POLLUTION PLASTIQUE
LA BIODIVERSITÉ MENACÉE

X. Cousin, G. Darmon,
M.-F. Dignac, F. Lartaud,
G. Le Roux, G. Mathieu-Ernande,
C. Miaud, coord.

éditions Quæ

Pollution plastique, la biodiversité menacée

Xavier Cousin, Gaëlle Darmon, Marie-France Dignac, Franck Lartaud, Gaël Le Roux, Gaëlle Mathieu-Ernande, Claude Miaud, coordinateurs

Préface de Angèle Préville et Philippe Bolo

Éditions Quæ

Sur la même thématique, aux éditions Quæ

L'odyssée des déchets. Du big bang à nos jours
Duquennoi C.
Quae en poche, 2024, 94 p.

Gouverner un monde toxique
Boudia S., Jas N.
Sciences en question, 2019, 124 p.

Déchets : changez-vous les idées !
Bellin I., avec Duquennoi C., préface de Deixonne P.
Hors collection, 2018, 184 p.

Les rivières urbaines et leur pollution
Lestel L., Carré C., coord.
Indisciplines, 2017, 296 p.

Une mer propre, mission impossible ?
Galgani F., Poitou I., Colasse L.
Clés pour comprendre, 2013, 176 p.

Pour citer cet ouvrage :

Cousin X., Darmon G., Dignac M.-F., Lartaud F., Le Roux G., Mathieu-Ernande G., Miaud C. (coord.), 2025. *Pollution plastique, la biodiversité menacée*, Versailles, éditions Quæ, 188 p., https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4084-5

Les éditions Quæ réalisent une évaluation scientifique des manuscrits avant publication.

Le processus éditorial s'appuie également sur un logiciel de détection des similitudes et des textes potentiellement générés par IA.

La diffusion en accès ouvert de cet ouvrage, porté par le Défi Clé BiodivOc, a été soutenue par la Région Occitanie et l'université de Montpellier.

Les versions numériques de cet ouvrage sont diffusées sous licence CC-by-NC-ND 4.0.

© éditions Quæ, 2025

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex
www.quae.com – www.quae-open.com

ISBN papier : 978-2-7592-4083-8
ISBN PDF : 978-2-7592-4084-5
ISBN epub : 978-2-7592-4085-2

Sommaire

Remerciements 7
Philippe Jarne

Préface 9
Angèle Préville et Philippe Bolo

Introduction 13
Fabienne Lagarde et Pascale Fabre

Le plastique : un matériau révolutionnaire 13

Les plastiques au confluent de la triple crise planétaire du climat, de la pollution et de la biodiversité 14

De la présence du plastique à ses impacts 16

Partie 1
Un monde sous plastique

Introduction 20
Jean-François Ghiglione

Chapitre 1. Que sont les plastiques et leurs débris ? 24
Roxane Danquigny, Cloé Veclin, Javier Jimenez-Lamana, Bruno Grassl et Stéphanie Reynaud

Les matériaux plastiques : historique, production et usages 24

Quand les plastiques deviennent des déchets 26

Les déchets : des macroplastiques aux nanoplastiques 28

Chapitre 2. Le monitoring de l'environnement : comment quantifier, caractériser et suivre les pollutions plastiques ? 32
Marie-France Dignac, Wolfgang Ludwig, Philippe Kerhervé, Bruno Charrière, Gaël Le Roux, Gaëlle Darmon, Franck Lartaud et Jean-Christophe Auguet

Microplastiques dans les sols : sources, teneurs et devenir 32

Les plastiques dans les fleuves : comment les suivre et quantifier leur apport en mer ? 36

Bilan de masse et zone critique de montagne : quantification dans un bassin versant expérimental 42

À la recherche de sentinelles de la pollution plastique dans l'environnement 44

Conclusion 53

Références 54

Partie 2
Les conséquences sur les organismes

Introduction 60

Chapitre 1. Impacts sur les organismes continentaux 63
Camille Larue, Franck Gilbert, Gaëlle Darmon et Claude Miaud

Interactions entre particules plastiques et plantes terrestres 63
Impacts sur les organismes ingénieurs terrestres et aquatiques 67
Impacts sur la faune terrestre et des cours d'eau 70

Chapitre 2. Impacts sur les organismes marins 78
Karen D. McCoy, Marion Vittecoq, Xavier Cousin, Gaëlle Darmon, Claude Miaud, Jean-Christophe Auguet et Franck Lartaud

Les oiseaux marins, espèces modèles pour la pollution plastique 78
Impacts sur les poissons 83
Ingestion des plastiques chez les tortues marines 87
Impacts sur les organismes ingénieurs marins 92
Les phénomènes d'enchevêtrement, un impact direct sur les organismes marins 96

Conclusion 102

Références 104

Partie 3
Les conséquences sur les écosystèmes

Introduction 112

Chapitre 1. Impacts sur les fonctions du sol 113
Marie-France Dignac

Impacts sur la biodiversité des sols 114
Impacts sur la production végétale 115
Perturbation des cycles biogéochimiques qui impactent les cycles des éléments nutritifs pour les plantes 116
Impacts sur les autres fonctions du sol : teneur en eau, densité, porosité 116
Encore peu connu, l'impact des substances chimiques des plastiques 116

Chapitre 2. Impacts sur les écosystèmes côtiers et les réseaux trophiques marins 118
Ika Paul-Pont, Kevin Tallec et Arnaud Huvet

Les écosystèmes côtiers : voie d'entrée des déchets plastiques en mer 119
Impacts sur le phytoplancton, premier maillon de la chaîne trophique 119
Transfert trophique 120
Impacts sur les espèces ingénieures côtières 121
Contamination des produits de la mer et sécurité des aliments 121

Chapitre 3. Impacts sur les fonds marins 123
François Galgani

Une distribution hétérogène 123
Les engins de pêche 125
Des impacts significatifs sur les écosystèmes 126
Quelles perspectives ? 127

Chapitre 4. Plastiques, vecteurs de micro-organismes nuisibles et de polluants 129
Ika Paul-Pont, Gaëtan Burgaud, Jean-François Briand, Arnaud Huvet et Mélanie Ourgaud
Plastiques : véritables radeaux flottants et nouvelle niche écologique 129
Plastiques : source et vecteur d'un cocktail de contaminants 134
Conclusion 141
Références 143

Partie 4
La transition plastique : quelles obligations, quelles alternatives et quelles solutions pour quels impacts sur la biodiversité ?

Introduction 148
Chapitre 1. Volet réglementaire 150
Loïc Peyen et François Galgani
Réglementation existante et obligations 150
Quelle réglementation pour demain ? 155
Chapitre 2. Vers une gestion circulaire des déchets plastiques pour protéger la biodiversité 158
Emmanuelle Gastaldi
La fin de vie des emballages plastiques 158
Gestion des déchets plastiques et économie circulaire 159
Chapitre 3. Plastiques biodégradables : une solution à la pollution plastique ? 166
Jean-François Ghiglione
Quelle est la définition d'un plastique biodégradable ? 166
Ces plastiques sont-ils biodégradables dans tous les environnements ? 166
Des plastiques biodégradables pour quels usages ? 167
L'utilisation des plastiques biodégradables peut-elle présenter des dangers ? 167
Comment mesure-t-on la biodégradabilité des plastiques ? 168
Quelles sont les limites des tests standards de biodégradabilité ? 168
Conclusion 171
Références 172

Conclusion générale 175
Endiguer la pollution plastique, un nouveau paradigme pour la recherche 175
Une prise de conscience généralisée, mais une réponse en dessous des enjeux 176
Références 181

Liste des coordinateurs, des auteurs et des contributeurs 182
Coordination de l'ouvrage 182
Auteurs / contributeurs 182
Crédits iconographiques 185

Remerciements

Le projet BiodivOc est né d'une initiative de la Région Occitanie pour soutenir la recherche sur la biodiversité, sur son fonctionnement et sur sa dynamique. À l'échelle de la région, mais aussi bien plus largement, tant il serait vain de tenter de comprendre la biodiversité dans un espace restreint. Tout comme il serait vain de ne pas mener ces recherches dans le contexte actuel d'effondrement de la biodiversité. Les sources de cet effondrement sont bien connues et bien caractérisées scientifiquement : grands changements climatiques, appropriation des terres par l'urbanisation et l'agriculture, invasions d'espèces… et bien entendu pollutions de toutes sortes.

Quand on parle de « pollutions », comment ne pas considérer la pollution plastique… ubiquiste et massive, comme le rappellent Angèle Préville et Philippe Bolo dans la préface de cet ouvrage. Pourtant, les connaissances de son impact sur la biodiversité, sur les espèces et sur les écosystèmes restent limitées, et trop ignorées. C'est ce qui a conduit le Défi Clé BiodivOc à organiser le colloque « Biodiversité et pollutions plastiques : des impacts aux solutions », à Banyuls-sur-Mer en janvier 2023. Pour faire un bilan des connaissances, pour explorer des pistes pour s'en sortir, rassemblant un parterre de scientifiques, décideurs, entreprises, associations et citoyens. C'est de ce colloque qu'est né cet ouvrage, sous forme d'une aventure collective (valeur à défendre de nos jours !).

Les premiers remerciements vont donc à la Région Occitanie de nous avoir laissé toute liberté de choix et d'actions, à l'université de Montpellier pour un soutien sans faille sans lequel cet ouvrage n'aurait certainement pas vu le jour, et à l'Observatoire océanologique de Banyuls (université Paris Sorbonne) d'avoir accueilli ce colloque.

Ils vont aussi aux 30 autrices et auteurs qui ont contribué à cet ouvrage et qui, en s'appuyant sur des exemples concrets issus des résultats d'études scientifiques récentes, donnent des clés au lecteur pour comprendre les grands enjeux et les risques de la pollution par les plastiques.

Un grand merci également aux membres du comité de coordination, X. Cousin, G. Darmon, M.-F. Dignac, F. Lartaud, G. Mathieu-Ernande, G. Le Roux et C. Miaud, pour leur investissement, qui a permis, sous la houlette tenace et exigeante de G. Mathieu-Ernande, de (presque) tenir le calendrier et de veiller à la cohérence et à la qualité de cet ouvrage.

Je tiens à remercier tout particulièrement Angèle Préville et Philippe Bolo de nous avoir fait le plaisir d'en rédiger la préface, mais aussi de leurs engagements de longue date aux côtés de la communauté scientifique pour alerter les pouvoirs publics sur la gravité de la pollution plastique.

Merci enfin à toute l'équipe des éditions Quæ qui nous a fait confiance et nous a accompagnés tout au long de l'élaboration de cet ouvrage.

Philippe Jarne
Directeur scientifique du Défi Clé BiodivOc,
Directeur de recherche CNRS,
Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), Montpellier.

Préface

Quel monde voulons-nous pour demain ? Quel monde souhaitons-nous laisser aux générations futures ?

Cet ouvrage apporte des réponses à ces questionnements essentiels. Étayé par l'important travail de scientifiques, spécialistes de la pollution plastique et de ses impacts, il représente un formidable travail de vulgarisation indispensable à l'engagement fort des citoyens et des politiques.

Dans le cadre de notre rapport « Pollution plastique, une bombe à retardement ? » remis à l'OPECST[1] (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques) en 2020, nous avions auditionné un grand nombre de scientifiques travaillant sur le sujet. Ils avaient dressé un bilan alarmant !

Depuis, leurs travaux, leurs expérimentations et leurs observations se sont poursuivis, nous apportant des connaissances supplémentaires et une compréhension toujours plus fine de la pollution et de ses effets. Le partage de ces connaissances est indispensable pour transmettre à tout un chacun la compréhension de cette pollution insidieuse et généralisée. C'est un prérequis nécessaire pour envisager les actions individuelles et collectives à engager. Dans cette perspective, nous saluons l'initiative généreuse et responsable des auteurs de partager leurs connaissances scientifiques.

Les « révélations » contenues dans cet ouvrage sont de nature à réveiller les consciences, à faire bouger les lignes, à susciter des réactions et des actions pour bousculer nos certitudes et nos habitudes. Si notre rapport pour l'OPECST fit date, cet ouvrage le fera aussi. Il apporte des preuves irréfutables de l'urgence à traiter le sujet. Notre responsabilité collective est bien de faire en sorte que l'état de la planète ne soit pas pire qu'avant notre passage sur Terre.

Nos différents travaux pour l'OPECST (rapport de 2020 précédemment cité, synthèse de l'audition publique de 2023 sur les enjeux scientifiques du traité international visant à mettre un terme à la pollution plastique[2], note de 2023 sur le recyclage des plastiques[3] et synthèse de l'édition publique de 2024 sur les impacts des plastiques sur la santé humaine[4]) nous ont permis de mesurer, parfois avec effroi, les effets considérables de cette pollution sur le long terme. Elle est déjà si importante, bien au-delà du raisonnable, disséminée, éparpillée en tous points de la Terre et dans les organismes qui y vivent, sous toutes les formes, à toutes les échelles et parfois en fragments si petits, micro- et nanoplastiques, qu'ils en deviennent invisibles.

1. https://www2.assemblee-nationale.fr/content/download/320346/3119124/version/2/file/2020_0063_rapport_pollution_plastique-compress%C3%A9.pdf
2. https://www.senat.fr/rap/r22-641/r22-6411.pdf
3. https://www.philippe-bolo.fr/wp-content/uploads/2024/01/opecst_note_recyclage_plastiques_vf2.pdf
4. https://www.senat.fr/rap/r24-141/r24-141-syn.pdf

Nous avons la responsabilité d'endiguer ce flux massif et ininterrompu et de stopper une accumulation qui est malheureusement déjà en cours depuis trop longtemps.

Malgré les alertes, la production du plastique suit toujours une croissance exponentielle. Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer au vu des images « choc » de l'enchevêtrement de phoques dans des filets de pêche en plastique perdus en mer ou des tortues blessées par des pailles coincées dans leurs narines, la consommation de plastique n'a pas diminué. Les filets « fantômes », qui n'ont de fantôme que leur nom, provoquent la mort d'animaux marins. Ce n'est pas un épiphénomène mais une réalité cruelle et sidérante, terriblement préjudiciable et une des causes du déclin de la biodiversité.

Comme parlementaires, nous nous sommes emparés de la loi « Économie circulaire et lutte contre le gaspillage » pour y inscrire plusieurs dispositifs dans l'objectif de limiter les effets négatifs de l'utilisation irrationnelle des plastiques. Parmi les mesures fortes de cette loi, citons en particulier la mise en place d'une REP (responsabilité élargie des producteurs) sur les engins de pêche, l'obligation de limiter les fuites de granulés de plastique vierge dans les installations de production, de transport et de stockage, l'interdiction des emballages plastique pour les fruits et légumes, etc.

Toutes ces intentions législatives vertueuses ont fait l'objet d'actions de contournement par un lobbyisme actif, peu scrupuleux et indifférent à l'urgence de préserver la planète, sa biodiversité et la santé de chacune et chacun d'entre nous. Ces actions ont retardé l'application de la loi.

À bien des égards, certains plastiques ne sont plus fantastiques, mais horrifiques. Égarés dans la nature, ils ne se décomposent pas, mais se fragmentent. Ils se chargent des polluants organiques qu'ils croisent. Ils sont colonisés par nombre de micro-organismes possiblement invasifs et pathogènes. Enfin, ils relarguent tout au long de leur très long cycle de vie les additifs, plastifiants et autres substances chimiques qu'ils contiennent. Certaines de ces molécules sont des perturbateurs endocriniens qui s'accumulent continûment dans tous les compartiments de notre environnement, dans l'eau, dans les sols et dans nos organismes. De faibles doses mettent notre santé et nos écosystèmes en danger.

Cet ouvrage documente, preuves scientifiques à l'appui, chacun de ces phénomènes et leurs conséquences. Il contribue à faire découvrir que la pollution par des macro-déchets en surface des océans n'est que la partie visible de l'iceberg de la pollution plastique. C'est sous la surface visible, jusqu'aux fonds marins, que le problème est bien plus important. Savoir que notre si belle mer Méditerranée, cette Grande Bleue, cette *mare nostrum* si chère à nos cœurs, est l'un des espaces marins les plus pollués au monde doit nous interpeller et nous faire réagir avec force et urgence.

Notre société d'hyperconsommation a rendu le plastique hyperprésent dans notre quotidien et a créé des habitudes, des solutions de facilité et des commodités associées au tout jetable et au tout emballé. Le problème de la pollution plastique est bien plus complexe que l'abandon d'emballages ou d'autres objets dans l'environnement. La pollution plastique touche à nos habitudes de vie, à l'organisation même de notre société et de notre modèle de consommation. Tout s'accélère encore comme le montre le récent et emblématique phénomène de l'ultra *fast-fashion* : cette consommation frénétique et massive de vêtements en fibres synthétiques achetés par Internet à très bas prix.

Il faut le crier haut et fort, le polyester, le tissu polaire, c'est du plastique ! Il se dit que la quantité de vêtements déjà confectionnés, déjà disponible dans le monde permettrait de vêtir 12 milliards d'êtres humains, et cela, pendant quatre générations ! Avec la production galopante de textiles en fibres synthétiques, les risques pour la santé et les effets délétères pour les écosystèmes résident dans la dissémination de microfibres en plastique dans l'air et dans l'eau, lors du lavage en machine et de l'utilisation de nos vêtements.

Nous attendons beaucoup du prochain traité de l'Organisation des Nations unies sur la pollution plastique en cours de négociation. Nous avions assisté à la seconde session du comité intergouvernemental de négociations à Paris en mai 2023. Cet instrument juridiquement contraignant représente une formidable opportunité pour pousser les solutions qui doivent être prises à l'échelle planétaire.

Dans le cadre de cet espace de négociations, nous avons pu mesurer l'importance des lobbys et le trop grand nombre de pays hostiles à une diminution de la production, soit par intérêt économique ou stratégique, soit par méconnaissance des impacts de la pollution plastique.

Dans le cadre des débats de ce traité international, le sujet des additifs émerge et c'est une bonne chose, même s'il est le prétexte d'une demande de recherches scientifiques complémentaires qui, si elles sont effectivement nécessaires, restent pour certains, ne nous y trompons pas, l'opportunité de retarder encore les décisions contraignantes qui s'appliqueraient à eux.

Le chemin est donc encore long et les initiatives de toutes sortes doivent se multiplier pour inverser la tendance. C'est l'affaire de toutes et tous.

La force que nous apportent les scientifiques, c'est la puissance du savoir et de la connaissance qui font de nous des citoyens éclairés. Merci à toutes celles et ceux qui ont consacré leur temps et mobilisé leurs réflexions pour rendre compréhensible ce vaste sujet.

Les espérances sont fortes et l'optimisme doit nous porter.

Nous vous souhaitons une bonne lecture !

Angèle Préville[5] *et Philippe Bolo*[6]

5. **Angèle PRÉVILLE** est ancienne sénatrice du Lot, membre de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable, membre de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (2017-2023).
6. **Philippe BOLO** est député de Maine-et-Loire, commission des affaires économiques, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

Introduction

Fabienne Lagarde et Pascale Fabre

⏩ Le plastique : un matériau révolutionnaire

Les plastiques sont entrés massivement dans nos vies à partir des années 1960 avec l'image de matériaux inertes, résistants et sûrs. Ce qu'on appelle « plastique » est composé majoritairement de polymères, qui sont de très longues chaînes constituées de petites molécules (ou monomères) mises bout à bout. Des additifs entrent également dans leur composition mais en plus faibles quantités, afin de leur conférer des propriétés spécifiques, comme la plasticité ou la tenue au vieillissement. Ces qualités exceptionnelles ont constitué une véritable révolution en chimie des matériaux, comme l'atteste le fait que, dans la seconde moitié du XX^{e} siècle, plusieurs prix Nobel ont été attribués aux chercheurs les ayant découverts ou étudiés. En raison de leurs prix très bas, les plastiques ont permis de démocratiser l'accès aux biens de consommation, aux technologies et ont amélioré les soins médicaux dans le monde entier. Ils ont tout simplement révolutionné nos vies. Pourtant, soixante ans plus tard, ils sont considérés comme un fléau mondial et sont devenus l'objet central de négociations internationales sous l'égide des Nations unies pour essayer d'enrayer leur prolifération.

Le sac plastique à lui seul illustre parfaitement ce changement de paradigme : le premier sac en polyéthylène est breveté en 1965 par la société suédoise Celloplast et occupe, 25 ans après, plus de 80 % du marché des sacs en Europe (figure I.1). Ces sacs, présentés comme nettement supérieurs aux sacs en papier ou aux sacs réutilisables, font alors leur entrée sur le marché américain au début des années 1980 et, face à un succès fulgurant, inaugurent l'ère du « tout jetable ». En à peine 20 ans, le monde est alors envahi de plastique, dont les fameux sacs jetables, et à la suite des premières alertes d'explorateurs et de scientifiques, certains États commencent à agir. Le Bangladesh est le premier pays au monde à interdire les sacs en plastique en 2002, après avoir découvert lors d'inondations catastrophiques qu'ils obstruaient les systèmes de drainage. D'autres pays leur emboîtent le pas mais sans inverser réellement la tendance. En 2011, on estime qu'un million de sacs en plastique sont consommés chaque minute dans le monde ! À ce jour, près de 100 pays ont partiellement ou totalement banni l'utilisation de sacs en plastique jetables et de nombreuses restrictions sur l'utilisation de plastiques à usage unique ont vu le jour. Pour autant, la production mondiale de matières plastiques continue ce qui semble être une inexorable progression avec près de 460 millions de tonnes produites en 2019.

Figure I.1. Du premier sac en polyéthylène jetable (brevet en 1965) aux paysages plastiques (2011).

⏩ Les plastiques au confluent de la triple crise planétaire du climat, de la pollution et de la biodiversité

Ainsi, en moins de soixante années d'existence, les plastiques sont devenus le troisième matériau le plus produit au monde après le ciment et l'acier, ce qui représente des volumes absolument considérables. Cette massification de la production et des usages place aujourd'hui les plastiques au confluent de la triple crise planétaire que nous vivons : celle du climat, de la pollution et de la perte de biodiversité (figure I.2).

Les conséquences de l'activité humaine sur l'environnement sont difficiles à prévoir et encore plus à chiffrer. Le concept de « limites planétaires » a récemment été proposé pour quantifier les perturbations du système terrestre provoquées par l'Homme, dans les processus écologiques, biogéochimiques et climatiques. C'est tout au long de leur vie, depuis l'extraction de la matière première, puis la production, la consommation, le traitement ou le rejet dans l'environnement, que les plastiques ont un impact environnemental et contribuent au dépassement des limites planétaires. À l'heure actuelle, six des neuf limites planétaires sont dépassées, le plastique contribue directement à l'une d'entre elles — l'introduction d'entités nouvelles dans la biosphère — et indirectement à cinq des autres limites déjà dépassées, dont les principales sont le changement climatique et la perte de biodiversité. Parmi les cinq produits chimiques les plus produits en Europe et responsables d'environ 50 % des impacts sur les limites planétaires, figurent deux matériaux plastiques : le polypropylène et le polyéthylène haute densité, en plus du styrène, un monomère toxique précurseur du polystyrène.

Pour ne citer que quelques-uns des principaux effets de la production de plastique sur l'environnement, notons les émissions de gaz à effet de serre lors de l'extraction de ressources fossiles pour la production et la synthèse des polymères qui sont très majoritairement issus de la pétrochimie. Ces émissions représentent actuellement 3 % des émissions totales de CO_2, les projections prévoient que cette proportion atteindra 15 % en 2040 (Karali *et al.*, 2024). Ainsi, la production de plastique contribue au changement climatique et à l'acidification de l'océan, qui devient de moins en moins efficace pour la séquestration du carbone, créant ainsi un cercle vicieux. De plus, il n'y a pas *un* plastique, mais *des* plastiques, plus de 16 000 molécules chimiques pouvant entrer

dans leur formulation comme composants ou comme additifs pour leur conférer des propriétés spécifiques : anti-feu, anti-oxydants, plastifiants… Certains de ces additifs produits en très grandes quantités sont toxiques et envahissent notre quotidien et notre environnement. De plus, par leur présence grandissante dans les sols, dans l'atmosphère et dans les milieux aquatiques, les plastiques et leurs additifs altèrent également les habitats et les écosystèmes, contribuant à la modification de la biodiversité.

Figure I.2. Les plastiques sont au centre des trois crises planétaires : changement climatique, perte de biodiversité et pollution. GES : gaz à effet de serre.

Mais, de toutes les étapes de sa « vie », c'est dans sa « fin d'usage » que le plastique se transforme effectivement en une pollution problématique, aujourd'hui clairement identifiée par le grand public. En effet, compte tenu des quantités produites et du fait que 40 % des plastiques sont destinés à des utilisations courtes, le volume de déchets plastiques générés est considérable et augmente au même rythme que la production. Dans son scénario de référence, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) prévoit que le volume des déchets plastiques devrait encore augmenter considérablement dans les prochaines décennies, passant de 353 millions de tonnes (Mt) en 2019 à 1 014 Mt en 2060. Ces flux et la diversité des plastiques qui les composent rendent complexe la gestion de ces montagnes de déchets.

Le recyclage, présenté comme le maillon essentiel de cette gestion, en dépit des efforts et des coûts engendrés, ne s'avère pas à la hauteur des attentes. À l'heure actuelle, dans le monde, à peine 10 % des plastiques en fin d'usage sont réellement recyclés. Plus de 30 % sont encore destinés à des décharges souvent mal contrôlées et on estime que, chaque année, plusieurs dizaines de millions de tonnes de plastiques entrent dans l'environnement, quantités qui pourraient tripler d'ici 2040.

À l'image de leurs productions et phases d'usages, toutes les fins de vie des plastiques ont des répercussions sur l'environnement, mais les déchets mal gérés, qui y entrent directement et de manière incontrôlée, suscitent des inquiétudes particulières, notamment sur leurs possibles impacts sur la biodiversité.

On estime en effet que ce sont, chaque année, 8 à 12 millions de tonnes de plastiques qui, via les fleuves et les zones côtières, arrivent dans les océans et mers du monde. Si le continent plastique[7] est le plus tristement célèbre et constitue le premier dépotoir de plastique géant porté à la connaissance du public, on sait aujourd'hui que le plastique est présent dans tous les compartiments de l'environnement : fonds marins, rivières, sols, atmosphère et même dans les nuages. La présence de plastique en grande quantité dans les sols est moins visible et médiatisée, mais commence à être très documentée.

La durabilité des plastiques est en effet à la fois trop et pas assez grande : sous l'effet des rayons ultraviolets (UV) du soleil essentiellement, à l'instar de la chaise en plastique sur notre terrasse au bout de plusieurs années, il s'effrite et se transforme en particules plus petites, de quelques millimètres : les microplastiques. Ces particules très légères sont facilement transportées par le vent sur de grandes distances : on en a retrouvé jusque dans des régions éloignées de l'Arctique. Jusqu'à il y a peu, on pensait même utiliser les microplastiques comme un marqueur de l'Anthropocène, si cette ère avait été validée : la profondeur des couches sédimentaires dans lesquelles on les retrouve était censée nous donner le top départ de l'ère du « tout plastique ». Mais, ironie du sort : des chercheurs viennent de montrer que les particules les plus petites se faufilent dans les sédiments de plus en plus profondément, atteignant des zones correspondant à des périodes où le plastique n'avait même pas été inventé ! Ainsi, il envahit notre présent… et remodèle le passé.

Toutefois, l'histoire ne se termine pas avec les microplastiques : ces particules peuvent en effet continuer à se dégrader en objets 1 000 à 10 000 fois plus petits, les nanoplastiques. Comme toutes les autres nanoparticules, celles-ci sont probablement suffisamment petites pour passer les barrières des cellules et pénétrer jusqu'à l'intérieur des organes, causant potentiellement des dommages bien supérieurs et plus durables que les particules plus grosses.

⏩ De la présence du plastique à ses impacts

Il ne se passe pas un jour sans que l'on entende parler de la perte de biodiversité, mais que recouvre exactement ce terme ? Les scientifiques parlent de « biodiversité » à trois niveaux : la diversité génétique au sein d'une population ou d'espèces, la diversité des

7. Découvert en 1997 par l'océanographe américain Charles Moore, le « 7e continent » se situe entre Hawaï et la Californie et s'étend aujourd'hui sur plus d'1,6 million de kilomètres carrés, soit trois fois la taille de la France métropolitaine (Lebreton *et al.*, 2018).

espèces dans un lieu donné et la diversité des écosystèmes. Par exemple, la biodiversité marine inclut les récifs coralliens, les forêts de varech, les herbiers marins, etc. Dans la mesure où la biodiversité couvre une large variété d'espèces et d'écosystèmes, l'évaluation des conséquences de la pollution plastique sur la biodiversité est une tâche très complexe. De plus, de nombreux facteurs influent sur la biodiversité et il n'est pas aisé d'identifier ceux qui sont spécifiquement liés aux polymères et à leurs additifs. Pour pallier cette difficulté, les scientifiques reproduisent souvent les conditions environnementales du mieux possible — mais en les simplifiant — dans leur laboratoire. Une autre difficulté est liée à la complexité de la formulation des plastiques, en général tenue secrète, et qui va de la dizaine à la centaine de composants : dès lors, comment isoler « le » responsable d'un effet, d'autant plus que chaque plastique est différent et que dans les endroits où ils s'accumulent, on trouve généralement différents types de plastiques. Ainsi, il est complexe de prouver qu'un polluant donné a un impact dans un environnement aussi multifactoriel, et de convaincre le public, l'entreprise ou le monde politique de cette causalité.

Malgré toute cette complexité, on considère à présent trois grandes classes de phénomènes qui ont un impact sur la biodiversité : l'enchevêtrement, l'ingestion et l'effet « radeau ».

Aujourd'hui, le constat est simple : où que l'on cherche du plastique, on en trouve. Des plastiques ont ainsi été identifiés par la communauté scientifique dans des environnements très variés et dans de très nombreux organismes à différents niveaux de la chaîne trophique[8]. Les océans étant un réceptacle final pour de nombreux polluants dont les plastiques, une des premières victimes de la pollution plastique est la biodiversité marine. Plus d'1,5 million d'animaux marins meurent chaque année à cause de la pollution plastique, dont 100 000 mammifères marins pris ou enchevêtrés dans des déchets plastiques. L'accumulation des macroplastiques (tels que les engins de pêche ou les plastiques à usage unique) dans l'environnement peut aussi recouvrir et détériorer des écosystèmes importants, altérant durablement des patrimoines ou paysages mais pouvant également conduire à la destruction de certains habitats naturels comme les récifs coralliens et les mangroves.

Ces déchets, en fonction de leurs tailles, peuvent aussi être ingérés. Une étude récente (Darmon *et al.*, 2022) a par exemple montré la présence de plastique dans les appareils digestifs de près de 70 % des tortues retrouvées mortes dans le pourtour méditerranéen, sans que l'on puisse cependant affirmer que leur mort est uniquement liée à la présence de ces déchets. Chez l'espèce d'oiseau *Ardenna carneipes* de l'île de Lord Howe, en Australie, le lien entre l'ingestion de plastique et une nouvelle maladie, ironiquement nommée *plasticose* et consistant en une fibrose de l'appareil digestif, a été récemment mis en évidence (Charlton-Howard *et al.*, 2023).

Aux tailles micro- et nanométriques, les particules de plastique affectent également les organismes plus petits qui les ingèrent, jusqu'aux bases fondamentales des chaînes alimentaires comme le plancton. En traversant leur système digestif, ces particules ont des effets délétères sur les organismes en altérant certaines fonctions biologiques,

8. On parle aussi de réseau trophique, qui décrit l'ensemble des interactions alimentaires entre les êtres vivants d'un écosystème. Au sein d'un réseau trophique, on trouve différents niveaux qui définissent les relations prédateurs-proies, par exemple.

comme les activités de filtration et les processus digestifs avec des répercussions sur le métabolisme énergétique de l'animal et sur les grandes fonctions physiologiques, telles que la croissance ou la reproduction. Par ailleurs, certains additifs chimiques des plastiques ont été identifiés comme ayant également des effets négatifs sur la reproduction et le développement, chez les mammifères, les oiseaux, les poissons, les invertébrés, les insectes et, en bout de chaîne, les humains.

À plus grande échelle, la grande variété de micro-organismes, nommée « plastisphère » (voir partie 3, chapitre 4 , p. 129-146), qui colonise les débris plastiques dans l'environnement pourrait conduire à des modifications importantes des écosystèmes. Par exemple, cinq ans après le tsunami qui a eu lieu au Japon en 2011 sur la côte pacifique du Tōhoku, des centaines d'espèces de bactéries et de micro-organismes nouveaux, qui avaient voyagé sur des débris de plastique (effet radeau) depuis les côtes japonaises, ont été retrouvées sur les côtes américaines. Ces espèces exotiques peuvent devenir envahissantes et ainsi perturber l'équilibre des écosystèmes locaux en rivalisant avec les espèces natives.

Même les sols et leur biodiversité ne sont pas épargnés. On sait aujourd'hui que les sols sont aussi le réceptacle de très grandes quantités de déchets plastiques via des contaminations directes (dépôts sauvages, bâches agricoles…), mais aussi de façon plus indirecte via l'épandage de boues issues du traitement des eaux usées contenant elles-mêmes des microplastiques. La présence de ces particules peut entraîner des changements dans les propriétés des sols et ainsi modifier non seulement les communautés bactériennes qui s'y trouvent, mais aussi toute la biodiversité des sols, ce qui constitue aujourd'hui une préoccupation majeure pour le secteur agricole.

Cet ouvrage vise à explorer les différentes facettes d'un problème devenu global et complexe. À travers quelques exemples d'analyses approfondies et de cas d'étude récents, nous examinerons les multiples effets des pollutions plastiques sur différents écosystèmes terrestres et aquatiques, ainsi que sur les espèces qui en dépendent pour leur survie.

Au fil de la lecture, vous comprendrez mieux les défis posés par la massification du plastique dans nos vies, ainsi que l'urgence de mettre en place des solutions innovantes et de meilleures pratiques pour limiter leur utilisation et leurs impacts sur la biodiversité et l'environnement. Enfin, nous nous interrogerons sur les actions individuelles et collectives nécessaires pour faire face à cette crise environnementale et préserver la richesse et la diversité de la vie sur Terre, indispensables à la survie humaine à long terme.