast, *Marine Pollution Bulletin*, DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.06.030, 2011
14. Luis Carlos de Sa, Miguel Oliveira, Francisca Ribeiro, Thiago Lopes Rocha et Martyn Norman Futter, Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future?, *Science of the Total Environment*, DOI.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207, 2018
15. Andrew Turner et Luke A Holmes, Adsorption of trace metals by microplastic pellets in fresh water, *Environmental Chemistry*, DOI.org/10.1071/EN14143, 2015
16. Winnie Courtene-Jones, Brian Quinn, Stefan F Gary, Andrew O M Mogg et Bhavani E Narayanaswamy, Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean, *Environmental Pollution*, DOI.org/10.1016/j.envpol.2017.08.026, 2017
17. Amy L Lusher, Gema Hernandez-Milian, Joanne O'Brien, Simon Berrow, Ian O Connor et Rick Officer, Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus*, *Environmental Pollution*, DOI.org/10.1016/j.envpol.2015.01.023, 2015
18. Jessica Reichert, Johannes Schellenberg, Patrick Schubert et Thomas Wilke, Responses of reef building corals to microplastic exposure, *Environmental Pollution*, DOI.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006, 2017
19. Jesse P Harrison, Melanie Sapp, Michaela Schratzberger et Mark A Osborn, Interactions between microorganisms and marine microplastics: A call for research, *Marine Technology Society Journal*, DOI.org/10.4031/MTSJ.45.2.2, 2011
20. N M Hall, K L E Berry, L Rintoul et M. O. Hoogenboom, Microplastic ingestion by scleractinian corals, *Marine Biology*, DOI:10.1007/s00227-015-2619-7, 2015
21. Inger Lise Nerland, Claudia Halsband, Ian Allan et Kevin V Thomas, Microplastics in marine environments: occurrence, distribution and effects project no. 14338 report no. 6754-2014 Oslo, 2014
22. Dawid W Laist, Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, DOI.org/10.1016/S0025-326X(87)80019-X, 1987
23. William R DeMott, Discrimination between algae and detritus by freshwater and marine zooplankton, *Bulletin of Marine Science*, 14: 486-499, 1988
24. Matthew Cole, Pennie Lindeque, Elaine Fileman, Claudia Halsband, Rhys Goodhead, Julian Moger et Tamara S. Galloway, Microplastic Ingestion by zooplankton, *Environmental Science and Technology*, DOI.org/10.1021/es400663f, 2013
25. Vivian S. Lin, Research highlights: impacts of microplastics on plankton, *Environmental Science Processes & Impacts*, DOI: 10.1039/c6em90004f, 2016
26. Sandrine Straub, Philipp E Hirsch and Patricia Burkhardt-Holm, Biodegradable and petroleum-based microplastics do not differ in their ingestion and excretion but in their biological effects in a freshwater invertebrate *Gammarus fossarum*, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, DOI:10.3390/ijerph14070774, 2017
27. Sarah Y Au, Terri F Bruce, William C Bridges, Stephen J Klaine, Responses of *Hyalella azteca* to acute and chronic microplastic exposures, *Environmental Toxicology*, DOI.org/10.1002/etc.3093, 2015
28. Ellen Besseling, Anna Wegner, Edwin M Foekema, Martine J van den Heuvel-Greve et Albert A Koelmans, Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.), *Environmental Science and Technology*, DOI: 10.1021/es302763x, 2013
29. Kay Critchell and Mia O Hoogenboom, Effects of microplastic exposure on the body condition and behaviour of planktivorous reef fish (*Acanthochromis polyacanthus*), *PLoS One*, DOI.org/10.1371/journal.pone.0193308, 2018
30. Cristina Peda, Letteria Caccamo, Maria Cristina Fossi, Francesco Gai, Franco Andaloro, Lucrezia Genovese, Anna Perdichizzi, Teresa Romeo and Giulia Maricchiolo, Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: Preliminary results, *Environmental Pollution*, DOI.org/10.1016/j.envpol.2016.01.083, 2016
31. Yifeng Lu, Yan Zhang, Yongfeng Deng, Wei Jiang, Yanping Zhao, Jinju Geng, Lili Ding et Hongqiang Ren, Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver, *Environmental Science and Technology*, DOI: 10.1021/acs.est.6b00183, 2016
32. Tommy Cedervall, Lars-Anders Hansson, Mercy Lard, Birgitta Frohm et Sara Linse, Food chain transport of nanoparticles affects behaviour and fat metabolism in fish, *PLoS One*, DOI.org/10.1371/journal.pone.0032254, 2012
33. Chris Wilcox, Erik Van Sebille et Britta Denise Hardesty, Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing, *Proceeding of National Academy of Sciences: USA*, DOI.org/10.1073/pnas.1502108112, 2015
34. Martin Thiel, Guillermo Luna-Jorquera, Rocío Alvarez-Varas, Camila Gallardo, Ivan A. Hinojosa, Nicolas Luna, Diego Miranda-Urbina, Naiti Morales, Nicolas Ory, Aldo S. Pacheco, Matias Portflitt-Toro et Carlos Zavalaga, Impacts of marine plastic pollution from continental coasts to Subtropical Gyres—fish, seabirds, and other vertebrates in the SE Pacific, *Frontiers in Marine Science*, DOI: 10.3389/fmars.2018.00238, 2018
35. Elisa L Bravo Rebolledo, Jan A Van Franeker, Okka E Jansen et Sophie M J M Brasseur, Plastic ingestion by harbour seals (*Phoca vitulina*) in The Netherlands, *Marine Pollution Bulletin*, DOI.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.035, 2013
36. Josh Gabbatiss, Microplastics 'pose major threat' to whales and sharks, scientists warn, *INDEPENDENT*, Monday 5 February 2018 06:15. [Consulté le 1/11/2018]
37. Maria Cristina Fossi, Cristina Panti, Cristiana Guerranti, Daniele Coppola, Matteo Giannetti, Letizia Marsili et Roberta Minutoli, Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*), *Marine Pollution Bulletin*, DOI.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.013, 2012
38. Jenna R. Jambeck, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, Kara Lavender Law, Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, DOI: 10.1126/science.1260352, 2015
39. UN Environment, Ocean Experts Call for Greater Local Government Role in Fight against marine waste 2014, <https://europa.eu/capacity4dev/unep/blog/ocean-experts-call-greater-local-government-role-fight-against-marine-waste> [Consulté le 13/09/2018].
40. Plastic Pollution Coalition, California introduces National Trash Reduction act <http://www.plasticpollutioncoalition.org/pft/2015/11/6/california-introduces-national-trash-reduction-act>. 2016 [Consulté le 02/09/2018]