

Pollution des environnements terrestres et marins par les plastiques

Sources, impacts et solutions

Résumé Dès les années 1970, la présence de plastiques dans l'environnement est observée et l'identification de leurs impacts sur l'environnement étudiée. Aujourd'hui, la pollution par les plastiques est présente aussi bien en zones continentales que marines et peut induire différents risques pour l'homme et l'environnement (toxicité intrinsèque du polymère après ingestion, adsorption/désorption de micropolluants, etc.). Lutter contre ce type de pollution implique d'agir à tous les niveaux de la chaîne, en identifiant les sources de pollution dues aux plastiques, en évaluant les impacts et en s'intéressant à la gestion de leur fin de vie, et doit impliquer tous les acteurs de la société.

Mots-clés Déchets plastiques, microplastiques, environnement, polymères biodégradables.

Abstract **Pollution of land and marine environments by the plastics: sources, impacts and solutions**

As early as the 1970s, the presence of plastics in the environment was clearly identified and their environmental impacts were studied. Today, plastic pollution is present in both continental and marine environments and poses various risks for humans and the environment (e.g. intrinsic toxicity of the polymer after ingestion or adsorption/desorption of micropollutants). Fighting this type of pollution involves actions at all levels, by identifying the sources of pollution due to plastics, by evaluating the impacts and by focusing on the management of their end of life, and must involve all stakeholders in the society.

Keywords Plastic waste, microplastics, environment, biodegradable polymers.

Quels constats ? Quels enjeux ?

Les matériaux plastiques sont obtenus par l'association de polymères synthétiques ou naturels et de divers additifs. Leur développement connaît une croissance exponentielle et ininterrompue depuis les années 1950. Leur omniprésence dans divers secteurs industriels se justifie par leurs excellentes propriétés d'usage, leur légèreté, leur durabilité et leur faible coût. L'abondance en plastique que connaît notre société associée à une gestion des déchets insuffisante induit un phénomène d'accumulation de déchets plastiques dans l'environnement. Il est estimé que moins de 2 % des déchets plastiques produits depuis les années 1950 ont été recyclés et moins de 6 % incinérés [1]. Ainsi, on peut en déduire que 92 % de ces plastiques, soit environ 5 milliards de tonnes, ont été enfouis ou abandonnés dans le milieu naturel.

La plupart des plastiques se dégradant très lentement, ceux-ci persistent et s'accumulent irrémédiablement dans le milieu naturel sous forme de débris – appelés aussi microplastiques, dont les tailles sont comprises (par convention) entre 300 µm et 5 mm. La *figure 1* présente un exemple d'un déchet plastique ayant commencé à se fragmenter dans le milieu naturel.

La pollution par les plastiques est présente aussi bien en zones continentales (sols et cours d'eau) que marines (mers, océans et littoraux). Bien que les déchets plastiques s'y comportent différemment, ces compartiments de l'environnement sont liés par un continuum terre-mer : la grande majorité des plastiques trouvés en mer sont d'origine continentale [2].

Cet article dresse un bilan global de l'état de pollution par les plastiques, à la fois dans les milieux terrestres et marins, et des principales connaissances en termes d'impacts environnementaux et sanitaires. Enfin, quelques éléments de réponse sont proposés pour tenter d'enrayer cette pollution qui nuit considérablement à l'image des plastiques.

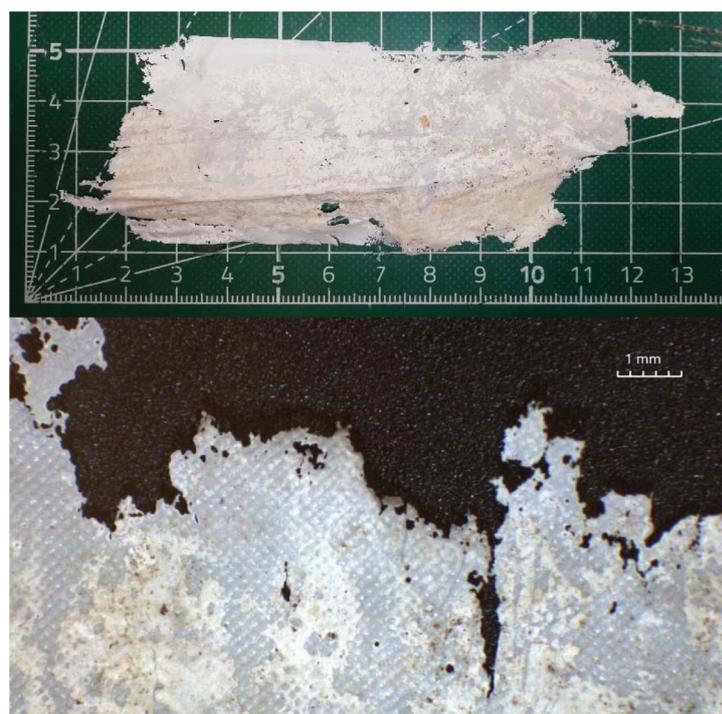


Figure 1 - Exemple d'un film plastique trouvé sur une plage des Landes. En haut : vue globale du déchet. En bas : zoom sur la fragmentation du plastique à une extrémité.

Les plastiques en milieu terrestre : quelle provenance ? Comment sont-ils transportés ?

À ce jour, la majorité des recherches sur les plastiques dans l'environnement s'est concentrée sur le milieu marin, considéré comme le réceptacle final de tous ces déchets. L'émergence récente des études sur le milieu terrestre a révélé la présence de microplastiques dans divers types de sols, des zones les plus densément peuplées aux zones les plus

reculées [3]. Les zones soumises à une forte activité humaine telles que les zones agricoles ou urbaines sont particulièrement touchées par cette contamination.

Les quantités retrouvées diffèrent selon les sols et selon les études. Ces différences peuvent s'expliquer notamment par la variabilité des sources de plastiques, les caractéristiques hydrogéographiques (influence des ruissellements et du relief), mais aussi par la méthodologie d'extraction et d'identification utilisée.

Nature et origine des plastiques dans les sols

L'épandage de boues d'épuration est l'une des principales voies d'entrée de plastiques dans les sols. Celles-ci contiennent différents microplastiques provenant des eaux usées, ainsi que des plastiques fragmentés provenant du ruissellement urbain. Une part importante de ces débris plastiques sont des fibres issues des eaux de lavage de vêtements synthétiques [4]. En Europe et en Amérique du Nord, environ 50 % du total des boues d'épuration sont épandus sur les terres agricoles et on estime qu'entre 63 à 430 kt de microplastiques sont appliquées chaque année dans les agroécosystèmes européens par le biais de ces épandages [5].

Bien qu'ils soient la matière première des procédés de compostage et de méthanisation, les déchets organiques provenant des ménages, des municipalités et des industries peuvent être sujets à des erreurs de tri. Si la majeure partie des plastiques peut être retirée, il est impossible de les éliminer complètement, en particulier la fraction la plus fine (inférieure à quelques millimètres). Ainsi contaminés par des microplastiques, les résidus de ces bioprocédés sont ensuite utilisés comme fertilisants et épandus sur les cultures. Peu de données existent sur les quantités de microplastiques dans ces composts et digestats. En Allemagne, il est estimé qu'entre 35×10^9 et 2×10^{12} de microplastiques supérieurs à 1 mm étaient rejetés chaque année dans l'environnement par ces sources [6].

L'usage de paillage plastique est également une source importante de contamination des sols agricoles. Répandues depuis les années 1960, ces bâches posées sur les sols, le plus souvent en polyéthylène (PE), améliorent les rendements agricoles mais restent difficiles à retirer et à recycler. Les pratiques culturales varient dans le monde, les quantités sont compliquées à estimer. Dans certaines régions chinoises comme le Xinjiang, où le paillage plastique est courant, la teneur en résidus plastiques peut atteindre 502 kg ha^{-1} (avec une moyenne de $121,5 \text{ kg ha}^{-1}$), chiffre positivement corrélé au nombre d'années sous paillage [2].

Les eaux usées utilisées pour l'irrigation sont aussi une source potentielle de microplastiques et peuvent présenter des concentrations jusqu'à 627×10^3 particules par m^3 d'eau suivant la qualité de traitement des eaux [2].

D'autres sources de contamination des sols par les plastiques ont été identifiées mais sont très peu étudiées : les décharges illégales ou mal gérées, l'incivilité, les débris provenant des véhicules (usure des pneus ou fragments de peinture), les dépôts atmosphériques de fibres synthétiques entraînés par le vent ou par les précipitations [2]. Très récemment, une étude publiée a tenté pour la première fois d'estimer la quantité de plastiques issue du trafic routier (frottement des pneus sur la route et utilisation des freins) : jusqu'à 100 000 tonnes de « plastiques routiers » pourraient être déversées chaque année dans l'environnement [7].

Transport des plastiques dans les sols

Une distinction doit être faite entre les polymères les plus denses, plus susceptibles de rester au sol et d'être transportés dans des couches plus profondes, et les polymères plus légers, emportés facilement par l'eau et le vent et qui vont ainsi contaminer d'autres écosystèmes, y compris d'eaux douces et marines [2]. Dans les sols, la dégradation est généralement très lente car les plastiques entraînés sous la surface ne sont plus en présence du rayonnement solaire susceptible de les prédégrader par photo-oxydation.

Plusieurs mécanismes peuvent expliquer la migration verticale des plastiques dans les sols : la bioturbation (i.e. le remaniement de sols ou de sédiments produit par les activités des organismes qui y vivent), la fissuration du sol, la présence de macropores ou l'infiltration d'eau. La dispersion horizontale se fait par le vent et les ruissellements principalement, et mène les débris plastiques dans les cours d'eau et les océans. Enfin, l'activité humaine par le biais des pratiques agricoles telles que le labour ou la récolte peut également contribuer au transport vertical et horizontal de particules de plastique dans les sols.

Les plastiques en milieu marin : quelles sources ? Comment diffusent-ils ?

Des particules de plastiques ont été observées pour la première fois dans les années 1970 sur différentes plages du monde. En pleine mer, la première observation en 1997 du « Continent de plastique » ou « Grande plaque de déchets du Pacifique » (Great Pacific Garbage Patch, GPGP) située dans le gyre du Pacifique nord a particulièrement marqué les esprits. Depuis, des plastiques ou microplastiques ont été retrouvés dans diverses régions du monde, de l'Antarctique jusqu'aux îles inhabitées les plus lointaines : leur ubiquité est donc avérée. La recherche scientifique sur le sujet a permis d'identifier et de mieux comprendre la provenance et les comportements de ces flux de déchets plastiques dans les océans [8].

Sources des plastiques présents en mer

La majorité des plastiques retrouvés dans les milieux marins sont principalement d'origine continentale. En outre, les quantités estimées varient significativement en fonction de la densité de population, des pratiques en termes de gestion des déchets ou encore des activités humaines à proximité. D'autres paramètres, comme le nettoyage des plages ou encore le transport des plastiques par les courants marins, empêchent d'établir un lien direct entre une accumulation de déchets et leurs sources potentielles. À cela s'ajoutent les apports en mer, liés au trafic maritime (pertes de conteneurs, ballasts, cargaisons, etc.), à l'exploration et à l'exploitation pétrolière et minière, et aux activités de pêche et d'aquaculture (perte de cordages, filets, casiers, etc.).

Accumulation et diffusion des plastiques

Les plastiques moins denses que l'eau sont majoritairement ceux qui sont retrouvés lors des échantillonnages en surface (essentiellement des polyéthylènes, polypropylènes ou polystyrènes expansés). Leur durée de vie importante permet aux plastiques de voyager très loin de leur point d'origine pendant plusieurs années au gré des courants océaniques. Ils se concentrent principalement dans sept zones océaniques : les deux gyres tropicaux du Pacifique et de l'Atlantique, les

gyres de l'Océan Indien, la mer Méditerranée et la mer de Chine. Les gyres sont des zones de convergence des courants marins qui piègent les déchets.

En dessous de la surface, les connaissances sont beaucoup plus lacunaires, la colonne d'eau et les fonds marins étant bien moins explorés. Il semblerait qu'à partir de quelques mètres de profondeur, les petits microplastiques et des fibres synthétiques sont prédominants (de quelques dizaines à centaines de μm), tandis qu'ils sont de l'ordre de plusieurs centaines de μm à quelques mm à la surface de la mer [8]. Dans les sédiments, les polymères plus denses comme les polyesters ou les polyacryliques sont majoritaires (77 % en nombre en moyenne), mais des fragments de polymères moins denses que l'eau sont également recensés. Ces fragments auraient donc subi un transport vertical de la surface vers le fond via une colonisation par des micro-organismes ou une intégration à des neiges marines.

Sur les fonds marins, des concentrations en microplastiques pouvant atteindre jusqu'à 5 000 particules/ m^2 ont été observées. Les macrodéchets sont aussi connus pour s'y accumuler. À l'abri de la lumière, leurs cinétiques de dégradation sont extrêmement lentes ; 50 à 290 objets/ km^2 sont dénombrés au fond de la Méditerranée à proximité des côtes françaises [8].

Organismes vivants et santé humaine : quels impacts ?

Les microplastiques sont omniprésents dans l'environnement, menaçant ainsi les organismes vivants qui y sont exposés. Trois principaux axes de recherche se développent actuellement, en particulier dans le milieu marin : les interactions physiques entre organismes vivants et microplastiques, l'impact des plastifiants, et la contamination croisée avec d'autres polluants.

Du fait de leur petite taille, de leur très grand nombre et de leur ubiquité dans l'environnement, les microplastiques sont facilement ingérés par des organismes vivants (figure 2) et sont susceptibles d'affecter un large ensemble de fonctions telles que la reproduction, la croissance ou encore le comportement alimentaire. Cependant, après avoir été ingérés ou respirés, les microplastiques sont le plus souvent excrétés naturellement par l'organisme.

Les plastiques et les microplastiques sont connus pour adsorber des polluants présents dans l'eau tels que les métaux, les perturbateurs endocriniens ou encore les polluants organiques persistants (POP) [9]. Ces derniers sont la classe la plus couramment rencontrée. Parmi eux, le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), un des insecticides les plus utilisés dans le monde, a été observé sur nombre de plastiques prélevés en mer. Cette capacité d'échange avec le milieu naturel peut être modifiée par le vieillissement du plastique ou par sa colonisation par des organismes vivants.

La présence de microplastiques est désormais avérée dans plusieurs aliments de consommation courante, et tout particulièrement dans les produits de la mer tels que les coquillages, les crustacés, les crevettes, les poissons, etc. L'inhalation de microplastiques et de fibres aéroportées est également une source importante d'exposition. Leur impact sur la santé est peu connu et nécessite encore de nombreuses recherches. Néanmoins, de nombreuses questions se posent quant à l'effet de la composition des plastiques (possibilité de perturbateurs endocriniens), de la contamination chimique et biologique développée à la



Figure 2 - Exemples de microplastiques retrouvés dans un système digestif de sar (poisson d'eau de mer). En haut : fibre synthétique d'environ 500 μm . En bas : microplastique d'environ 500 μm .

surface des microplastiques (pesticides et métaux lourds, notamment) et des interactions avec le système digestif [8].

Quelles réponses à cette problématique environnementale ?

La résolution de cette problématique environnementale est forcément complexe. Elle ne peut pas appeler de réponse simple et unique, contrairement aux attentes des politiques, des ONG ou du grand public, et ne peut se décliner qu'à travers diverses initiatives impliquant l'ensemble des acteurs de notre société (industriels et grands distributeurs, chercheurs, ONG, politiques, citoyens, médias, etc.).

Une réponse évidente et simpliste pourrait être la solution du nettoyage de l'environnement terrestre et marin, mais celle-ci se heurte à :

- des freins techniques : comment collecter ces déchets dans toutes les mers et océans du monde ? ;
- des coûts qui peuvent s'avérer prohibitifs : qui finance ces campagnes de collecte et de ramassage à l'échelle du monde ? Quelle est la valeur économique de ces déchets plastiques éventuellement collectés ? ;
- et enfin la valorisation très limitée de ces plastiques : que faire de ces déchets plastiques souillés et plus ou moins dégradés après des années ou des décennies en mer ? Le recyclage rendu impossible par le niveau de dégradation et de souillure des plastiques, l'incinération reste la seule alternative viable. Le nettoyage de l'environnement ne peut, à l'évidence, se justifier que localement, sur la base d'initiatives citoyennes ou politiques, mais en aucun cas à l'échelle du monde.

Dès à présent, il faut donc travailler à développer en parallèle plusieurs actions pour faire en sorte que cette pollution environnementale ne s'aggrave jour après jour encore et toujours plus.

Mieux collecter en sensibilisant et en responsabilisant

Le point clé relatif à cette prolifération environnementale des plastiques reste la collecte. Celle-ci implique nécessairement l'ensemble des acteurs, en particulier les citoyens qui se doivent d'être plus irréprochables dans le traitement des déchets qu'ils génèrent. Un plastique retrouvé dans l'environnement est à l'évidence un plastique qui n'a pas été collecté. La difficulté est que l'éducation, le sens civique et la responsabilisation de chacun doivent se faire à l'échelle du monde qui, selon les pays, ne se trouve pas confronté aux mêmes problématiques économiques, sociétales et environnementales. C'est pourquoi les missions entreprises par de nombreuses ONG à travers le monde sont capitales pour sensibiliser les populations aux dangers que représente cette pollution et les inciter à ne plus jeter sauvagement leurs déchets, plastiques en particulier, et à adopter des comportements les plus vertueux possible.

Réduire, réutiliser et recycler, ou la règle des 3 R

Dans l'optique de limiter les apports de plastiques dans l'environnement, une autre clé passe aussi par la réduction de la quantité des plastiques utilisés. De nombreux plastiques se révèlent inutiles (emballages superflus, suremballages, etc.) et il est urgent d'inciter à la réduction, voire au refus ou à l'interdiction de l'usage de plastiques considérés comme inutiles. Aujourd'hui, dans tous les pays de monde, des législations sont mises en place pour interdire les plastiques dans certaines applications, notamment celles de l'usage unique (sacs, gobelets, pailles, etc.).

La réutilisation est aussi une piste à mener et à renforcer [10]. Nombreux sont ceux qui déjà réutilisent désormais contenants divers et sacs. Il est important de persévérer dans cette direction afin d'apporter des alternatives réutilisables au quotidien.

Enfin, recycler est une autre option sérieuse qui permet de briser la chaîne immuable des ressources naturelles fossiles transformées en produits qui en fin de vie deviennent des déchets. Le recyclage est une boucle vertueuse créée par l'utilisation de matières premières issues de déchets qui permettront de redonner une nouvelle vie à un plastique. Mais il ne peut pas être la seule option, contrairement aux messages véhiculés parfois, car aucun plastique ne peut être recyclé plusieurs fois sans être considérablement dégradé, ce qui le rend rapidement inutilisable (problème du décyclage) et le conduit à finir sa vie en décharge ou en centre d'incinération, avec ou sans valorisation énergétique. Le recyclage ne peut pas non plus être envisagé pour tous les types de plastiques, comme les films plastiques potentiellement recyclables mais qui se heurtent à un modèle économique non rentable. On pourrait aussi citer la difficulté de trier certains plastiques de couleur ou le recyclage impossible des multimatériaux ou multicouches. Ces limites technologiques inhérentes à la nature même des plastiques, associées au fait que le recyclage implique des contraintes logistiques de collecte importantes et une consommation énergétique significative, démontrent que le recyclage du plastique ne peut pas être une solution unique, efficace et pérenne pour gérer la fin de vie de tous les plastiques usagés. Le rapport rédigé par

CITEO en 2019 révèle qu'en France, seulement 29 % des plastiques collectés sont effectivement recyclés [11]. Notons que cette statistique ne prend pas en compte tous les déchets plastiques non collectés, ce qui abaisserait encore plus le taux de recyclage. Ce chiffre illustre à la fois l'étendue des possibilités et les perspectives d'amélioration du recyclage, mais aussi ses limites.

Innover en développant des polymères rapidement biodégradables

L'innovation doit bien sûr être au cœur de cette problématique environnementale en allant vers des démarches de type écoconception et en travaillant sur l'ensemble de la chaîne de valeur des plastiques, notamment à travers les ressources utilisées pour la production et un scénario de fin de vie faisant appel à leur biodégradabilité rapide : inventer les plastiques du XXI^e siècle en réinventant les plastiques du XX^e siècle.

Depuis un certain nombre d'années, les recherches se sont focalisées sur le développement de plastiques biosourcés durables, c'est-à-dire des polymères obtenus à partir de ressources renouvelables, tout en étant à la fois persistants et donc difficilement dégradables [12]. On peut citer les développements récents menés sur le polyéthylène biosourcé, les polyamides biosourcés, les polyuréthanes biosourcés, voire le poly(éthylène téréphtalate) très partiellement biosourcé. Ainsi, substituer le carbone d'origine fossile par du carbone biosourcé, dit renouvelable ou de « cycle court », peut être considéré comme une stratégie pertinente pour limiter les émissions de gaz à effet de serre dont les répercussions sur le changement climatique sont aujourd'hui indéniables. Néanmoins, la substitution des plastiques issus de la pétrochimie par leurs homologues biosourcés ne résout absolument pas les problèmes de pollution et d'accumulation des plastiques dans les environnements terrestres et marins.

Dans ce contexte, il apparaît indispensable aujourd'hui de parvenir à concilier ces deux aspects, en se préoccupant aussi de la fin de vie de ces matériaux et en privilégiant des scénarios de fin de vie plus respectueux de l'environnement. Enfin, pour pouvoir concurrencer et remplacer les plastiques conventionnels, ces nouveaux matériaux, biodégradables et biosourcés (au moins en partie), devront répondre à certaines exigences en termes de propriétés fonctionnelles et d'usage (propriétés mécaniques, propriétés barrière, stabilité thermique, capacité à être mis en forme par les technologies de plasturgie conventionnelles, etc.).

Parmi les polymères qui satisfont cette double exigence – i.e. polymères biosourcés et biodégradables –, on trouvera essentiellement les polyesters de la famille des polylactides (PLA) ou des polyhydroxyalcanoates (PHA) obtenus par fermentation microbienne, ainsi que des polysaccharides à base d'amidon ou de cellulose [13]. Pour ces derniers, il faut veiller au degré de substitution (DS), qui a une incidence significative sur la biodégradabilité des matériaux qui deviennent rapidement non biodégradables pour des DS supérieurs à 1. De plus, les conditions de biodégradation sont aussi capitales sur les cinétiques de biodégradation et il faut donc appréhender les études menées en biodégradation avec une extrême prudence et le recul suffisant pour proposer des solutions qui soient considérées comme irréfutables. On peut citer l'exemple du PLA qui ne peut pas être considéré comme biodégradable en dessous de sa température de transition vitreuse (55 °C environ) [14], donc seulement compostable industriellement, alors que les PHA sont très rapidement



Figure 3 - Éprouvettes en poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalérate) (PHBHV) immergées en milieu marin naturel (à gauche : t = 0 et à droite : t = 78 mois).

biodégradables, particulièrement en milieu marin [15]. La dégradation des PHA se met en œuvre par un processus d'érosion (figure 3). Les fragments de PHA sont progressivement libérés, conduisant à une réduction d'épaisseur de l'objet, de type éprouvette, avec le temps – épaisseur de 4 mm à t=0 et de 1,1 mm après 78 mois d'immersion en milieu marin naturel (Port de Kernével à Larmor-Plage (56)) –, soit une perte de masse équivalant à environ 75 %. Il a été observé des évolutions similaires pour des films en PHA avec une épaisseur qui diminue rapidement pour passer de 200 à 90 µm en 180 jours seulement [16]. Ce phénomène d'érosion est attribué à l'action d'enzymes qui sont excrétées par des microorganismes présents dans l'eau de mer. Ces microorganismes (bactéries, champignons, levures, etc.) disposent d'un arsenal exoenzymatique capable de permettre la dégradation de macromolécules qu'ils sont incapables de bioassimiler de manière directe, c'est-à-dire sans que le polymère n'ait été préalablement fragmenté en chaînes plus courtes. Nombre de ces actions exoenzymatiques catalysent en fait des hydrolyses ; c'est le cas par exemple de l'action des amylases, des protéases, des nucléases, des cellulases, des estérases et autres hydrolases.

Au-delà de ces processus de fragmentation, la biodégradation ultime – i.e. la conversion du carbone organique du polymère en dioxyde de carbone – a été vérifiée. Ces PHA testés sous forme de poudre se biodégradent à plus de 90 % après 220 jours d'incubation dans un milieu marin reconstitué en laboratoire et composé d'eau de mer et de sédiments sableux à 25 °C [16]. La cellulose, pourtant considérée comme la référence en matière de biodégradation, et le PLA ne se biodégradent qu'à 50 et 20 %, respectivement, dans les mêmes conditions (figure 4).

Le développement des polymères biodégradables offre une alternative très crédible aux polymères durables dont les durées de persistance dans l'environnement se chiffrent en décennies ou en siècles, contribuant à l'ampleur des phénomènes cumulatifs observés. De manière générale, ils peuvent constituer une solution pour la fabrication d'objets à courte durée d'utilisation ou à usage unique et présentant un risque élevé de se retrouver dans l'environnement, de manière accidentelle ou volontaire. Il s'agit d'applications pour certains emballages ou objets du quotidien bien sûr, mais aussi pour des usages dans les secteurs de l'agriculture (films de paillage, barquettes, pots, enrobage/encapsulation, etc.), de la pêche et de la conchyliculture (fils et filets de pêche, cordages,

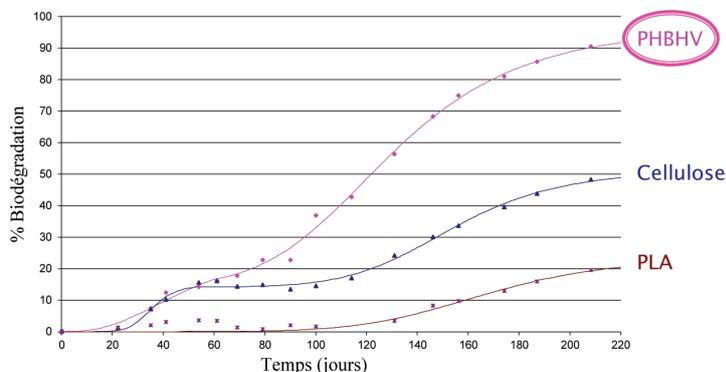


Figure 4 - Évolution de la biodégradation en fonction du temps pour le PHBHV, la cellulose et le PLA testés dans un milieu constitué d'eau de mer et de sédiments sableux à 25 °C.

poches, casiers, habitats sous-marins, récifs artificiels, etc.) ou du textile (microfibres évacuées par les eaux usées et non filtrées dans les stations d'épuration). Le domaine de la formulation est aussi un secteur très fortement concerné par le développement de polymères biodégradables en formulation, soit sous forme dispersible, soit sous forme soluble (cosmétiques, adhésifs et colles, peintures, revêtements, etc.).

En bref...

Les plastiques sont devenus indispensables dans nos sociétés actuelles et nul ne peut raisonnablement imaginer s'en dispenser totalement dans de multiples secteurs. Néanmoins, chaque acteur de la société doit s'interroger sur la manière dont il conçoit la fabrication, l'utilisation et la fin de vie des plastiques, ce qui constitue un changement de paradigme majeur au regard de ce qui a pu être développé depuis plus de soixante ans. Alors que les polymères biosourcés et biodégradables ne représentent actuellement qu'une infime partie des plastiques (moins de 1 %), les prises de conscience à toutes les échelles de la société, les législations déjà en vigueur ou à venir et la volonté d'aller vers des modèles industriels vertueux aideront sans aucun doute à accélérer les développements prochains de ces polymères. En parallèle, la pollution plastique pourrait être réduite de 80 % d'ici 2040 en diminuant la consommation de plastiques, en augmentant les taux de réutilisation, de collecte et de recyclage, et en améliorant les systèmes de traitement des déchets [17]. Tous



En France, la communauté scientifique s'est emparée de ce sujet très récemment. Elle s'est fédérée en 2019 au sein du CNRS dans un groupe de recherche (GdR 2050) nommé « **Polymères & Océans** ». L'objectif général du

GdR est de fédérer et d'améliorer la visibilité de la communauté scientifique française impliquée dans l'étude du devenir et de l'impact des polymères en milieu aquatique ainsi que dans la recherche d'alternatives vertueuses. Il se distingue par sa transdisciplinarité avec une appartenance à différents organismes de recherche (CNRS et deux partenaires qui sont IFREMER et ANSES). Au CNRS en particulier, il est « multi-instituts » puisque labellisé par les Instituts de physique (INP), de chimie (INC), des sciences de l'univers (INSU), de l'écologie et de l'environnement (INEE) et des sciences de l'ingénierie (INSIS). Il rassemble 45 laboratoires et plus de 200 chercheurs.

• www.gdr-polymeresetocceans.fr

les leviers doivent donc être simultanément actionnés pour espérer une amélioration notable de la situation dans un futur proche.

[1] R. Geyer, J.R. Jambeck, K.L. Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, *Sci. Adv.*, **2017**, 7, e1700782.
 [2] A.A. Horton, A. Walton, D.J. Spurgeon, E. Lahive, C. Svendsen, Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities, *Sci. Total Environ.*, **2017**, 586, p. 127-141.
 [3] M.C. Rillig, Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil?, *Environ. Sci. Technol.*, **2012**, 46, p. 6453-54.
 [4] I.E. Napper, R.C. Thompson, Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: effects of fabric type and washing conditions, *Mar. Pollut. Bull.*, **2016**, 112, p. 39-45.
 [5] L. Nizzetto, M. Futter, S. Langaas, Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin?, *Environ. Sci. Technol.*, **2016**, 50, p. 10777-79.
 [6] N. Weithmann *et al.*, Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment, *Sci. Adv.*, **2018**, 4, eaap8060.
 [7] N. Evangeliou *et al.*, Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions, *Nat. Commun.*, **2020**, 11, 3381.
 [8] F. Galgani, S. Bruzaud, G. Duflos, P. Fabre, E. Gastaldi, J.F. Ghiglione, R. Grimaud, M. George, A. Huvet, F. Lagarde, I. Paul-Pont, A. Ter Halle, Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques, *Techniques de l'Ingénieur*, **2020**, B109300.
 [9] M. Kedzierski, M. D'Almeida, A. Magueresse, A. Le Grand, H. Duval, G. César, O. Sire, S. Bruzaud, V Le Tilly, Threat of plastic ageing in marine environment: adsorption/desorption of micropollutants, *Mar. Pollut. Bull.*, **2018**, 127, p. 684-694.
 [10] M. Kedzierski, D. Frère, G. Maguer, S. Bruzaud, Why is there plastic packaging in the natural environment? Understanding the roots of our individual plastic waste management behaviours, *Sci. Total Environ.*, **2020**, 740, 139985.
 [11] www.citeo.com (consulté le 28 octobre 2020).
 [12] A. Gandini, T.M. Lacerda, From monomers to polymers from renewable resources: recent advances, *Prog. Polym. Sci.*, **2015**, 48, p. 1-39.

[13] G. César, E. Gastaldi, Polymères rapidement biodégradables, *Techniques de l'Ingénieur*, **2018**, B104150.
 [14] M. Deroiné, A. Le Duigou, Y.M. Corre, P.Y. Le Gac, P. Davies, G. César, S. Bruzaud, Accelerated ageing of polylactide in aqueous environments: comparative study between distilled water and seawater, *Polym. Degrad. Stab.*, **2014**, 108, p. 319-329.
 [15] P. Lemechko, S. Bruzaud, La biotechnologie au service de la chimie pour obtenir des polymères bactériens biodégradables, *L'Act. Chim.*, **2018**, 427-428, p. 60-65.
 [16] M. Deroiné, A. Le Duigou, P. Davies, G. César, S. Bruzaud, Natural degradation and biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) in liquid and solid marine environments, *J. Polym. Env.*, **2015**, 23, p. 493-505.
 [17] W.W.Y. Lau *et al.*, Evaluating scenarios toward zero plastic pollution, *Science*, **2020**, 23, eaba9475.

Stéphane BRUZAUD*,

Professeur à l'Université de Bretagne-Sud¹. Il anime, au sein de l'Institut de Recherche Dupuy de Lôme, un groupe de recherche autour des polymères et de l'environnement (ingénierie des biopolymères, production à partir de ressources renouvelables, fin de vie, questions environnementales liées à la pollution des plastiques).

Mikaël KEDZIERSKI, maître de conférences, Lata SOCCALINGAME, ingénieure de recherche, Maïalen PALAZOT, ingénieure d'étude, Université de Bretagne-Sud¹.

¹ Université Bretagne-Sud, Institut de Recherche Dupuy de Lôme (IRDL), UMR CNRS 6027, Lorient.

*stephane.bruzaud@univ-ubs.fr

<http://people.irdl.fr/stephane-bruzaud>



L'Union des professeurs de physique et de chimie

Une association d'enseignants au service des enseignants

Tous les Bup de 1907 à ce jour en téléchargement gratuit pour toute adhésion et abonnement

Publication numérique mensuelle avec impression papier trimestrielle



Consultation du Bup en ligne par articles et par numéro avec BupDoc

- ◆ Pour tous : 1907 → 2015
- ◆ Pour les abonnés : 2016 → 2020



Un congrès organisé chaque année par une académie différente



Le site : <http://www.udppc.asso.fr>

Espace Labo
Textes statutaires et documents
Gestion du laboratoire...

Espace Collège
Actualités
Journée collège UdPPC...

Espace Lycée
Programmes 2019-2021
Réforme baccalauréat 2021...

Documents thématiques
Autour de la classification périodique
Métrologie...

Siège social et courrier : 42 rue Saint-Jacques - 75005 PARIS
 Tél. : 01 40 46 83 80 - Fax : 01 46 34 76 61 - secretariat.national@udppc.asso.fr