

# Le plastique : un poison si pratique

Mars 2024





# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	4
QUELQUES REPÈRES SUR LES PLASTIQUES .....	5
CHAPITRE 1 : DE L'USAGE QUOTIDIEN À LA DISSÉMINATION .....	6
Fiche 1 : Plastiques et microplastiques dans les objets du quotidien .....	7
Fiche 2 : Dynamique des sources de contamination .....	9
Fiche 3 : La pollution plastique, des fleuves à la mer .....	11
CHAPITRE 2 : LES PLASTIQUES : CHIMIE ET CYCLE DE VIE .....	12
Fiche 4 : Diversité de la chimie des plastiques et substances non ajoutées intentionnellement (NIAS) .....	13
Fiche 5 : Les plastiques biodégradables : distinguer le vrai du faux .....	15
Fiche 6 : L'analyse du cycle de vie quantitative et ses limites .....	16
Fiche 7 : Le traitement des déchets .....	18
Fiche 8 : Les procédés de recyclage .....	19
CHAPITRE 3 : LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ .....	21
Fiche 9 : Impacts des plastifiants sur l'environnement et la santé .....	22
Fiche 10 : Les débris plastiques sont-ils toxiques ? .....	24
Fiche 11 : Quantifier les micro- & nanoplastiques .....	25
Fiche 12 : Le plastique dans les sols, impacts sur l'agriculture et l'alimentation .....	26
Fiche 13 : Microplastiques et cycles biogéochimiques marins .....	27
Fiche 14 : La plastisphère : la vie trépidante des organismes qui vivent sur nos déchets .....	28
Fiche 15 : Interaction plastique-biota en mer .....	29
Fiche 16 : Les mammifères marins et les plastiques : de l'enchevêtrement à l'ingestion .....	30
CHAPITRE 4 : PLASTIQUES ET SOCIÉTÉ .....	31
Fiche 17 : Les collections : un outil pour dater et suivre l'évolution de la pollution plastique ....	32
Fiche 18 : Alternatives soutenables aux plastiques .....	33
Fiche 19 : Connaître pour agir avec la plateforme Zéro Déchet Sauvage .....	34
Fiche 20 : Les défis normatifs, éthiques et économiques de nos sociétés face à la production plastique .....	36
Remerciements .....	38
Liste des auteurs .....	39

# INTRODUCTION

*par Christophe Prazuck*

Nous sommes dépendants aux plastiques.

Parce qu'ils sont légers, résistants, peu onéreux, adaptés à de multiples usages, très compétitifs, leur succès industriel et commercial a été foudroyant au cours des 60 dernières années. Ce succès s'est accompagné d'une production démesurée, elle-même transformée souvent instantanément en déchets, accumulés, recyclés parfois, incinérés aussi, mais surtout enfouis sous terre, drainés, échoués, immergés dans tous les océans et tous les abysses du monde, puis fragmentés à des tailles si petites que ces particules trouvent leurs voies jusqu'au cœur des organismes vivants, des plus microscopiques planctons jusqu'à ceux qui s'en nourrissent, mollusques, poissons, humains, perturbant leur développement et leur fonctionnement.

L'agence des Nations-Unies pour l'environnement (UNEP) estime que la masse de déchets plastiques déversés chaque année dans les écosystèmes aquatiques pourrait passer de la classe 9-14 millions de tonnes en 2016 à la classe 27-37 millions de tonnes en 2040.

Tout cela a déjà un coût considérable en termes de santé humaine, de santé des écosystèmes, de qualité des eaux et des sols. Un coût éthique bien sûr et plus prosaïquement un coût financier qui se chiffre chaque année en centaines de milliards d'euros.

En mars 2022, les Nations-Unies ont donc ouvert une négociation internationale sur la pollution plastique. Ces négociations doivent être éclairées par la science, ou plutôt par les sciences, et les multiples disciplines qui concourent à la compréhension de cette crise sans précédent, de ses impacts et des moyens de la résoudre.

L'Alliance Sorbonne Université, c'est-à-dire en l'occurrence Sorbonne Université, le Muséum national d'Histoire naturelle et l'Université Technologique de Compiègne, grâce aux talents de ses chercheurs et à l'immense variété de leurs compétences, contribue à cet indispensable effort international. Elle est la première université française accréditée par l'UNEP pour participer aux négociations internationales.

Son Institut de l'Océan anime le Groupe Plastique de l'Alliance au sein duquel une quarantaine de chercheurs partagent leurs questions et les résultats de leurs recherches. Ils sont chimistes, agronomes, microbiologistes, virologues, écotoxicologues, neuroendocrinologues, écologues, océanographes, biologistes marins... Seule une telle variété de compétences permet d'approcher une crise d'ampleur universelle comme celle de la pollution plastique.

Ils ont rédigé les vingt fiches de ce recueil animés par le souci de la pédagogie et l'impératif de la rigueur. Pédagogie d'une forme succincte exempte de vocabulaire technique. Rigueur scientifique avec l'indication en bas de page des références des meilleures et des plus récentes publications sur chacun des sujets abordés

Que chaque lecteur, armé par les faits et les arguments qu'il aura trouvés dans ce recueil, contribue à l'élaboration des remèdes qui nous soustrairont aux dangers de ce poison si pratique, le plastique.

# QUELQUES REPÈRES SUR LES PLASTIQUES

Depuis 1950 nous avons produit **8,3 milliards de tonnes de plastique**, dont 460 millions en 2023.

L'industrie des plastiques compte plus de **1,5 millions d'employés directs dans 52 000 entreprises**.

**16 000 composés chimiques** sont utilisés dans la fabrication des plastiques.

**5 300 formulations de polymères** sont disponibles dans le commerce et plus de 4 000 substances connues sont associées aux seuls emballages plastiques.

**60 à 80% de la production de plastiques est devenu un déchet**, 50% de cette production n'a été utilisée qu'une seule fois avant d'être jetée (plastique à usage unique), 9% a été recyclé, 12% a été incinéré.

En 1950 chaque humain produisait 800 grammes de déchet plastique par an contre **52 kg** aujourd'hui. 70 kg pour chaque français.

**80% de la pollution plastique est d'origine terrestre** (décharges sauvages, activités agricoles...), 20% d'origine maritime (pêche, transport, plaisance, industrie extractive).

Près de **11 millions de tonnes de plastiques se déversent chaque année dans les océans**, soit un camion benne toutes les minutes.

Il y aurait entre **75 et 199 millions de tonnes de plastiques dans les océans**.

Les plastiques biodégradables ou bio-sourcés représentent **1%** de la production de plastiques

Les microplastiques ont une dimension inférieure à **5 millimètres**. Les nanoplastiques, une dimension inférieure à **1 micromètre** (un millième de millimètre).

Le lavage en machine d'un kilogramme de vêtements synthétiques peut libérer entre **640 000 et 1 500 000 microfibrilles plastiques**.

En Méditerranée, dans les zones les plus polluées on trouve autant de particules de microplastiques que de zooplancton.

Les sols les plus pollués contiennent plusieurs centaines de kilogrammes de microplastiques par hectare.

CHAPITRE 1 :

DE L'USAGE QUOTIDIEN À LA  
DISSÉMINATION

# Fiche 1 : Plastiques et microplastiques dans les objets du quotidien

par Jean-Baptiste Fini, Valentin Dettling, Claire Laguionie, Sarah Samadi

## Les plastiques sont partout sous de multiples formes

© Pour la science



Depuis les années 1950, les composés plastiques ont envahi nos sphères professionnelles et privées et font partie intégrante de notre vie quotidienne. Dans cette ère que certains qualifient de «Plastocène», la révolution plastique, hygiéniste au demeurant, a engendré une modification de notre mode de consommation avec pour conséquence que plus de la moitié des composés que nous utilisons ont une durée de vie de moins de trois ans.

Plus de 5 300 formulations de polymères sont disponibles dans le commerce et plus de 4 000 substances connues sont associées aux seuls emballages plastiques.

Les polymères majoritaires à la base des gourdes, bouteilles, vêtements, ameublement, composés électroniques, appareils électroménagers, matériaux en contact avec les aliments, emballages des cosmétiques, jouets, pneus, masques etc. sont le polyéthylène (PE), polystyrène (PS), polyéthylène téréphtalate (PET), polypropylène (PP), les polycarbonates (PC), polyuréthanes (PU) et les nouveaux plastiques à base d'acide lactique (PLA, PCL, PHA, PLGA...) (voir [Diversité de la chimie des plastiques](#)). Les composés plastiques sont théoriquement classés selon le type de polymère utilisé pour les fabriquer. Sept familles repérées par un numéro (dont la dernière, n°7, qui inclut une grande diversité de polymères) qui indique les procédés de recyclage.

## Les fibres synthétiques

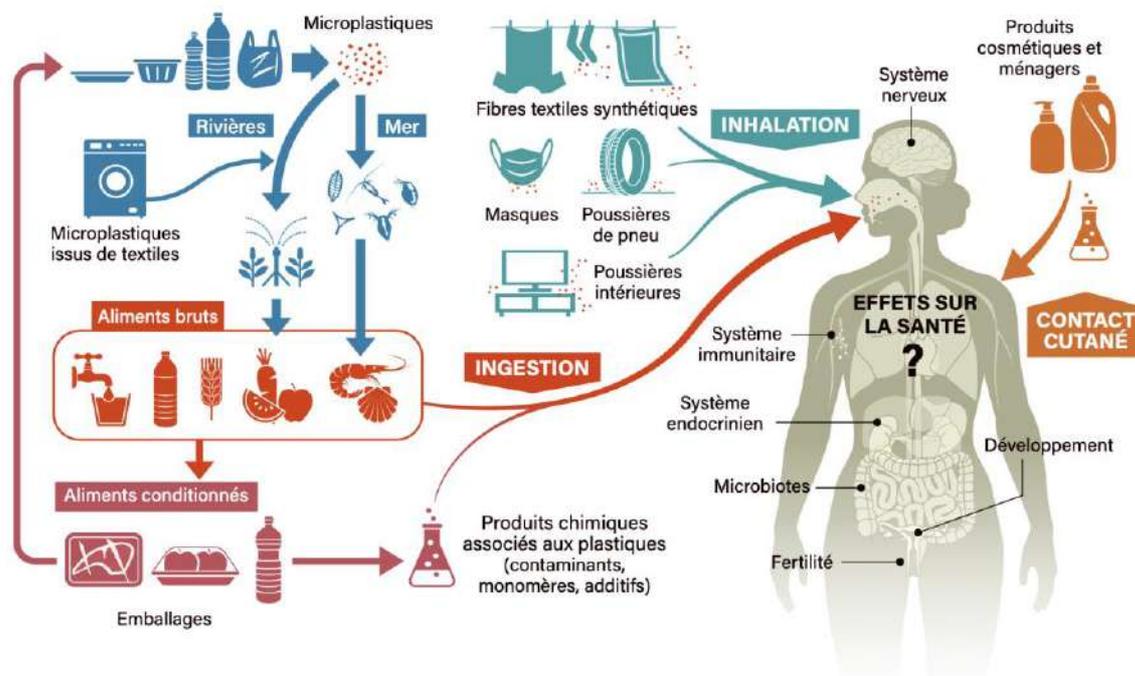
Durant la seule année 2015, entre 5 et 14 millions de tonnes de déchets plastiques auraient atteint la mer. En effet, que ce soit sur terre ou en mer, ces déchets ne se décomposent pas à l'échelle d'une vie humaine. Qu'ils soient ingérés ou non, ils se fragmentent peu à peu jusqu'à devenir des microplastiques, voire des nanoplastiques. Selon les propriétés des textiles synthétiques, le lavage en machine d'un kilogramme de vêtements synthétiques peut libérer entre 640 000 et 1 500 000 microfibrilles plastiques<sup>1</sup>. La majorité de ces microfibrilles sont assez petites pour traverser les filtres des stations d'épuration. Ceci implique que l'eau utilisée pour l'agriculture contient des microplastiques qui peuvent se retrouver dans les aliments comme les graines de tournesol qui servent pour l'huile, qui est pour partie conditionnée en bouteilles plastiques. Nous ingérons donc à la fois ces particules, mais aussi les substances associées au plastique de la bouteille et qui ont diffusé dans l'huile. Les conséquences sur la santé et l'environnement font l'objet d'investigations grandissantes.

## L'alimentation

Pour les contenants alimentaires, plus de 1 200 études scientifiques démontrent clairement la migration de plusieurs molécules à partir de matériaux plastiques en contact avec les aliments. Cette migration est augmentée par la température, la durée de stockage et dépend de la composition chimique de l'article en contact. Pour les aliments, l'épaisseur de la couche en contact avec les aliments et la taille de l'emballage sont aussi des paramètres aggravants, la migration étant proportionnellement plus élevée dans les emballages de petite taille en raison de l'augmentation du rapport surface/volume. Dans une étude de 2022, l'équipe de Jane Muncke a montré qu'une majorité

<sup>1</sup> De Falco et al. 2019. First Investigation of Microfibre Release from the Washing of Laminated Fabrics for Outdoor Apparel. In: *International Conference on Microplastic Pollution in the Mediterranean Sea* (pp. 277-281). Cham: Springer International Publishing.

de produits migrant vers les aliments venant des contenants plastiques<sup>2</sup>. Les bouteilles en plastique, les gobelets en carton plastifié ou les gourdes réutilisables sont également des sources de contamination avec plus de 400 composés plastiques retrouvés dans l'eau après le lavage en machine des gourdes réutilisables<sup>3</sup> jusqu'à plusieurs milliers de microplastiques détectés dans les gobelets en carton plastifié ou en plastique<sup>4</sup>. Enfin, des items comme les sachets de thé, qui ont l'apparence de papier, peuvent être une source de plusieurs milliers de microplastiques<sup>5</sup>.



©Bruno Bourgeois paru dans La pollution invisible des plastiques, JB-Fini, [Pour la Science n° 524](#), juin 2021

Une riche documentation existe sur la présence des microplastiques dans ce que nous ingérons. Des intervalles variant de quelques milligrammes par jour à 5 grammes par semaine (ce dernier chiffre très relayé mais largement surestimé) s'expliquent par une variété de méthodes pour isoler, quantifier et analyser ces particules dans divers types d'aliments ou d'eau<sup>6</sup>. Bien que l'estimation exacte soit complexe, l'ingestion des particules ou des additifs des plastiques via nos objets du quotidien est indiscutable. Afin de limiter notre exposition, une diminution de la production (voir [Les défis normatifs, éthiques et économiques de nos sociétés face à la production plastique](#)) ainsi que l'utilisation de nouvelles méthodologies permettant d'évaluer l'impact sur la santé des organismes sont à mettre en place. Les plastiques contenant de nombreuses molécules potentiellement perturbatrices des systèmes hormonaux (voir [Impacts des plastifiants sur l'environnement et la santé](#)), une approche, d'évaluation des risques sanitaires et environnementaux, basée sur le danger (comme c'est le cas pour les perturbateurs endocriniens) et non le risque (qui une approche générale prenant en compte l'exposition) est nécessaire.

<sup>2</sup> Geueke et al 2022. Systematic evidence on migrating and extractable food contact chemicals: most chemicals detected in food contact materials are not listed for use. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2022, 63 (28), 9425–9435. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2067828>.

<sup>3</sup> Tisler & Christensen 2022. Non-target screening for the identification of migrating compounds from reusable plastic bottles into drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, 429, p.128331.

<sup>4</sup> Chen H, Xu L, Yu K, Wei F, Zhang M. Release of microplastics from disposable cups in daily use. *Sci Total Environ.* 2023 Jan 1;854:158606. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158606. Epub 2022 Sep 9. PMID: 36089043.

<sup>5</sup> Mei T, Wang J, Xiao X, Lv J, Li Q, Dai H, Liu X, Pi F. Identification and Evaluation of Microplastics from Tea Filter Bags Based on Raman Imaging. *Foods.* 2022 Sep 16;11(18):2871. doi: 10.3390/foods11182871. PMID: 36140997; PMCID: PMC9497986.

<sup>6</sup> Barceló D, Picó Y, Alfarhan AH. Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2023 Aug;101:104204. doi: 10.1016/j.etap.2023.104204. Epub 2023 Jun 28. PMID: 37391049.

## Fiche 2 : Dynamique des sources de contamination

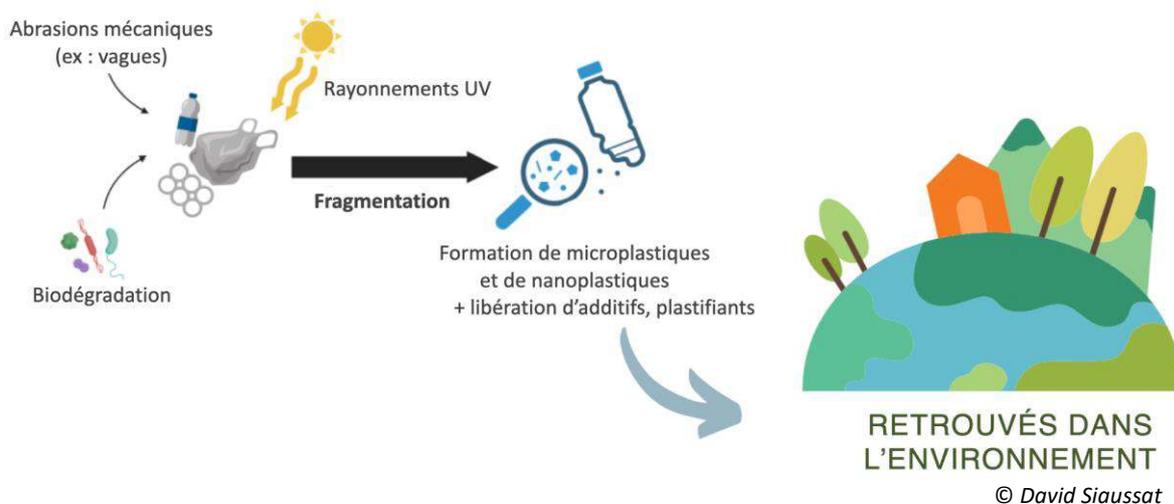
par David Siauxsat

Conçus à l'origine comme des matériaux résistants et de longue durée, les plastiques ont été rapidement et largement utilisés pour des usages uniques de très courte durée menant à la production annuelle d'une très grande quantité de déchets plastiques. Ils contiennent de nombreux composés chimiques (16 000 sont utilisés dans leur fabrication), dont beaucoup sont toxiques pour les humains ou l'environnement (voir [Le plastique est-il toxique ?](#) et [Impacts des plastifiants sur l'environnement et la santé](#)) et peu sont régulées (voir [Les défis normatifs, éthiques et économiques de nos sociétés face à la production plastique](#)).

### Des chiffres alarmants sur les déchets plastiques ménagers

Tous les pays du monde produisent ou consomment d'importantes quantités de plastiques ce qui amène à la production d'autant de déchets (entre 60 et 80 % de la quantité produite). Les chiffres fluctuent entre des millions et des milliards de tonnes de déchets par an, dont 353 millions de tonnes de déchets plastiques en 2019. Une étude<sup>7</sup> a ainsi montré la progression entre 1950 et 2015 de cette quantité : 0,8 kg de déchets plastiques par habitant en 1950 contre 52 kg en 2015.

### Des déchets qui se transforment



Une des problématiques majeures est que beaucoup de ces déchets plastiques, en particulier les plastiques à usage unique et ceux utilisés pour l'emballage alimentaire, sont mal gérés (voir [Le traitement des déchets](#)) et se retrouvent dans la nature (voir [La pollution plastique, des fleuves à la mer](#)) produisant des macrodéchets qui vont subir des dégradations. Ces dégradations des plastiques dans la nature sont dépendantes :

- des conditions de l'environnement : paramètres physiques comme le gel ou mouvements mécaniques (vent, vagues) induisant des fragmentations ou usures de matériau, paramètres chimiques comme l'action des rayons ultra-violet, de l'oxygène et de l'eau ;
- de facteurs biologiques : microorganismes qui peuvent détériorer les plastiques en formant un biofilm à la surface du plastique ou les fragmenter en libérant des enzymes qui vont transformer les polymères du plastique en molécules plus petites (voir [La plastisphère](#)).

<sup>7</sup> Geyer et al., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3(7).

La dégradation des plastiques se traduit par leur fragmentation en particules de dimensions de plus en plus petites : déchets plastiques => macro-déchets plastiques => microplastiques (< 5 mm) => nanoplastiques (< 1 µm). A chaque étape, il peut aussi y avoir libération des additifs et de diverses substances chimiques ajoutés au polymère plastique pour lui donner des propriétés particulières (dureté, élasticité...) (voir [Diversité de la chimie des plastiques](#)).

*A noter* : Certains de ces microplastiques appelés primaires sont fabriqués intentionnellement par les industriels pour différents usages (particules de gommage cosmétiques ou détergents par exemple) alors que les microplastiques secondaires proviennent de la fragmentation accidentelle dans l'environnement (usure des pneus, textiles, gazons synthétiques, peintures...).

## La durée de vie des plastiques dans l'environnement

La cinétique de dégradation dépend de la nature chimique du polymère et des facteurs externes liés au milieu dans lequel il se trouve. Ainsi, le même polyéthylène se dégradera différemment en fonction des conditions de son environnement et des microorganismes qui l'entourent. Les données sur le vieillissement des plastiques sont assez difficiles à obtenir et les estimations varient en fonction des études, de quelques années à plusieurs dizaines de milliers. Toutefois, il y a un consensus scientifique sur la persistance des polymères dans l'environnement.

## Différentes sources sur le globe

Du fait de l'utilisation massive des plastiques dans la vie quotidienne (voir [Plastiques et microplastiques dans les objets du quotidien](#)), des fuites peuvent apparaître tout au long de leur existence. Ces fuites sont à l'origine de la présence de plastiques, sous différentes formes, dans tout l'environnement. Les activités humaines terrestres jouent un rôle prépondérant dans l'origine de cette pollution. Quotidiennement, dans nos différentes activités professionnelles ou personnelles, dans le cadre de nos loisirs et de notre consommation, nous utilisons des plastiques susceptibles de contribuer à la pollution plastique. On estime qu'environ 80% de cette pollution serait d'origine terrestre (voir [Le plastique dans les sols](#)).

20% de la pollution plastique serait due à des sources maritimes. Quatre secteurs sont particulièrement impactants : les activités de la pêche et de l'aquaculture (des filets et du matériel en plastique par exemple) ; le transport maritime (peinture antifouling, perte en mer de conteneurs contenant des granulés plastiques industriels...) ; les activités de plaisance (déchets, rejets...) ; l'exploration et l'exploitation minière et pétrolière.

## Dynamique de transfert entre compartiments et zones d'accumulation

La pollution plastique est un processus dynamique qui est dû :

- aux pertes ou aux fuites de plastiques sur l'ensemble de leur existence, depuis leur production jusqu'à leur utilisation et leur traitement en tant que déchets ;
- au transfert des plastiques dans l'environnement par les réseaux d'eaux usées ou pluviales, l'air et le vent, la pluie et la neige, les fleuves et les rivières, et les courants marins ;
- à l'arrivée et à l'accumulation des plastiques dans l'un des quatre compartiments environnementaux que sont les eaux douces, le sol, l'air et les mers/océans.

La pollution plastique peut donc être indirecte et provenir d'une voie de transfert ou directe en raison d'un événement local.

## Fiche 3 : La pollution plastique, des fleuves à la mer

par Jean-François Ghiglione

### Des fleuves de plastique qui se déversent en mer



© Esmeralda Labye, RTB

On estime que plus de 11 millions de tonnes de plastiques arrivent chaque année dans les océans, soit l'équivalent d'un camion-benne par minute. 80% des plastiques viennent du continent, charriés par les fleuves. Les fleuves les plus pollués sont situés en Asie. Il y aurait entre 75 et 199 millions de tonnes de plastiques actuellement dans les océans<sup>8</sup>.

### Les microplastiques, une bombe à retardement

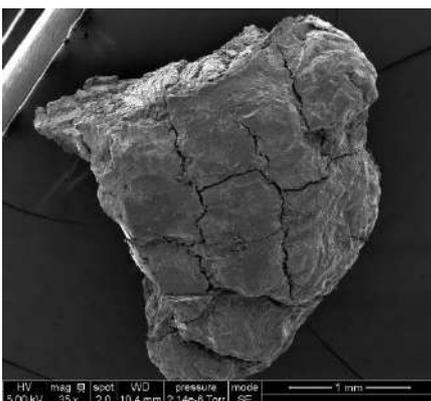
Les plastiques retrouvés dans l'environnement sont majoritairement sous forme de microplastiques (en nombre), qui sont impossibles à nettoyer. Ils sont soit sous forme de granulés issus des producteurs de plastiques (microplastiques primaires), ou bien ils proviennent de la fragmentation des macrodéchets sous l'effet de l'abrasion et des ultraviolets (microplastiques secondaires).

Plus de 90% des morceaux de plastiques retrouvés dans les fleuves sont déjà sous forme de microplastiques. En mer Méditerranée, on trouve parfois autant de microplastiques que de zooplancton, dont se nourrissent les poissons que nous mangeons<sup>9</sup>.



© Christian Sardet et Jean-François Ghiglione

### Une fragmentation jusqu'aux nanoplastiques



© Alexandra ter Halle

Jusqu'ici, la plupart des études ont focalisé leur attention sur les microplastiques visibles à l'œil nu (5 à 0,5 mm), qui flottent essentiellement à la surface. Mais les plus petits microplastiques (0,5 mm à 1 µm) sont distribués partout dans la colonne d'eau; ils sont 100 fois plus nombreux et ils représentent la même masse. Dans l'environnement, ils vont continuer à se fragmenter en nanoplastiques (< 1 µm) qui sont capables de passer les barrières des organes et des cellules. La quantification des nanoplastiques dans l'environnement est un nouveau challenge pour les scientifiques<sup>10</sup> (voir [Méthodes de quantification des micro- & nanoplastiques](#)).

<sup>8</sup> UNEP 2021. From pollution to solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution.

<https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>

<sup>9</sup> Pedrotti et al., 2022. An integrative assessment of the plastic debris load in the Mediterranean Sea. Science of the Total Environment, 838, 155958. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155958>

<sup>10</sup> Poulain et al., 2018. Small microplastics as a main contributor to plastic mass balance in the North Atlantic subtropical gyre. Environmental science & technology. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05458>

CHAPITRE 2 :

LES PLASTIQUES : CHIMIE ET  
CYCLE DE VIE

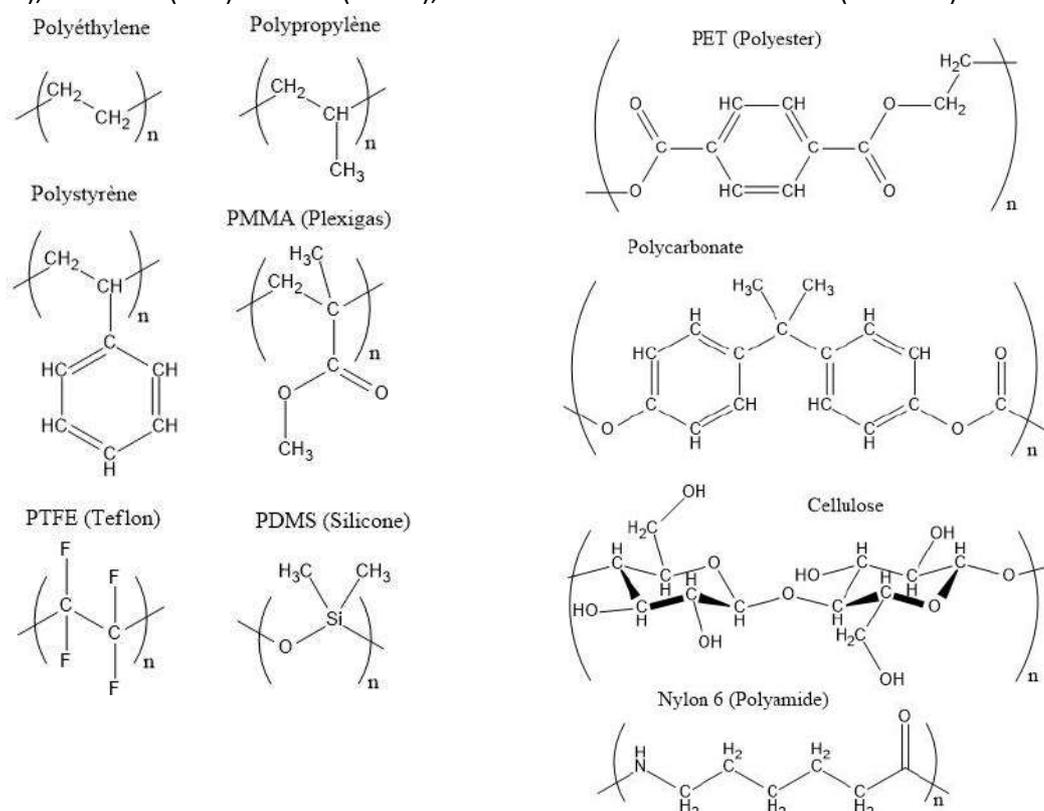
## Fiche 4 : Diversité de la chimie des plastiques et substances non ajoutées intentionnellement (NIAS)

par Patrice Castignolles, Philippe Guégan

### Diversité de la chimie des plastiques - les polymères

Les matériaux plastiques sont constitués de polymères, de charges et de différents additifs. Les polymères correspondent à un assemblage de très grandes molécules : les macromolécules.<sup>11</sup> Le polymère dans un plastique est typiquement formé par des milliers voire des millions de macromolécules différentes. Les macromolécules dans un polymère tendent à contenir les mêmes atomes mais en nombre variable, arrangés différemment (isomères, ramifications).

Certains polymères ne contiennent que des atomes de carbone et d'hydrogène (polyéthylène, polystyrène, polypropylène) qui sont la base de la matière organique. D'autres polymères contiennent aussi des atomes d'oxygène (plexiglas, polycarbonate, polyester, cellulose), d'azote (nylon), de chlore (PVC) de fluor (téflon), voire silicium au lieu du carbone (silicones).



### Diversité de la chimie des plastiques - les additifs et les charges

Les plastiques ne sont pas constitués uniquement par les polymères (PE, PS, PP...), ils contiennent également d'autres composés chimiques appelés additifs et des charges qui sont ajoutés pendant leur fabrication :

- esthétique : couleur
- de durabilité : antioxydant, anti-UV
- de sécurité : anti-statique, ignifugeant
- d'amélioration de mise en œuvre : lubrifiants, agents anti-retrait, plastifiants
- d'amélioration des propriétés mécaniques (souplesse, dureté, etc.) : plastifiants

<sup>11</sup> Fontanille et al. 2021. Chimie et physico-chimie des polymères. 594 pages. ISBN : 9782100819478. URL : <https://www.cairn-sciences.info/chimie-et-physico-chimie-des-polymeres--9782100819478.htm>

Les charges ont pour but de renforcer le matériau, ou diminuer son coût. Les charges ou les additifs peuvent être minérales contenant une grande variété d'atomes comme calcium, potassium, silicium, aluminium. Ils peuvent représenter de 0% à la majorité (90 %) du matériau plastique. Ils ne sont pas liés de façon covalente chimiquement aux chaînes de polymères. Les additifs peuvent être aussi des petites molécules plus ou moins miscibles au polymère. Un additif ne contient typiquement que quelques molécules différentes. En revanche, les différents additifs (plus de 16000 différents sont utilisés, voir [Plastiques et microplastiques dans les objets du quotidien](#)) possèdent une plus grande diversité chimique que les polymères, avec des atomes de fluor, brome, phosphore, des métaux. Un quart des additifs utilisés dans les plastiques sont préoccupants pour la santé humaine et l'environnement (voir [Impacts des plastifiants sur l'environnement et la santé](#)).

## Synthèse de polymères et NIAS

Les polymères sont naturels, artificiels ou synthétiques. Les polymères naturels sont issus du monde végétal ou animal, par exemple la cellulose donnant la cellophane. Les polymères artificiels sont obtenus après modification chimique de polymères naturels comme l'acétate de cellulose (viscose). Les polymères synthétiques sont issus du génie de l'homme, comme le polyéthylène, le polystyrène. Ils sont obtenus par une cascade de réactions chimiques : la polymérisation de molécules, les monomères. Les monomères sont actuellement issus très majoritairement du pétrole mais peuvent être biosourcés. Les polymères synthétiques représentent un tonnage annuel de plus de 400 millions dans le monde.<sup>12</sup> Parmi les avantages notables des polymères, on peut souligner leur faible coût de revient, la réalisation de formes d'objets jusque-là inaccessibles et un rapport poids/volume très favorable, ce qui en fait un matériau de choix pour beaucoup de filières industrielles. Mais ils présentent des risques environnementaux et sanitaires (voir [Impacts des plastifiants sur l'environnement et la santé](#) et [Microplastiques et cycles biogéochimiques marins](#)).

Les substances non ajoutées intentionnellement (NIAS) sont typiquement présentes en quantités faibles mais variables dans les plastiques. Les sources sont très variables, tout au long de la production des plastiques et de leur recyclage : impuretés dans les monomères, réactions chimiques non voulues lors de la polymérisation, pollution lors de la polymérisation ou de la mise en forme du plastique. Les NIAS venant des monomères vont différer entre pétrosourcé et biosourcé. Différents NIAS peuvent être formés lors des différents types de polymérisation et selon le type de réacteur utilisé et son utilisation précédente.

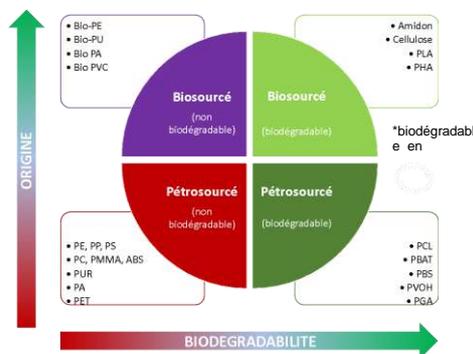
---

<sup>12</sup> <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>

# Fiche 5 : Les plastiques biodégradables : distinguer le vrai du faux

par Jean-François Ghiglione & Marie-France Dignac

## Biosourcé, biodégradable, compostable, bioplastique, de quoi parle-t-on ?

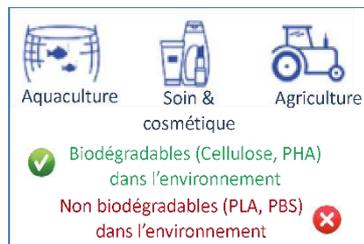


© Jean-François Ghiglione

- **Biodégradable :** Transformation ultime du polymère par les microorganismes en biomasse et CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ou sels minéraux.
- **Biosourcé :** Polymère produit à partir de biomasse, par opposition au pétrosourcé, d'origine fossile. Biosourcé n'est pas forcément associé à biodégradabilité.
- **Bioplastique :** Biosourcé et/ou biodégradable.
- **Compostable :** Biodégradation complète en condition de compostage industriel et/ou domestique.<sup>13</sup>

A noter : Ces définitions considèrent uniquement le polymère qui constitue une part du plastique, sans tenir compte des additifs<sup>14</sup>. Le terme de bioplastique est de moins en moins utilisé car il est fallacieux et suggère qu'un polymère biosourcé est écologique.

## Les plastiques biodégradables ne se substituent pas aux plastiques conventionnels



© Jean-François Ghiglione

Souvenons-nous aussi que l'histoire des matériaux biosourcés au XIXe (latex, résines, coton...) est jalonnée de graves atteintes à l'environnement et aux droits humains<sup>15</sup>.

## Les normes actuelles ne représentent pas la réalité de l'environnement



© Richard Thompson

Plusieurs études scientifiques ont montré que les normes actuelles (ISO, AFNOR) ne traduisent pas la réalité de l'environnement, avec des plastiques dits « biodégradables » qui ne montrent pas de signe de biodégradation après plusieurs années en milieu naturel. La question de la biodégradabilité des additifs n'est pas abordée. La filière de collecte des plastiques compostables est difficile à mettre en place et ils ne sont généralement pas biodégradables dans l'environnement<sup>16</sup>.

<sup>13</sup> Gontard et al. (2019) Les bioplastiques biodégradables et compostables. Sphere.

<sup>14</sup> Paul-Pont et al. (2023) Discussion about suitable applications for biodegradable plastics regarding their sources, uses and end of life. Waste Management Journal. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.022>.

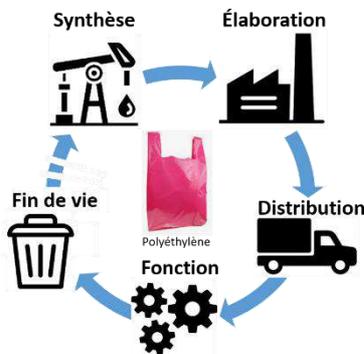
<sup>15</sup> Altman 2021. The myth of historical bio-based plastics. Science, 373(6550), pp.47-49.

<sup>16</sup> Napper & Thompson (2019). Environmental deterioration of biodegradable, oxo-biodegradable, compostable, and conventional plastic carrier bags in the sea, soil, and open-air over a 3-year period. Environmental science & technology. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06984>.

## Fiche 6 : L'analyse du cycle de vie quantitative et ses limites

par Alba Marcellan & Nadège Pantoustier

### L'Analyse du Cycle de Vie (ACV), c'est quoi ?



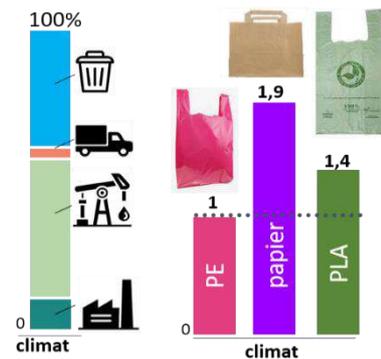
©Alba Marcellan & Nadège Pantoustier

L'ACV est devenu un outil indispensable d'aide à la décision pour l'éco-conception. Depuis que le concept de limites à la croissance dans un monde fini<sup>17</sup> s'est imposé à la fin des années soixante, une réflexion sur l'évaluation des impacts environnementaux de produits ou de services, s'est initiée. Cette évaluation d'impacts (par exemple de « l'achat d'un sac en polyéthylène (PE) pour porter mes courses »), repose sur une analyse multi-étapes du cycle de vie « cradle-to-grave » (du berceau à la tombe), et multi-critères, parmi lesquels les impacts sur le climat, mais aussi la consommation d'eau, la toxicité humaine, etc. Cette démarche est standardisée depuis 2006 : la norme ISO 14040 donne les lignes directrices pour la pratique de l'ACV.

### De la nécessité de passer de l'intuition à la quantification

Après une définition stricte des objectifs et du système, l'inventaire des flux physico-chimiques impliqués pour chacune des étapes du cycle de vie, de l'extraction des matières premières à l'élimination finale, est nécessaire.

Une fois la collecte de données réalisée, l'idée est de traduire les flux physico-chimiques identifiés en impacts environnementaux. Pour un sac de courses en PE à usage unique, on observe très clairement que les étapes d'extraction des ressources et la fin de vie sont les plus impactantes. Raisonner en bénéfices environnementaux comparés<sup>18</sup> permet d'avancer dans la prise de décision : sac en plastique conventionnel (PE), sac en papier ou sac en polymère biosourcé compostable (PLA) ?



©Alba Marcellan & Nadège Pantoustier

### Plastiques : vers une redéfinition des besoins

Les limitations de l'ACV portent aujourd'hui sur deux aspects : 1/ la disponibilité et la qualité des données ainsi que 2/ des lacunes méthodologiques entre calculs d'impacts réels et potentiels. Ainsi, l'impact « toxicité humaine » est évalué selon une méthode standardisée (norme ISO), mais on perçoit bien la complexité de sa quantification. Une plus grande robustesse scientifique des indicateurs d'impact reste un enjeu dans le domaine.

L'interprétation rigoureuse des résultats implique une évaluation des incertitudes des données disponibles et des méthodes de calcul afin de fixer un seuil de significativité. En comparant un sac en papier ou en polymère biosourcé vis-à-vis du standard en polyéthylène, les indicateurs d'impacts sont opérationnels et pertinents, à la condition d'apprécier l'incertitude des résultats. En outre, la méthode ne prend pas en compte les impacts socio-économiques.

<sup>17</sup> Donella et al. 1972. The Limits to Growth; a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe Books.

<sup>18</sup> Civančik-Uslu et al. 2019. Life cycle assessment of carrier bags and development of a littering indicator. STOTEN 685: 621-630.

Sachant que le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas, la redéfinition du besoin et de l'usage des plastiques semblent indispensables : Combien de fois puis-je utiliser mon sac de courses en PE vs. sac en papier ? Comment cela affecte-t-il mon impact ? Pourquoi le plastique est-il à usage unique ? **Les politiques publiques doivent donc prendre en compte tout le cycle de vie du plastique, dans les faits en considérant la problématique de la gestion des déchets générés, mais surtout donner les moyens pour redéfinir les/nos besoins en plastiques, en intégrant donc des impacts socio-économiques.**

## Fiche 7 : Le traitement des déchets

par Marie-France Dignac, Gabin Colombini & Jean-François Ghiglione

### Dans nos poubelles



©Jules Vagner-Objectif Zero Plastique

- La part en masse des plastiques dans les déchets urbains aux Etats-Unis est passée de moins de 1 % en 1960 à plus de 12 % en 2018<sup>19</sup>, avec un coût de traitement très élevé porté par les collectivités (voir [Les défis normatifs, éthiques et économiques de nos sociétés face à la production plastique](#)).
- Environ **50 % des plastiques produits sont destinés à un usage unique<sup>20</sup>, et près des deux tiers à une utilisation courte<sup>21</sup>**.
- 80 % des 8,3 milliards de tonnes de plastiques produits depuis 1950 ont fini dans l'environnement<sup>20</sup>.
- Les déchets urbains contiennent aussi 34 % de biodéchets<sup>19</sup> qui peuvent être valorisés pour enrichir les sols en matières organiques.

### Le paradoxe des plastiques retrouvés dans les déchets organiques

Des plastiques et microplastiques contaminent la fraction organique des déchets traités biologiquement (par compostage, méthanisation...) avant retour au sol et sont une source de pollution des sols (voir [Le plastique dans les sols](#)). Ils se retrouvent dans les déchets organiques suite aux erreurs de tri ou à une absence de tri à la source des biodéchets ou encore lors du déemballage des déchets organiques avant méthanisation (production de biogaz), dont les digestats sont épandus sur les sols.

**Réduire la quantité de plastiques dans les déchets permettrait de mieux valoriser leur fraction organique, source essentielle de nutriments et de carbone pour les sols.**

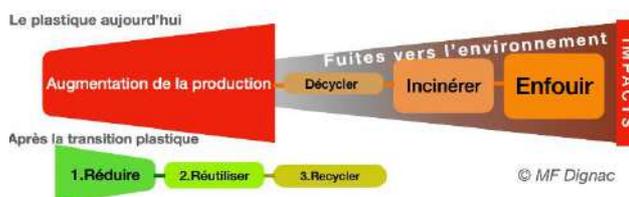


©CEFAS/FAO

### La transition plastique

La hiérarchie des déchets ou concept 3R établit des priorités selon l'impact des déchets sur l'environnement :

1. **Réduire<sup>22</sup>** la production de plastique et la production de déchets (par une consommation plus responsable, une réduction des emballages et l'élimination des plastiques non essentiels).
2. **Réutiliser** les plastiques dont on ne peut se passer plutôt que les jeter après usage. Cela nécessite de concevoir des objets que l'on peut réparer et des plastiques que l'on peut réemployer, re-remplir... en s'assurant qu'ils ne présentent pas de toxicité avec le temps.
3. **Recycler** après collecte et tri des déchets, en dernier recours. Aujourd'hui, le recyclage ne fait que retarder l'élimination finale, puisque les plastiques ne sont recyclés qu'un nombre limité de fois en un plastique de moins bonne qualité<sup>23</sup> ("décyclage"). La transition plastique nécessite de repenser et simplifier les formulations des plastiques<sup>24</sup> pour pouvoir augmenter le taux de recyclage qui n'est aujourd'hui que de 12% des déchets en Europe.



<sup>19</sup> Environmental Protection Agency, 2018. Advancing Sustainable Materials Management: [Facts and Figures Report](#).

<sup>20</sup> Geyer et al., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science advances, 3. [10.1126/sciadv.1700782](#)

<sup>21</sup> UNEP, 2021. [From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution](#).

<sup>22</sup> Lau et al., 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. Science, 369(6510), pp.1455-1461.

<sup>23</sup> Carmona et al., 2023. [A dataset of organic pollutants identified and quantified in recycled polyethylene pellets](#). Data in Brief, 51.

<sup>24</sup> Dey et al., 2022. Global plastic treaty should address chemicals. Science, 378, pp.841-842. [10.1126/science.adf5410](#)

## Fiche 8 : Les procédés de recyclage

par Nicolas Illy, Patrice Castignolles

Afin de minimiser l'impact environnemental des matières plastiques, la réduction des déchets ou leur réutilisation directe sont les solutions à favoriser en priorité. Le développement de filières de recyclage complète les 3R (réduction, réutilisation, recyclage) pour les plastiques qui ne peuvent être ni supprimés, ni réutilisés, pour éviter l'incinération et la mise en décharge.

Le recyclage des plastiques représente un défi technologique qui ne possède pas de solution unique ou établie. Plusieurs solutions complémentaires sont développées afin d'envisager le traitement de déchets de natures et de tonnages différents. La production de plastique suit plusieurs étapes : synthèse du polymère à partir de petites molécules, les monomères (issus majoritairement du pétrole et anecdotiquement de la biomasse), mise en forme du plastique (extrusion, injection-moulage, injection soufflage etc...) typiquement en fondant le polymère et y ajoutant très majoritairement des additifs et charges. Le recyclage consiste à utiliser un plastique usagé comme approvisionnement à une étape de la production du plastique. Selon l'étape de la production du plastique à laquelle le plastique recyclé intervient, on distingue 2 grandes catégories<sup>25</sup> :

- Les procédés de **recyclage physique** visent à récupérer les chaînes polymères sans dégrader de façon notable leurs structures à l'échelle des (macro)molécules puis à les remettre en forme.
- Les procédés de **recyclage chimique** visent à couper les chaînes polymères en petites molécules, qui peuvent être soit des monomères utilisables pour synthétiser de nouveaux polymères, soit des carburants ou des matières premières utilisables comme additifs ou pour des processus chimiques autres que pour la production de plastiques.

### Recyclage physique

Il existe actuellement deux types de procédés de recyclage physique : le recyclage mécanique et les procédés par dissolution. Le recyclage mécanique consiste à isoler un type de plastique par le tri des déchets, à le broyer puis à le fondre et à le remettre en forme. Cette méthode a l'avantage de pouvoir refabriquer un plastique avec un coût énergétique faible. Par contre, tous les plastiques ne peuvent pas être isolés et de plus, on note une diminution des performances (en termes de propriétés d'usage) des matières recyclées en raison de la dégradation des chaînes polymères lors de la fonte et de la contamination par la mise en déchets et par l'accumulation des additifs précédents (les NIAS). Cette perte de qualité oblige les industriels soit à ajouter un pourcentage variable de résines vierges afin de rehausser les propriétés soit à recycler le plastique pour une application différente moins exigeante en termes de propriétés d'usage (comme le recyclage de PET de bouteilles en plastique dans l'industrie textile). Ce mode de recyclage est particulièrement adapté au PET, car il est facile à séparer des autres plastiques.

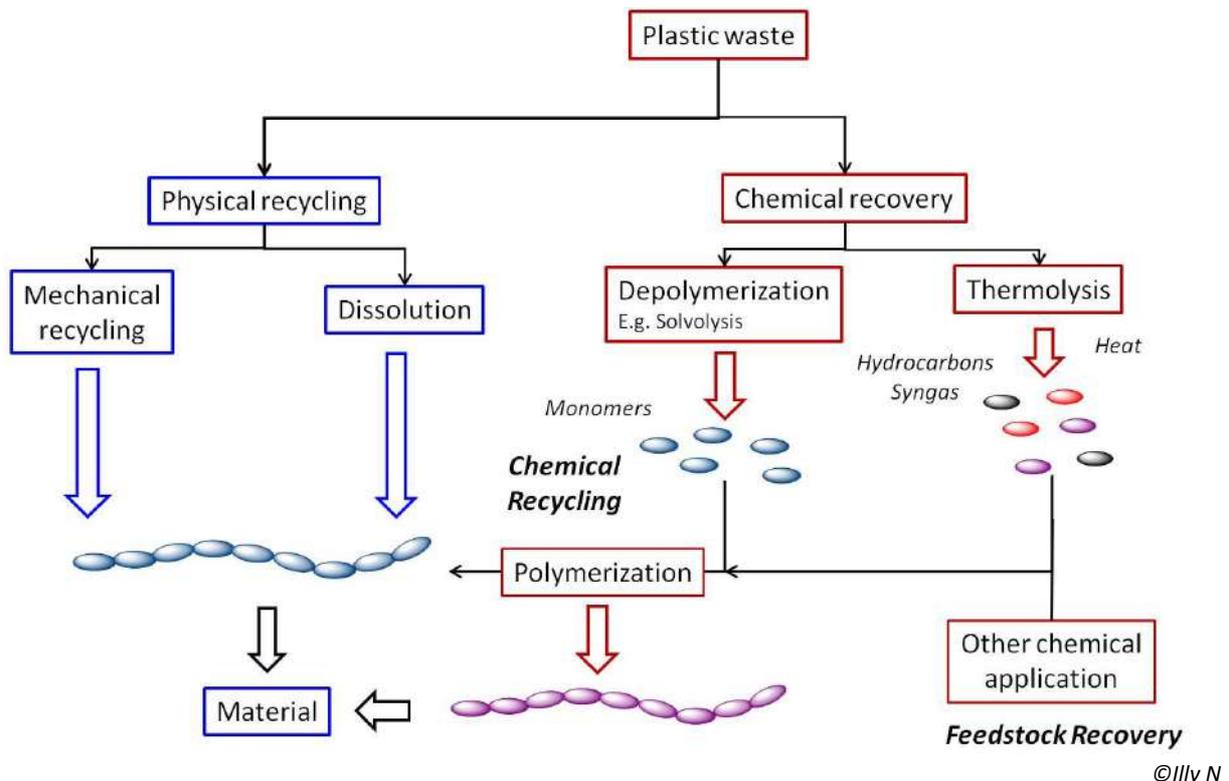
Le recyclage par dissolution consiste à dissoudre le matériau plastique dans un bon solvant des chaînes polymères puis à reprécipiter ces dernières à l'aide d'un mauvais solvant. Cette technique, applicable à quasiment tous les polymères issus de thermoplastiques en théorie est adaptée à des mélanges plus complexes, est moins coûteuse<sup>25</sup> en énergie que le recyclage mécanique et permet l'obtention d'une matière recyclée relativement pure mais elle nécessite l'utilisation de quantités importantes de solvants organiques et est de ce fait assez peu adaptée à de forts tonnages.

<sup>25</sup> Goring, P. D.; Priestley, R. D. Polymer Recycling and Upcycling: Recent Developments toward a Circular Economy. *Journal of the American Chemical Society* Au **2023**, 3 (10), 2609-2611.

## Recyclage chimique

Le recyclage chimique implique d'isoler un plastique déterminé, de procéder à une étape de lavage puis de le couper en petites molécules. Cette étape de découpage est appelée *dépolymérisation* et peut être effectuée selon un certain nombre de voies : chauffage du polymère (*thermolyse*), découpage par un réactif organique en présence de catalyseurs (*solvolyse*), ou utilisation d'enzymes (*recyclage enzymatique*). La dépolymérisation n'est pas possible avec tous les polymères: elle est par exemple beaucoup plus simple avec les polyesters qu'avec les polyoléfines (polyéthylène, polypropylène). Elle nécessite d'être adaptée à chaque famille de polymères. Le recyclage chimique couvre donc une plus grande diversité de procédés que le recyclage physique avec encore plus de recherches fondamentales et appliquées nécessaires pour comprendre le fonctionnement de ces procédés, leur performances et à terme leur utilité. L'avantage du recyclage chimique est de pouvoir obtenir un nouveau polymère puis un nouveau plastique sans pertes de performances, ou selon le procédé avec une perte de performances plus faible qu'avec le recyclage mécanique. Par contre, les différentes étapes permettant la dépolymérisation ont des coûts financier, énergétique et écologique variables mais supérieurs au recyclage mécanique. Comprendre la polymérisation au niveau fondamental et appliqué est une priorité actuelle de la recherche sur les plastiques avec notamment pour objectif de parvenir à recycler sans conduire à des produits de moins qualité ("downcycling") pour contribuer à la mise en place d'économies circulaires.<sup>26</sup>

La grande diversité des plastiques mène à une grande diversité des procédés de recyclage. Les recyclages mécaniques, par dissolution ou chimique sont différents, avec des points faibles en termes de fin de vie du matériau, pollution par des solvants, etc., qui diffèrent selon le procédé. Cette grande diversité rend les recyclages complexes à comprendre et à mettre en place mais offre en même temps beaucoup de pistes à explorer pour le futur.<sup>27 28</sup>



Les différentes voies de recyclage des polymères.

<sup>26</sup> Xu & Wang 2022. Chemically recyclable polymer materials: polymerization and depolymerization cycles. *Green Chemistry* 24, 2321-2346

<sup>27</sup> Liu & Lu 2023. Emerging Trends in Closed-Loop Recycling Polymers: Monomer Design and Catalytic Bulk Depolymerization. *Chemistry–A European Journal* 29(23), p.e202203635.

<sup>28</sup> Lummwer et al. 2023 Ring-opening polymerization for the goal of chemically recyclable polymers. *Macromolecules* 2023, 56, 3, 731–750

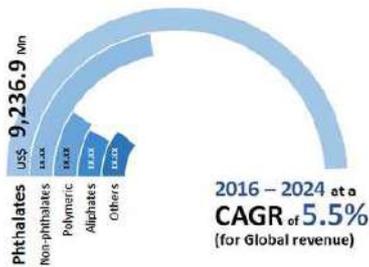
CHAPITRE 3 :

LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT  
ET LA SANTÉ

## Fiche 9 : Impacts des plastifiants sur l'environnement et la santé

par Jean-Baptiste Fini & Sakina Mhaouty-Kodja

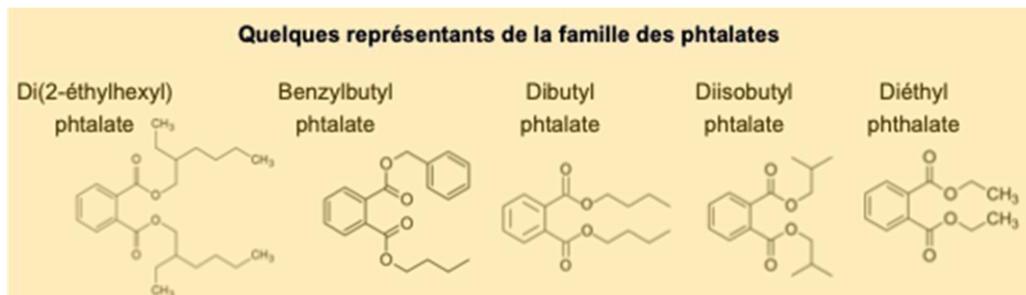
Global Plasticizers Market, by Product Type, 2015 (US\$ Mn)



© Transparency Market Research Analysis, 2017

L'humanité a produit 8,3 milliards de tonnes de plastiques entre 1950 et 2015 et cette production continue avec un taux de croissance annuel de 8,4%<sup>29</sup>. Du simple fait de leur abondance, les matières plastiques constituent donc une source importante d'exposition humaine et de la biodiversité aux micro/nanoparticules de plastiques mais également aux plastifiants (additifs) et monomères (non polymérisés) qui entrent dans la composition du plastique. Une étude récente montre que 4000 des 16000 substances utilisées dans les plastiques sont problématiques pour la santé ou l'environnement<sup>30</sup>.

### Plastifiants quels sont-ils ?



© Mhaouty-Kodja S.

Parmi les plastifiants les plus couramment utilisés et les plus abondants figure la famille des phtalates. Ces additifs permettent d'assouplir les composés plastiques et les rendre flexibles. Ils entrent notamment dans la composition du plastique de type poly(chlorure de vinyle) (PVC), polyéthylène (PE) basse densité, mais on peut les retrouver dans les formulations cosmétiques ou encore dans les adjuvants pour les herbicides.

### Quelle contamination humaine et environnementale par les phtalates ?

Les phtalates, n'étant pas liés de manière covalente au plastique, peuvent s'en détacher peu à peu et diffuser dans l'environnement. L'étude française Esteban a montré qu'au moins un métabolite de phtalates est retrouvé dans 80 à 99% des échantillons d'urine d'adultes et d'enfants<sup>31</sup>. Cette contamination n'est pas restreinte aux régions industrielles mais concerne même la faune des régions reculées telles que les fourmis de la forêt amazonienne<sup>32</sup> ou encore les mammifères marins de l'arctique<sup>33</sup>. Fauvelle et al.<sup>34</sup> ont estimé que les rejets cumulés d'additifs plastiques dans les eaux de surface et les eaux profondes varient de 2,3 à 132 tonnes par an pour le PVC et de 0,4 à

<sup>29</sup> Geyer et al., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3. 10.1126/sciadv.1700782

<sup>30</sup> Wagner et al. 2024 State of the science on plastic chemicals - Identifying and addressing chemicals and polymers of concern. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10701706>.

<sup>31</sup> Santé publique France 2019. Imprégnation de la population française par les phtalates : Programme Esteban 2014-2016

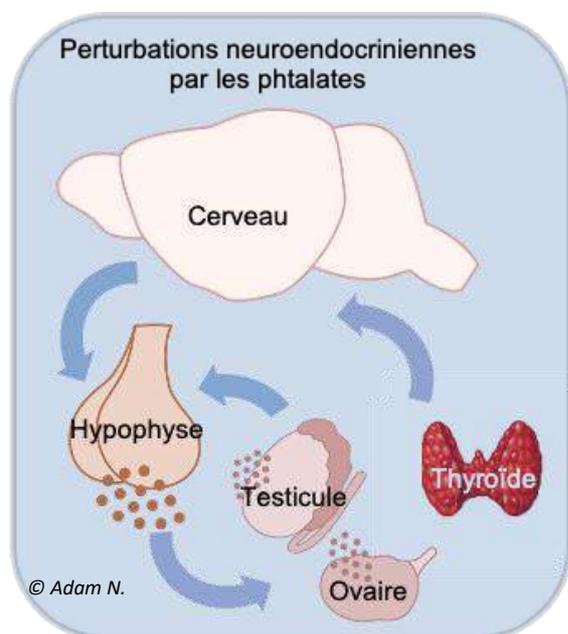
<sup>32</sup> Lenoir et al. 2016. Phthalate pollution in an Amazonian rainforest. *Environ Sci Pollut Res* 23(16):16865-72. doi: 10.1007/s11356-016-7141-z

<sup>33</sup> Routti et al. 2021. Concentrations and endocrine disruptive potential of phthalates in marine mammals from the Norwegian Arctic. *Environmental international*. doi: 10.1016/j.envint.2021.106458

<sup>34</sup> Fauvelle et al. 2021. Organic additive release from plastic to seawater is lower under deep-sea conditions. *Nature Communications*, 12(1), p.4426. doi: 10.1038/s41467-021-24738-w

3,4 tonnes par an pour le PE, au cours de la première semaine de leur introduction dans l'océan. Ces composés ayant une demi-vie courte dans les organismes, de tels niveaux d'imprégnation laissent penser que cette exposition est quasiment permanente.

## Les impacts des plastifiants sur la santé



© Adam N

Initialement décrits comme interférant avec l'action des androgènes et la reproduction mâle, les phtalates ont également un impact sur la reproduction femelle à des doses environnementales comme cela a été montré chez la souris<sup>35</sup>. Les mêmes conditions d'exposition chronique aux phtalates, conduisent à des perturbations de la barrière hématoencéphalique et des comportements reproducteurs et cognitifs via des modes d'action neuroendocriniens<sup>36,37,38</sup>.

En outre, des études épidémiologiques récentes montrent que des troubles cognitifs chez l'enfant sont associés à une exposition prénatale à un mélange contenant des phtalates et du bisphénol. Des études complémentaires sur ce mélange ont pu montrer des effets de perturbation de l'axe thyroïdien, dont le bon équilibre est crucial pour un développement cérébral harmonieux<sup>39</sup>.

Pour préserver la santé des futures générations, il est donc indispensable de créer une liste noire des plastifiants dont les effets sont de plus en plus connus et de considérer les anciennes études. Le très célèbre bisphénol A, initialement développé en 1936 pour ses propriétés de mimétisme des hormones féminines a été ré-employé comme les autres bisphénols, dans les années 1970 pour ses propriétés de polymérisation. Ce monomère des polycarbonates a été très utilisé avant d'être interdit dans les objets de puériculture en Europe et dans les contenants alimentaires en France en 2015. Les bisphénols S et F qui ont remplacé le bisphénol A pour ces usages montrent des effets délétères similaires et sont qualifiés de regrettables substitutions.

<sup>35</sup> Adam et al. 2021. Exposure of adult female mice to low doses of di (2-ethylhexyl) phthalate alone or in an environmental phthalate mixture: evaluation of reproductive behavior and underlying neural mechanisms. *Environ Health Perspect.* 129(1):17008

<sup>36</sup> Ahmadpour et al. 2021. Disruption of the blood-brain barrier and its close environment following adult exposure to low doses of di (2-ethylhexyl) phthalate alone or in an environmental phthalate mixture in male mice. *Chemosphere.* 282:131013

<sup>37</sup> Ducroq et al. 2023. Behavior, Neural Structure, and Metabolism in Adult Male Mice Exposed to Environmentally Relevant Doses of Di (2-ethylhexyl) Phthalate Alone or in a Phthalate Mixture. *Environ Health Perspect.* 131(7):77008

<sup>38</sup> Ducroq et al. 2023. Cognitive and hippocampal effects of adult male mice exposure to environmentally relevant doses of phthalates. *Environ Pollut.*;323:121341

<sup>39</sup> Caporale et al. 2022. From cohorts to molecules: Adverse impacts of endocrine disrupting mixtures. *Science*, Vol 375, Issue 6582. [doi: 10.1126/science.abe8244](https://doi.org/10.1126/science.abe8244)

## Fiche 10 : Les débris plastiques sont-ils toxiques ?

par Jean-François Ghiglione, Marie-France Dignac

### Les effets des plastiques sur les organismes



© Paulo Oliveira/Alamy Stock Photo

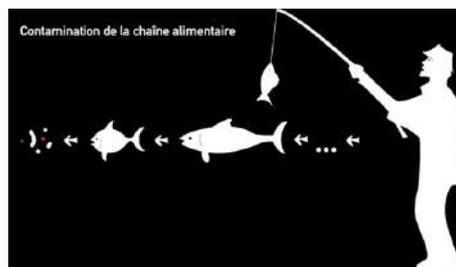
Lorsqu'ils sont ingérés par les organismes, les débris plastiques peuvent induire une **obstruction des voies aériennes et digestives** qui conduit à la malnutrition et à la mort.

Des effets plus pernicieux viennent des produits chimiques ajoutés aux plastiques (les additifs) pour leur donner leurs propriétés de résistance, leur couleur, des propriétés de retardateur de flammes,... On dénombre aujourd'hui **plus de 16000 additifs dans les plastiques du commerce, dont 4000 ont des effets toxiques avérés** sur les organismes et seulement 4% sont interdits sur le marché. De nombreux plastiques mis sur le marché sont toxiques pour l'environnement<sup>40</sup>.

### Tous les maillons de la chaîne alimentaire sont impactés, y compris les humains

**Du plancton aux grands prédateurs, les plastiques s'accumulent dans la chaîne alimentaire.** Aucun organisme n'est épargné par cette pollution globale qui touche tous les écosystèmes, des plus hauts sommets aux plus profonds des Océans. Les plastiques contaminent également les organes et le sang des humains, qui ne sont pas épargnés. Insuffisance hépatique, ralentissement de la croissance, réduction de la motricité, perturbation de la sexualité, atteintes neurologiques, maladie et mort sont autant de symptômes qui indiquent un **fort impact toxique des plastiques sur la santé**<sup>41</sup>.

Les coûts de santé qui en découlent, portés par les collectivités, sont très élevés<sup>42</sup> (voir [Les défis normatifs, éthiques et économiques de nos sociétés face à la production plastique](#)).



© Pascaline Bourgain

voir [Microplastiques et cycles biogéochimiques marins](#)

### Interdire les plastiques toxiques et exiger la transparence sur les produits



© Antoine2k / Dreamstime  
voir [Diversité de la chimie des plastiques](#)

**Les normes actuelles (ISO, AFNOR) ne sont pas suffisamment représentatives des caractéristiques originales des plastiques et de leur devenir dans l'environnement.** La toxicité des produits doit être évaluée par des chercheurs indépendants et conduire à une interdiction immédiate en cas de toxicité avérée.

**La traçabilité des additifs plastiques mis sur le marché n'est pas assurée**, sous couvert de secret industriel et plus de transparence est indispensable. Une liste d'additifs non-toxiques pour les humains et pour l'environnement est indispensable pour interdire les plastiques toxiques avant qu'ils ne deviennent des déchets<sup>43</sup>.

<sup>40</sup> United Nations Environment Programme & Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions Chemicals in Plastics. 2023. A Technical Report

<sup>41</sup> Meeker et al. 2009. Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0268>.

<sup>42</sup> Trasande et al. 2024. Chemicals used in plastic materials: an estimate of the attributable disease burden and costs in the United States. *Journal of the Endocrine Society*, 8(2), p.bvad163.

<sup>43</sup> Leistenschneider et al. 2023. A critical review on the evaluation of toxicity and risk assessment of plastics in the marine environment. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164955>

## Fiche 11 : Quantifier les micro- & nanoplastiques

par Gabin Colombini, Marie-France Dignac & Jean-François Ghiglione

### Pourquoi quantifier les micro- et nanoplastiques ?



©Jean-François Ghiglione

Les macroplastiques sont la partie la plus visible de la pollution, et la plus importante en masse. Majoritairement issus de la fragmentation des macroplastiques, les micro- (1µm-5mm) et nanoplastiques (< 1 µm) sont plus importants en nombre et ils présentent plus de danger pour la santé humaine et la santé de l'environnement<sup>44</sup> (voir [Microplastiques et cycles biogéochimiques marins](#) et [Le plastique est-il toxique ?](#)). **Les micro- et nanoplastiques sont émis pendant toute la durée de vie des plastiques et pas seulement lorsqu'ils deviennent un déchet<sup>45</sup>.**

### Quelles approches ?

Les scientifiques étudient les plastiques par un inventaire de leur **taille, forme, nombre, masse, et aussi la composition chimique des polymères et celle des additifs**. La collecte des échantillons de micro- et nanoplastiques met en œuvre des protocoles différents pour les eaux (récupération dans des filets Manta ou par prélèvements d'eau), l'air (capteurs passifs ou actifs) et les sols (prélèvement de terre, séparation des particules plastiques selon leur densité).



©INRAE

Un tri des particules est réalisé en partie manuellement pour les plus grands microplastiques (> 500 µm à 5 mm), ou bien ils sont directement analysés par des techniques chimiques modernes (pyrolyse analytique, spectroscopie infrarouge...) pour les plus petits microplastiques (entre 1 et 25 µm) et les nanoplastiques (< 1 µm).

### Les limites actuelles



©Gabin Colombini

- La répartition des plastiques dans l'environnement est très hétérogène. **Les études ciblent souvent les lieux d'accumulation plutôt que la pollution diffuse, qui a pourtant des impacts importants.**
- Dans les échantillons environnementaux, les analyses permettent de caractériser les polymères mais, en général, pas **les additifs, qui représentent des milliers de molécules potentiellement toxiques** (voir [Diversité de la chimie des plastiques](#)) impossibles à toutes identifier dans les matrices complexes.
- **L'analyse des micro- et nanoplastiques dans les tissus biologiques**, qui permet de comprendre l'impact sur les organismes, est encore en développement<sup>46</sup>.

<sup>44</sup> Rai et al., 2021. Environmental fate, ecotoxicity biomarkers, and potential health effects of micro- and nano-scale plastic contamination. J. Hazard. Mater. 403, 123910

<sup>45</sup> Gontard et al., 2022. Recognizing the long-term impacts of plastic particles for preventing distortion in decision-making. Nature Sustainability, 5(6), pp.472-478.

<sup>46</sup> Albignac et al., 2022 Determination of microplastic content in Mediterranean benthic organisms by pyrolysis-gas chromatography-tandem mass spectrometry. Marine Pollution Bulletin 181, 113882.

## Fiche 12 : Le plastique dans les sols, impacts sur l'agriculture et l'alimentation

par Marie-France Dignac & Gabin Colombini

### Les sources et l'ampleur de la pollution des sols par les plastiques



©INRAE

La présence de microplastiques dans les sols, révélée il y a une dizaine d'années, demeure peu connue. Pourtant, les masses de plastiques accumulées dans les sols pourraient surpasser celles présentes dans les océans<sup>47</sup>, notamment pour les particules les plus petites, les microplastiques. Ils proviennent des **décharges sauvages, des composts, du paillage plastique, de l'irrigation par les eaux usées, des dépôts atmosphériques, du ruissellement...** Certains sols agricoles ont accumulé jusqu'à **plusieurs centaines de kilogrammes de microplastiques par hectare** en seulement une vingtaine d'années<sup>48</sup>.

### Les impacts des plastiques dans les sols

Les plastiques et les composés qu'ils libèrent dans les sols sont néfastes pour la biodiversité. Des effets toxiques ont notamment été mis en évidence sur les vers de terre, qui sont essentiels au bon fonctionnement des sols. **Les microplastiques peuvent passer du sol vers les parties comestibles des plantes**, comme dans les fruits et légumes (carottes, laitues)<sup>49</sup>.

La pollution des sols liée aux plastiques peut impacter le rendement des cultures et la sécurité alimentaire<sup>50</sup>. Les plastiques peuvent également être transférés des sols vers les eaux par différents processus (érosion, infiltration, transport par les animaux) et sont une source de pollution des milieux aquatiques (voir [La pollution plastique, des fleuves à la mer](#)).



©INRAE

### Le devenir des plastiques dans les sols



© Gabin Colombini

Une fois dans les sols, les plastiques évoluent très lentement et ne sont pas dégradables à l'échelle d'une vie humaine. Les plastiques dits biodégradables ne le sont pas toujours dans les sols et peuvent aussi libérer des particules et produits chimiques toxiques (voir [Les plastiques biodégradables : distinguer le vrai du faux](#)). **Les sols sont donc un milieu d'accumulation, où les microplastiques sont stables**<sup>51</sup>.

Il n'existe **pas de méthode de remédiation** permettant de dépolluer les sols des plastiques. Il est nécessaire de privilégier les mesures en amont pour prévenir cette pollution (voir [Le traitement des déchets](#)).

<sup>47</sup> Atlas du plastique 2020. Faits et chiffres sur le monde des polymères synthétiques, Heinrich-Böll-Stiftung France.

<https://fr.boell.org/fr/atlas-du-plastique>

<sup>48</sup> Colombini et al., 2022. A long-term field experiment confirms the necessity of improving biowaste sorting to decrease coarse microplastic inputs in compost amended soils. Environ. Pollut. 315, 120369. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120369>

<sup>49</sup> Conti et al., 2020. Micro-and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. Environmental Research, 187, p.109677. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109677>

<sup>50</sup> Zhang et al., 2020. Plastic pollution in croplands threatens long-term food security. Global Change Biology, 26(6), pp.3356-3367.

<sup>51</sup> Watteau et al., 2018. Microplastic detection in soil amended with municipal solid waste composts as revealed by transmission electronic microscopy and pyrolysis/GC/MS. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2, p.81. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.000>

## Fiche 13 : Microplastiques et cycles biogéochimiques marins

par Camille Richon

### Des macro- aux microplastiques

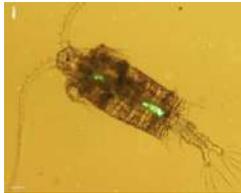
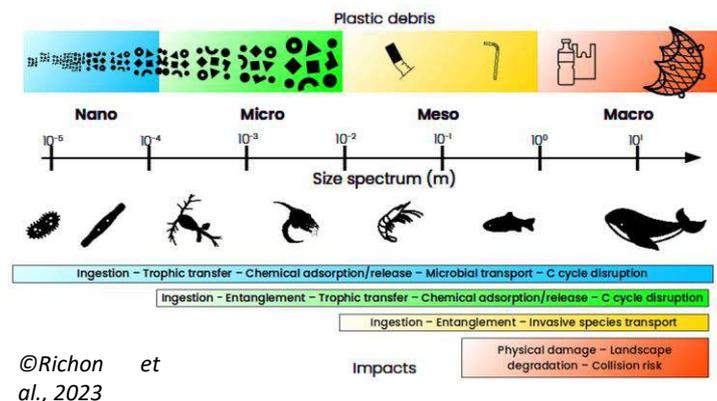


Photo microscopique d'un copépode avec du microplastique dans l'appareil digestif. ©Cole et al., 2013<sup>52</sup>

Les déchets plastiques se fragmentent en une infinité de petits éléments, appelés microplastiques (< 5 mm) ou nanoplastiques (< 1 µm). Ces particules sont aujourd'hui retrouvées dans l'ensemble des régions de l'océan et peuvent être ingérées par les plus petits organismes marins, notamment le zooplancton qui se trouve à la base de la chaîne alimentaire marine (voir [Interaction plastique-biota en mer](#)) et espèce clé de voûte pour les écosystèmes marins.

### Petite taille, nombreux impacts

L'ingestion de microplastique par le zooplancton provoque une contamination de la chaîne trophique qui peut se propager jusqu'aux prédateurs supérieurs (phénomène de biomagnification). Par ailleurs, leur grand rapport surface/volume rend les microplastiques particulièrement sensibles au transport et à la libération de contaminants et de nutriments<sup>53</sup>, ainsi qu'à la formation de biofilms (voir [La plastisphère](#)). La croissance de phytoplancton à la surface des microplastiques a été largement démontrée en laboratoire et également observée en milieu naturel<sup>54</sup>, ce qui pourrait avoir des conséquences sur le transport d'espèces (effet radeau)<sup>55</sup> ainsi que sur la production primaire et les cycles des nutriments en surface.



### Une menace pour les cycles biogéochimiques marins ?

Les expériences en laboratoire et *in situ*<sup>56</sup> ont démontré de multiples interactions entre les microplastiques et les processus biogéochimiques marins (production primaire, prédation, métabolisme du zooplancton, export de particules et de carbone, cycle des nutriments dissous...). L'utilisation de modèles globaux démontre que les microplastiques constituent une menace sérieuse pour les écosystèmes marins car leur dynamique spatiale et saisonnière coïncide avec celle du plancton dans de nombreuses régions. Les premières estimations démontrent que les effets toxiques du microplastique sur le zooplancton pourraient entraîner une diminution des flux de carbone en surface (production primaire et export de carbone) du même ordre que le changement climatique (quelques pourcents en un siècle)<sup>57</sup>.

<sup>52</sup> Cole et al. 2013. Environmental Science & Technology 47 (12), 6646-6655 DOI: 10.1021/es400663f

<sup>53</sup> Wang et al., 2020. Science of the Total Environment 748 (142427) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142427>

<sup>54</sup> Jacquin et al., 2019. Frontiers in Microbiology, 10 (865) <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00865>

<sup>55</sup> Mincer et al., 2016. [The Handbook of Environmental Chemistry](#) book series (HEC, volume 78)

<sup>56</sup> Conan et al. 2022. Evidence of coupled autotrophy and heterotrophy on plastic biofilms and its influence on surrounding seawater. Environmental Pollution, 315, p.120463.

<sup>57</sup> Richon et al. 2023. Legacy oceanic plastic pollution must be addressed to mitigate possible long-term ecological impacts. Microplastics and Nanoplastics, 3(1), p.25.

# Fiche 14 : La plastisphère : la vie trépidante des organismes qui vivent sur nos déchets

par Jean-François Ghiglione

## Les déchets plastiques sont un nouvel écosystème pour les organismes



© Christian Sardet

Les organismes qui vivent sur les déchets plastiques sont originaux par rapport à ceux qui vivent dans leur environnement immédiat. Ils sont différents de ceux qui vivent sur des surfaces en verre ou sur de la matière organique naturelle. Leur affinité pour le plastique est liée à leur capacité à former des biofilms sur des surfaces, où cohabitent un très grand nombre d'espèces. Le plastique est une nouvelle niche écologique pour les organismes<sup>58</sup>.

## Des bactéries et des virus pathogènes sur les plastiques

De nombreux virus et bactéries s'installent sur les plastiques qui agissent comme des radeaux pour les disséminer dans l'environnement. Ces microorganismes peuvent transmettre des maladies (i.e. pathogènes). Ils sont transportés via les stations d'épuration, les fibres de nos vêtements ou les masques chirurgicaux. Ils participent à la résistance aux antibiotiques produite par les micro-organismes de la plastisphère. Des pathogènes virulents humains ou animaux (*Shewanella putrefaciens*, *Vibrio parahaemolyticus*) sont parfois très abondants et posent la question de l'impact des plastiques sur la santé humaine et sur la santé de l'environnement ("One Earth" concept)<sup>59</sup>.



© Yanko Gorand

## Une biodégradation possible, mais très lente...



© Jean-François Ghiglione

Les bactéries et les champignons qui vivent sur nos déchets peuvent dégrader les plastiques, mais c'est un processus très lent. Dans le milieu marin, une fois que le plastique a été oxydé par les ultraviolets, les microorganismes peuvent s'en nourrir et transformer le carbone du polymère en CO<sub>2</sub> (minéralisation). Dans les océans, il faudra plusieurs dizaines d'années pour que les microorganismes viennent à bout d'un morceau de plastique. La nature ne parviendra pas à faire face à la quantité énorme de plastique qui arrive chaque année dans l'environnement<sup>60</sup>.

<sup>58</sup> Jacquin et al. (2019) Microbial ecotoxicology of marine plastic debris: a review on colonization and biodegradation by the 'plastisphere'. *Frontiers in microbiology* <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00865>.

<sup>59</sup> Pedrotti et al. (2021) Pollution by anthropogenic microfibers in North-West Mediterranean Sea and efficiency of microfiber removal by a wastewater treatment plant. *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144195>.

<sup>60</sup> Paul-Pont et al. (2023) Discussion about suitable applications for biodegradable plastics regarding their sources, uses and end of life. *Waste Management Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.022>.

## Fiche 15 : Interaction plastique-biota en mer

par Maria Luiza Pedrotti & Rocío Rodríguez Torres

### Impacts des microplastiques sur les organismes marins



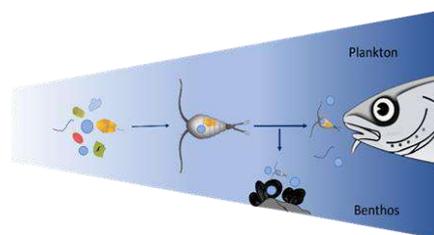
©Algalita Marine research & education

Divers organismes filtreurs, allant du zooplancton aux grands vertébrés, interagissent avec les débris plastiques par enchevêtrement, colonisation ou ingestion (voir [De l'enchevêtrement à l'ingestion, des mammifères marins et des plastiques](#)). Les microplastiques (MP < 5 mm), en raison de leur taille réduite, sont ingérés par les organismes filtreurs tels que le zooplancton (voir [Microplastiques et cycles biogéochimiques marins](#)), les mollusques, les crustacés, les poissons et les baleines.

De nombreuses espèces de poissons les ingèrent en les confondant avec de la nourriture, attirées par leur odeur<sup>61</sup>. **L'omniprésence du plastique dans les océans constitue une menace pour 90 % des organismes marins.**

### Les microplastiques dans la chaîne alimentaire

Les plastiques ingérés causent des dommages physiques, des obstructions dans le système digestif, la malnutrition y compris la mortalité des organismes marins. Ces plastiques contiennent des additifs toxiques ajoutés lors de la fabrication et adsorbent des contaminants de l'eau de mer. Les organismes qui les ingèrent peuvent concentrer ces substances dans leurs tissus (bioaccumulation), ce qui entraîne des effets physiologiques néfastes. **Les plastiques et les produits chimiques toxiques qui leur sont associés peuvent être transférés dans la chaîne alimentaire<sup>62</sup> et arriver jusqu'aux humains, avec des risques potentiels pour la santé qui restent à élucider.**



Transfert des microplastiques via le zooplancton  
©Rodríguez-Torres, R.

### Les nanoplastiques traversent les membranes biologiques



Larve d'oursin avec des algues et microbilles plastiques dans son estomac @Pedrotti M.L.

Les microplastiques de petite taille et en particulier les nanoplastiques (< 1  $\mu\text{m}$ ), en raison de leur taille et leur ubiquité représentent une menace encore plus grande. Les nanoplastiques peuvent traverser les membranes cellulaires et pénétrer dans les tissus. Malgré les contraintes méthodologiques pour les détecter dans l'environnement (voir [Quantifier les micro- & nanoplastiques](#)), certaines études en laboratoire ont évalué les interactions des nanoplastiques avec le biota. Des nanoplastiques ont été détectés dans le tissu cérébral des poissons, affectant leur comportement. Les nanoplastiques diminuent la fécondité et augmentent les malformations embryonnaires chez les crustacés<sup>63</sup>. **Par conséquent, les nanoplastiques représentent un risque pour les organismes marins et pour la santé humaine.**

<sup>61</sup> Savoca et al., 2017. Odours from marine plastic debris induce food search behaviours in a forage fish. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 284(1860), 20171000. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1000>

<sup>62</sup> Setälä et al., 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. Environmental pollution (Barking, Essex : 1987), 185, 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>

<sup>63</sup> Lee et al., 2013. Size-Dependent Effects of Micro Polystyrene Particles in the Marine Copepod Tigriopus japonicus. Environmental Science & Technology, 47(19), 11278–11283. <https://doi.org/10.1021/es401932b>

## Fiche 16 : Les mammifères marins et les plastiques : de l'enchevêtrement à l'ingestion

par Jean-Luc Jung

Les mammifères marins sont des mammifères qui se sont adaptés secondairement à la vie en milieu marin. Ils en dépendent donc, et, comme toute perturbation de ce milieu marin, la pollution par les plastiques va les affecter. Les images de grands morceaux de plastique retrouvés dans l'estomac de cétacés morts, ou encore celles de baleines enchevêtrées dans des restes de filets en plastique sont devenues emblématiques de l'impact direct des pollutions aux plastiques. Pourtant, l'ingestion de microplastiques, moins visible, est devenue tout aussi préoccupante.

Cétacés et pinnipèdes sont, comme les humains, des mammifères. En majorité prédateurs supérieurs, à longue durée de vie, ils sont des sentinelles de la qualité de nos océans. Leurs contaminations avérées par des plastiques doivent particulièrement nous alerter.

### Les macrodéchets, enchevêtrement et ingestion



Morceau de plastique retrouvé dans l'estomac d'une baleine à bec de Cuvier en mer d'Iroise (été 2023). Photographie ©Laurent Hervé, transmise par Cécile Gicquel, Parc naturel Marin d'Iroise (OFB) et Réseau National Echouage, Pelagis.

Les macrodéchets plastiques sont les plus fréquents parmi les macrodéchets en mer. Confondus avec des proies, ils peuvent être ingérés par la macrofaune marine, dont les mammifères marins, et entraîner des blessures et dysfonctionnements internes pouvant mener à la mort<sup>64</sup>. Ils peuvent aussi constituer de vrais pièges, entraînant blessures et enchevêtrement délétères. Pour les déchets de filets de pêche, perdus ou abandonnés en mer, on parle même de « pêche fantôme ».

### Les microplastiques, contaminants internes

Les microplastiques (< 5 mm) contenus dans l'eau de mer (voir [La pollution plastique, des fleuves à la mer](#)) peuvent être ingérés directement par les mammifères marins, ou être contenus dans des proies elles-mêmes ingérées. Cette dernière voie de contamination par transfert trophique semble la plus importante. Les mysticètes, ou baleines à fanons, se nourrissent en filtrant de grands volumes d'eau de mer pour y trouver zooplancton ou petits poissons vivant en bancs. Plusieurs centaines de milliers de particules de microplastiques pourraient être ingérées quotidiennement par les plus grandes espèces de baleines<sup>65</sup>. Les cétacés à dents, et les pinnipèdes, se nourrissent lors de chasses ciblées, et sont eux aussi concernés : des microplastiques ont été retrouvés dans les systèmes digestifs et les fèces d'une vingtaine d'espèces différentes<sup>66</sup>. L'exposition des mammifères marins aux microplastiques et leur ingestion sont donc, sans surprise, avérées. Les niveaux d'exposition et les impacts, selon les espèces et les écosystèmes, restent à mieux comprendre (voir [Interaction plastique-biota en mer](#)).

<sup>64</sup> de Stephanis et al., 2013. As main meal for sperm whales: Plastics debris. *Mar. Pol. Bull.*, 69, pp.206-214.

<sup>65</sup> Kahane-Rapport et al. 2022. Field measurements reveal exposure risk to microplastic ingestion by filter-feeding megafauna. *Nat Commun* 13, 6327

<sup>66</sup> Zantis et al. 2021. Marine mammals and microplastics: A systematic review and call for standardisation, *Environm. Poll.* 269, 116142

# CHAPITRE 4 :

## PLASTIQUES ET SOCIÉTÉ

## Fiche 17 : Les collections : un outil pour dater et suivre l'évolution de la pollution plastique

par Valentin Dettling, Sarah Samadi, Claudia Ratti,  
Jean-Baptiste Fini & Claire Laguionie

### Les collections d'histoire naturelle et leurs usages

Les collections d'histoire naturelle (bio-banques) sont constituées de matériel biologique, géologique et anthropologique, collecté dans le cadre de travaux scientifiques visant à documenter les objets naturels. La majorité représente des spécimens non vivants conservés dans des muséums d'histoire naturelle, des universités ou centres de recherche qui en assurent le stockage, la conservation, l'inventaire, et l'archivage. Ces collections constituent des archives des recherches naturalistes qui peuvent être mobilisées pour répondre à des questions contemporaines. Elles peuvent notamment permettre de constituer des séries temporelles pour investiguer les impacts de pressions anthropiques sur la biodiversité. En aidant à comprendre les évolutions récentes liées aux impacts humains, les collections permettent de mieux anticiper l'avenir. Par exemple, les collections ont déjà été utilisées avec succès pour comprendre la réponse des organismes aux changements climatiques<sup>67</sup>, l'émergence des zoonoses<sup>68</sup> ou encore suivre la diffusion des polluants dans les chaînes trophiques<sup>69</sup>.



### La pollution plastique peut être étudiée grâce aux collections d'histoire naturelle

Les collections commencent à être utilisées pour étudier la pollution plastique en utilisant des organismes provenant principalement du milieu aquatique, qui constitue l'un des réservoirs majeurs de microplastiques (au 1er janvier 2024, 11 études<sup>70</sup>). Ainsi, des collections de planctons, de poissons, d'étoiles de mer, d'éponges, ou encore de moules ont été employées, couvrant des périodes comprises entre 1900 à nos jours. Les résultats des 11 études montrent que ce sont les fibres de plastique qui sont le plus fréquemment retrouvées chez les animaux. Certaines études utilisant de longues séries temporelles (commençant avant l'apparition du plastique dans nos usages quotidiens) montrent une augmentation de la quantité de plastiques retrouvée chez l'organisme étudié, alors que d'autres montrent une stagnation. Ces différences soulèvent des questions scientifiques qui ne peuvent être résolues avec seulement 11 études réalisées sur des périodes de temps variées. Pour autant, il est clair que les collections sont un outil pertinent pour suivre l'évolution du plastique dans les écosystèmes et que les études doivent donc être poursuivies et étendues.

### Intérêt des collections pour l'évaluation des politiques publiques

Bien qu'il existe des défis techniques propres à l'utilisation des collections pour l'étude de l'évolution des microplastiques, les collections ont l'avantage de constituer des ressources déjà disponibles, ne nécessitant pas de coûts supplémentaires d'échantillonnage sur le terrain. Les collections devraient continuer d'être alimentées afin de pouvoir continuer à servir leurs rôles pour les générations futures<sup>71</sup>, et pourraient constituer une source précieuse d'échantillons afin de mieux comprendre l'évolution passée et future de la pollution plastique, permettant ainsi d'évaluer les politiques de gestion de la pollution plastique et de mettre en place des politiques de gestion du plastique pertinentes (voir [Les défis normatifs, éthiques et économiques](#)).

<sup>67</sup> Denney & Anderson, 2020. Natural history collections document biological responses to climate change. *Global Change Biology* 26, 340–342. doi.org/10.1111/gcb.14922

<sup>68</sup> Colella et al. 2021. Leveraging natural history biorepositories as a global, decentralized, pathogen surveillance network. *PLOS Pathog.* 17, e1009583. doi.org/10.1371/journal.ppat.1009583

<sup>69</sup> Movalli et al. 2022. The role of natural science collections in the biomonitoring of environmental contaminants in apex predators in support of the EU's zero pollution ambition. *Environ. Sci. Eur.* 34, 88. doi.org/10.1186/s12302-022-00670-8

<sup>70</sup> Ilechukwu et al. 2023. Review of microplastics in museum specimens: An under-utilized tool to better understand the Plasticene. *Mar. Pollut. Bull.* 191, 114922. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114922

<sup>71</sup> Hilton et al. 2021. The Expanding Role of Natural History Collections. *Ichthyol. Herpetol.* 109, 379–391. doi.org/10.1643/t2020018

## Fiche 18 : Alternatives soutenables aux plastiques

par Maria Luiza Pedrotti

### Homo Plasticus



© Muntaka Chasant, UN

Depuis 1950, 9 milliards de tonnes de plastique ont été produites, dont seulement 9 % ont été recyclées et 12 % incinérées<sup>72</sup>. La moitié de ces plastiques deviennent des déchets en moins d'un an, la plupart d'entre eux finissant dans des décharges ou dans l'environnement, où ils mettent des siècles à se décomposer. **Il est urgent d'adopter des pratiques durables et de repenser notre utilisation du plastique pour préserver notre planète et limiter les effets néfastes sur le climat.**

### Des solutions innovantes et naturelles aux plastiques

Au cours des 15 dernières années, les plastiques biosourcés et biodégradables ont été proposés comme une alternative aux pétroplastiques non biodégradables (voir [Les plastiques biodégradables](#)), donnant naissance à une diversité de matériaux plus respectueux de l'environnement, surtout dans le domaine de l'emballage. Des exemples incluent le mycélium, les bioplastiques à base d'amidon, les emballages comestibles comme ceux fabriqués à partir d'algues, ainsi que des matériaux à base de cellulose, de bois, de bambou ou de résidus agricoles<sup>73</sup>.



Des champignons pour stopper la pollution plastique. La culture de mycélium mélangée à des déchets agricoles permet de créer un matériau d'emballage solide et entièrement biodégradable. © Fungus Sapiens.

Pour promouvoir des alternatives durables, il est essentiel d'évaluer le cycle de vie et l'impact environnemental de ces matériaux (voir [L'analyse du cycle de vie quantitative et ses limites](#)). **Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) recommande aussi qu'ils ne rivalisent pas avec la production alimentaire, favorisant les ressources renouvelables et abondantes tout en préservant l'eau et le sol.**

### Défis technologiques et politiques : répercussions socio-économiques

Les alternatives durables au plastique vont au-delà du développement des nouveaux matériaux. Il faut non seulement produire autrement mais revoir le système de production dans son ensemble en privilégiant une approche « du berceau à la tombe » (from cradle to grave). Le véritable défi consiste à réduire les déchets, bannir le plastique à usage unique contribuant ainsi à diminuer la demande totale de plastiques jetables (voir [Le traitement des déchets](#)). Les solutions s'orientent principalement vers la prévention, la réduction et la réutilisation des plastiques, alignées avec la stratégie zéro déchet<sup>74</sup>. De plus, il est crucial de mettre en place un système de gestion circulaire qui prend en compte la fin de vie du plastique et l'utilisation des déchets. Cela requiert une évaluation des conséquences socio-économiques et environnementales, ainsi qu'une compréhension du comportement des consommateurs (voir Les défis normatifs, éthiques et économiques de nos sociétés face à la production plastique), qui devraient jouer un rôle majeur dans l'adoption de solutions alternatives pertinentes.

<sup>72</sup>Geyer et al., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.

<sup>73</sup> United Nation Environment Programme 2017. Exploring the potential for adopting alternative materials to reduce marine plastic litter.

<sup>74</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Consulter%20la%20Stratégie%203R%20pour%20les%20emballages%20en%20plastique%20à%20usage%20unique.pdf>

## Fiche 19 : Connaître pour agir avec la plateforme Zéro Déchet Sauvage

par Isabelle Poitou, Florian Cornu, Quentin Courtier,  
Maxime Thorel, Benoit Fauvet-Messat, Romain Julliard

La plateforme Zéro Déchet Sauvage répond au défi des déchets marins en proposant un outil de sciences participatives au service de l'action publique qui à la fois :

- permet d'optimiser les ramassages effectués par les associations et les professionnels en acquérant des connaissances quantitatives sur les déchets ramassés utiles à leur réduction;
- standardise les méthodes d'acquisition de connaissance et permet de comparer les données entre elles ;
- centralise les données dans un outil de pilotage national ;
- identifie, valorise et coordonne les acteurs impliqués ;
- permet de cartographier les stocks et d'identifier les voies de transferts ;
- désigne les secteurs économiques impliqués, oriente et évalue les politiques publiques nationales, européennes et internationales ;
- aide à la définition de plans d'intervention sur le terrain et d'actions de prévention auprès des acteurs cibles identifiés.

### Mobiliser les acteurs de terrains pour connaître et réduire les déchets sauvages



© Association MerTerre

Le nombre d'opérations de ramassage de déchets ne cesse de croître ces dernières années. Rarement coordonnées entre elles, elles sont menées principalement par des associations et les services techniques des collectivités qui s'efforcent de répondre à cette problématique sans méthode standardisée, ni bancarisation centralisée.

Convaincues que la connaissance quantitative et qualitative est indispensable au pilotage de plans de réduction de cette pollution aux échelles locales, nationales et européennes, certaines associations comme MerTerre, se sont consacrées à la définition de méthodes standardisées d'acquisition de données adaptées aux différents contextes de ramassage citoyens et professionnels. Dès 2006, MerTerre diffuse des méthodes de caractérisation aux associations engagées sur le terrain.

La nécessité de créer une plateforme de sciences participatives pour capitaliser et centraliser les informations obtenues lors de ces interventions sur le terrain, qu'elles soient associatives ou professionnelles, s'est très vite fait sentir.

### Les clés du succès de la plateforme Zéro Déchet Sauvage

**=> répondre à la fois aux besoins des associations et des pouvoirs publics et obtenir les moyens financiers pour créer un outil qui suscite l'adhésion de tous**

C'est en 2017, avec le soutien de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, que l'association MerTerre s'associe avec le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) afin de développer un premier outil web collaboratif : [ReMed Zéro Plastique](#). Le choix de se porter sur un partenaire institutionnel spécialiste des systèmes de bancarisation des données issues des sciences participatives vise à garantir la pérennité de l'outil et son acceptation par les utilisateurs.

La plateforme ReMed est pensée en se basant sur des besoins concrets identifiés auprès des partenaires associatifs et gestionnaires régionaux et nationaux en cohérence avec les méthodes de mesure scientifiques européennes<sup>75</sup>. Mise en ligne en 2019, cette expérience concrète sert de socle pour développer la plateforme nationale [Zéro Déchet Sauvage](#) (ZDS). Elle est lancée officiellement en 2021, avec le soutien du Ministère de la Transition Écologique (MTE). La maintenance et les évolutions de cette plateforme sont désormais assurées par l'unité de service [Mosaïc](#) (MNHN – Sorbonne Université) et pilotées par MerTerre.

MerTerre coordonne et anime une gouvernance partagée entre un [Comité de Pilotage](#) et d'un [Comité Technique](#) intégrant des structures copilotes, reconnues pour leur expérience de terrain et leur capacité à fédérer. Ces structures déploient Zéro Déchet Sauvage dans leur territoire, valorisent les acteurs locaux et permettent la remontée de données du local au global.

**=> créer le cadre favorable à l'obtention de données collaboratives de qualité avec un comité scientifique**

Le succès de ce programme de sciences participatives repose sur la qualité des données recueillies. Pour l'épauler dans cette mission, MerTerre a rassemblé un [comité scientifique](#) composé de chercheurs et ingénieurs spécialisés dans le domaine des déchets sauvages et des sciences participatives. Ils garantissent l'exploitation scientifique des données et leur contribution à la recherche dans ce domaine.

La formation à la caractérisation et l'accompagnement des acteurs impliqués, experts de leur territoire, est fondamentale pour obtenir de la donnée de qualité, valoriser leurs opérations et apporter des connaissances nécessaires aux gestionnaires pour réduire les macrodéchets.

**=> proposer des datavisualisations qui aident à comprendre et ainsi à mieux gérer**

Les informations obtenues grâce aux méthodes de caractérisation standardisées sont ainsi comparables entre elles et exploitables par l'ensemble des acteurs concernés. Cet outil permet aussi de coordonner les acteurs et les actions, de structurer un réseau d'acteurs engagés pour lutter contre des déchets abandonnés qui peuvent aboutir en mer et dans les océans et de guider les actions correctives.

Zéro Déchet Sauvage propose une restitution automatisée des données avec des datavisualisations permettant à termes de voir les tendances sur une zone précise et aussi à l'échelle d'un territoire choisi. Véritable tableau de bord de pilotage d'un plan d'actions préventives et curatives, Zéro Déchet Sauvage permet de construire un lien entre les citoyens et les décideurs pour la mise en place de politiques publiques de réduction des déchets abandonnés.



© Association MerTerre

<sup>75</sup> Galgani et al. 2013. Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive, ICES Journal of Marine Science, 70, 1055-1064.

## Fiche 20 : Les défis normatifs, éthiques et économiques de nos sociétés face à la production plastique

par Juan Baztan, Bethany Jorgensen, Mateo Cordier, Christian Gorini, Denis Bailly, Aanchal Jain & Baptiste Monsaingeon



Décembre 2024 marque la fin des 5 premières négociations du Comité intergouvernemental du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, chargé d'élaborer un instrument international juridiquement contraignant sur la pollution plastique, y compris dans le milieu marin, moteur des échanges internationaux et des engagements des États Membres pour les années à venir.

193 États Membres parmi lesquels une faible minorité est contre la réduction de la production des plastiques, autrement dit : la grande majorité des États Membres sont pour la réduction en amont, à la source de cette pollution que représente la production.

Il y a 20 ans, en 2004, un article inaugure les études sur les microplastiques<sup>76</sup>. Les communautés scientifiques se sont structurées au niveau international, par exemple autour de la communauté [MICRO \(plastic pollution from macro to nano\)](#) et son rendez-vous biennuel qui rassemble depuis 2014 une bonne partie de la communauté<sup>77</sup>. Depuis 2022 la « [Scientists' Coalition for an Effective Plastics Treaty](#) » renforce les liens entre sciences et politique pour ce qui est du Traité Plastiques. Au niveau français, la Coalition s'appuie sur le Groupe Plastiques de l'Alliance Sorbonne Université, le [GDR Plastiques, Environnement, Santé](#), le [Réseau thématique Déchets, Valeurs et Sociétés](#) ainsi que le pilotage du groupe de travail "Zero Plastic" sur les Réserves de la Biosphère à l'UNESCO entre autre. Une intense activité d'efforts collectifs proposant une réflexion autour de la question :

### Quels défis pour lutter contre la pollution plastique ?

La production des plastiques et sa consommation induite ne cessent de croître, augmentant les impacts sur l'ensemble des écosystèmes (voir [Microplastiques et cycles biogéochimiques marins](#) et [Le plastique dans les sols](#)), et des organismes vivants (voir [Interaction plastique-biota en mer](#) et [De l'enchevêtrement à l'ingestion](#)), humains compris (voir [Le plastique est-il toxique ?](#) et [Impact des plastifiants sur l'environnement et la santé](#)). Voulons-nous réduire la pollution plastique ? Si la réponse est OUI, nos sociétés vont devoir faire face à 3 défis :

### Un défi normatif pour renforcer le rôle des sciences dans nos sociétés

Trois éléments de nature distincte constituent le socle du défi normatif et la question de la "pollution plastique" : (i) la définition des priorités de recherche, (ii) l'identification et la compréhension des liens de cause à effet, et (iii) l'explicitation des valeurs, des normes, sur lesquelles reposent les choix de chaque élément actif de la recherche. Si l'on analyse les travaux scientifiques depuis la perspective de ces trois éléments, on observe que 100% des communications explicitent les priorités (point (i) ci-dessus), une grande majorité met en évidence des causalités (point (ii)) mais seul un faible pourcentage dresse un cadre normatif (point (iii)).

<sup>76</sup> Thompson R.C. et al., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? Science, 304, pp.838-838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

<sup>77</sup> Baztan J., Jorgensen B., Pahl S., Thompson R.C., Vanderlinden J.-P. (Eds.) 2017, MICRO 2016. Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems, From the Coastline to the Open Sea. 294pp. Elsevier. ISBN 978-0-12-812271-6.

## Un défi éthique pour faire face à des rapports de force hautement déséquilibrés

Les citoyens-consommateurs et les agents publics sont dans des rapports de force hautement déséquilibrés avec les producteurs et les recycleurs des plastiques. Les clefs de l'équilibre éthique sont dans l'amélioration de la transparence et dans l'élimination des conflits d'intérêts, pour remplacer l'éthique dominante de déconnexion où les efforts sont faits pour déconnecter les profits des conséquences environnementales et sociétales des activités qui génèrent ces profits. Plusieurs travaux ont démontré le lien entre le manque de transparence et la pollution plastique, via la corruption et l'influence des lobbies industriels.<sup>78</sup>

## Un défi économique pour équilibrer les injustices sociales



Dans les différentes chaînes de valeurs des produits plastiques on utilise trop souvent l'externalisation des coûts et l'internalisation des bénéfices, autrement dit : nos sociétés dédient énormément de ressources pour pallier une pollution qui est extrêmement rentable pour les producteurs qui émettent des polluants ainsi que pour les recycleurs.

Un exemple est le déséquilibre flagrant entre, d'une part, le coût très élevé de la collecte et du traitement des déchets plastiques par nos collectivités et, d'autre part, la rentabilité financière importante dont bénéficient les producteurs et les recycleurs en fin de chaîne de traitement. Les 3 équipes de scientifiques les plus citées qui modélisent les flux des matériaux et les flux économiques<sup>79,80,81</sup> avancent une piste pour expliquer ce déséquilibre : l'opacité des informations provenant des producteurs des plastiques et des recycleurs. La réduction de la production constitue l'hypothèse de solution la plus robuste pour réduire la pollution de manière significative.

<sup>78</sup> Cordier et al., 2021. Plastic pollution and economic growth: The influence of corruption and lack of education. *Ecological economics*, 182, 106930. [doi: 10.1016/j.ecolecon.2020.106930](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106930)

<sup>79</sup> Geyer et al., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3. [doi: 10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782)

<sup>80</sup> Borrelle et al. 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369(6510), pp.1515-1518. [doi: 10.1126/science.aba3656](https://doi.org/10.1126/science.aba3656)

<sup>81</sup> Lau et al. 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science*, 369(6510), pp.1455-1461. [doi: 10.1126/science.aba947](https://doi.org/10.1126/science.aba947)

# Remerciements



**Plastisol** financé par l'ADEME (GRAINE 2019) : *Devenir des microplastiques dans les filières de traitement des produits résiduaux organiques – quels impacts pour la qualité et la santé des sols ?* – (coord. MF Dignac)

**e-DIP** financé par l'ANR (ANR-21-CE34-0017) : *Dynamique environnementale et impacts des cocktails de contaminants provenant des plastiques dans les Écosystèmes terrestres* – (coord. MF Dignac)

**DISCO** financé par l'ANR (ANR-14-CE21-0003) : *Impact des perturbateurs endocriniens sur la communication sexuelle des insectes* – (coord. D Siaussat)

**PE AGRO EVAL** financé par l'ANSES (APREST 2020) : *Dynamique de 2 perturbateurs endocriniens chez 2 plantes cultivées et évaluation de leurs effets sur un insecte polyphage et la souris* – (coord. D Siaussat)

**PLASTICIDE** financé par l'ANSES (APREST 2021) : *La face cachée des impacts biologiques des nano-plastiques, de leurs co-contaminants et des changements climatiques sur les espèces animales* – (coord. D Renault)



**Zero Plastic in Biosphere Reserves** financé par l'UNESCO (2009-2017 et 2018-2024) via les gouvernements de Menorca et Lanzarote pour le "World Network of Island and Coastal Biosphere Reserves" – (coord. J. Baztan)

**PLASTRANSFER** financé par l'ADEME (APR Microplastiques continentaux) : *Transfert de micro- et nanoplastiques entre les matrices terrestre, aérienne et aquatique, du bassin versant à l'estuaire des fleuves* – (coord. JF Ghiglione)

**PLASTIMAR** financé par l'ANR (ANR-23-CE34-0011) : *Facteurs biotiques et abiotiques déterminant la biodégradation des déchets plastiques dans le milieu marin* – (coord. JF Ghiglione)

**3DBIOBASED** financé par l'ANR (ANR-23-CE43-0009-01) : *Distribution, dispersité, dissolution des polymères biosourcés* – (coord. P Castignolles)

**BACKPLAST** financé par CITEO : *Utilisation des collections d'histoire naturelle pour étudier rétrospectivement la pollution microplastique* – (coord. S. Samadi & J.-B. Fini)



**MicroplastiX** financé par JPI Oceans EU, 2020-2023 : *Integrated approach to the fate of Microplastics (MPs) towards healthy marine ecosystems*. Projet international interdisciplinaire réunissant 15 partenaires de 7 pays. L'objectif principal du projet est d'améliorer notre compréhension des mécanismes de dégradation qui affectent les microplastiques (MPs). – (coord. L. Brand; M. L. Pedrotti, PI of the WP4).



**LABPLAS** project H2020 EU (16 partners 8 countries), 2021-2025 : *Understanding the sources, transport, distribution and impacts of plastic pollution*. L'objectif est de renforcer les capacités (d'échantillonnage, d'analyse et de quantification, modèles) pour évaluer les interactions des plastiques avec les compartiments environnementaux (air, eau, sédiments) et les cycles naturels.– (coord. R. Beiras, M.L. Pedrotti PI for France).

# Liste des auteurs

- Bailly Denis**, Université de Bretagne Occidentale, UMR Amure
- Baztan Juan**, Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines - Université Paris-Saclay (centre de recherche [CEARC](#))
- Castignolles Patrice**, Sorbonne Université, Institut Parisien de Chimie Moléculaire, Equipe Chimie des Polymères, Campus Pierre et Marie Curie
- Colombini Gabin**, IRD, Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris ([iEES-Paris](#)), Sorbonne Université-CNRS-INRAE-IRD-Université Paris-Est, Campus de Jussieu
- Cordier Mateo**, Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines - Université Paris-Saclay (centre de recherche [CEARC](#))
- Cornu Florian**, Association MerTerre
- Courtier Quentin**, Association MerTerre
- Dettling Valentin**, Muséum National d'Histoire Naturelle, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité (ISYEB) & Physiologie Moléculaire et Adaptation (PhyMA)
- Dignac Marie-France**, INRAE, Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris ([iEES-Paris](#)), Sorbonne Université-CNRS-INRAE-IRD-Université Paris-Est, Campus de Jussieu
- Fauvet-Messat Benoit**, (Muséum National d'Histoire Naturelle), unité de service Mosaic, MNHN-Sorbonne Université
- Fini Jean-Baptiste**, Muséum National d'Histoire Naturelle, Physiologie Moléculaire et Adaptation (PhyMA)
- Ghiglione Jean-François**, CNRS, Laboratoire d'Océanographie Microbienne ([UMR 7621](#)), Sorbonne Université-CNRS, Observatoire Océanologique de Banyuls, Banyuls sur mer
- Gorini, Christian**, Sorbonne Université, institut des Sciences de la Terre (ISTeP), Campus Pierre et Marie Curie
- Guégan Philippe**, Sorbonne Université, Institut Parisien de Chimie Moléculaire, Equipe Chimie des Polymères, Campus Pierre et Marie Curie
- Illy Nicolas**, Sorbonne Université, Institut Parisien de Chimie Moléculaire, Equipe Chimie des Polymères, Campus Pierre et Marie Curie
- Jain Anachal**, Université de Bretagne Occidentale, UMR AMURE
- Jorgensen Bethany**, Cornell University, College of Agriculture and Life Sciences
- Julliard Romain**, Muséum National d'Histoire Naturelle, unité de service Mosaic, MNHN-Sorbonne Université, Campus Pierre et Marie Curie
- Jung Jean-Luc**, Muséum national d'Histoire naturelle, Institut de systématique, évolution, biodiversité ([ISYEB](#), UMR 7205) Station marine de Dinard,
- Laguionie Claire**, Muséum National d'Histoire Naturelle, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité (ISYEB)
- Marcellan Alba**, Sorbonne Université, Sciences et Ingénierie de la Matière Molle
- Mhaouty-Kodia Sakina**, CNRS, Institut de Biologie Paris Seine, Sorbonne Université, CNRS, INSERM, Campus Pierre et Marie Curie

**Monsaingeon Baptiste**, université de Reims Champagne-Ardenne, laboratoire d'économie et de gestion de Reims (REGARDS)

**Pantoustier Nadège**, Sorbonne Université, Sciences et Ingénierie de la Matière Molle

**Pedrotti Maria Luiza**, CNRS, Sorbonne Université. Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (UMR 7093), Institute de la Mer (IMEV), Villefranche sur Mer

**Poitou Isabelle**, Association MerTerre

**Prazuck Christophe**, Directeur de l'Institut de l'Océan de l'Alliance Sorbonne Université

**Ratti Claudia**, Muséum National d'Histoire Naturelle, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité (ISYEB)

**Richon Camille**, Sorbonne Université, Laboratoire d'Océanographie et du Climat: Expérimentations et Approches Numériques (LOCEAN), Campus de Jussieu, Paris

**Rodríguez Torres Rocío**, Sorbonne Université, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (UMR 7093), Institute de la Mer (IMEV), Villefranche sur Mer

**Samadi Sarah**, Muséum National d'Histoire Naturelle, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité (ISYEB)

**Siaussat David**, Sorbonne Université, Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris ([iEES-Paris](#)), Campus Pierre et Marie Curie

**Thorel Maxime**, Association MerTerre

**Comité éditorial** : Quenea Katell, Prazuck Christophe, Dignac Marie-France, Ghiglione Jean-François, Siaussat David



En mars 2022, les Nations-Unies ont ouvert une négociation internationale pour mettre fin à la pollution plastique.

Dès 2023, l'Alliance Sorbonne Université s'est mobilisé pour contribuer et participer à cet effort scientifique et politique.

Elle a rassemblé des chercheurs de Sorbonne Université, du Muséum National d'Histoire Naturelle. Elle est la première université française accréditée par l'UNEP pour participer aux négociations internationales.

Dans ce recueil, une quarantaine de chercheurs ont rédigé vingt fiches, animés par le souci de la pédagogie et l'impératif de la rigueur. Pédagogie d'une forme succincte exempte de vocabulaire technique. Rigueur scientifique avec l'indication en bas de page des références des meilleures et des plus récentes publications sur chacun des sujets abordés.

Les auteurs sont chimistes, agronomes, microbiologistes, virologues, écotoxicologues, neuroendocrinologues, écologues, océanographes, biologistes marins... Seule une telle variété de compétences permet d'approcher une crise d'ampleur universelle comme celle de la pollution plastique.



Sorbonne Université est une université pluridisciplinaire de recherche au cœur de Paris. Elle comprend trois facultés, des lettres, des sciences et de l'ingénierie, et de la santé. Elle conduit ses missions d'enseignement, de recherche, d'innovation, de médiation et de transfert de technologies de manière innovante et créative, au profit du bien commun.



Le Muséum National d'Histoire Naturelle est un centre scientifique d'excellence qui étudie la Terre et le Vivant depuis les périodes les plus reculées du passé jusqu'à aujourd'hui, en interrogeant notre devenir. Le Muséum partage ses savoirs et œuvre à la conservation de la biodiversité et des patrimoines naturels ou culturels.

**Citation** : Alliance Sorbonne Université 2024. Le plastique : un poison si pratique. doi: 10.5281/zenodo.10959051