



Les **RENCONTRES**

synthèse

La pollution **plastique**

De nouvelles connaissances et
des pistes pour l'action publique



Laurent Basilico, Pierre-François Staub et Rachid Dris

Depuis le 1^{er} janvier 2020, l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) forment l'Office français de la biodiversité (OFB).

La pollution plastique

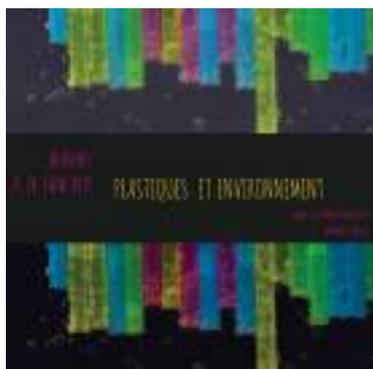
**De nouvelles connaissances et des pistes
pour l'action publique**

Laurent Basilico, Pierre-François Staub et Rachid Dris

Synthèse des premières Rencontres du GDR « Polymères et océans » (24 au 26 juin 2019 à Créteil)
et des journées « Plastiques et environnement » (27 et 28 juin 2019 à Champs-sur-Marne)



Les premières rencontres nationales du groupement de recherche « Polymères et océans », organisées par le Laboratoire eau environnement et systèmes urbains (Université Paris-Est Créteil) et l'Unité de recherche mer, molécules, santé (Université catholique de l'Ouest) se sont tenues du 24 au 26 juin 2019 à l'université Paris-Est Créteil. Le programme et les résumés des interventions sont disponibles sur <https://po2019.sciencesconf.org/>



Les journées « Plastiques et environnement » 2019, organisées par l'Office français de la biodiversité et le ministère de la Transition écologique et solidaire, avec divers partenaires scientifiques et institutionnels, se sont tenues les 27 et 28 juin 2019 à l'École des Ponts ParisTech, à Champs-sur-Marne. Le programme et les présentations de ces journées sont disponibles sur <https://enviropplast2019.sciencesconf.org/>

Cette synthèse est téléchargeable sur le portail technique de l'OFB (<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/904>) et sur le portail documentaire partenarial les documents sur l'eau et la biodiversité (www.documentation.eauetbiodiversite.fr).

CONTACT

Pierre-François Staub

Chargé de mission Pollution des écosystèmes et métrologie

Direction de la recherche et de l'appui scientifique

Office français de la biodiversité

pierre-francois.staub@ofb.gouv.fr

Préambule

Après un siècle de production et de consommation exponentielles des matières plastiques, celles-ci sont désormais disséminées partout à la surface du globe : sous forme de macrodéchets ou de fragments microscopiques, elles sont présentes dans les sols, les eaux douces, au milieu des océans et même dans l'atmosphère. Objet d'une prise de conscience croissante depuis quelques années, cette pollution généralisée pose de nombreuses questions à la science et interroge nos modes de vie tout entiers. Comment retracer et quantifier les différents flux de plastiques, des bassins versants terrestres au milieu marin ? De quelles façons et à quelle vitesse se dégradent-ils dans l'environnement ? Quels sont leurs impacts sur le vivant ? Et de quels leviers disposons-nous aujourd'hui pour agir concrètement, minorer les effets de cette pollution et la réduire à la source ?

Organisées sur une semaine au mois de juin 2019, deux manifestations d'envergure nationale ont accéléré la mobilisation de la recherche, des acteurs des territoires et des politiques publiques sur ces questions cruciales. Après un état des lieux des avancées récentes de la communauté scientifique française et des manques de connaissance à combler, dressé lors des premières rencontres du groupement de recherche « Polymères et océans », les journées « Plastiques et environnement » ont proposé une série de tables rondes dédiées au partage d'expériences d'acteurs très variés, pour identifier des réponses opérationnelles et éclairer l'action publique. De la mise en regard de ces deux événements très complémentaires, il ressort la présente contribution qui se donne pour ambition de nourrir la réaction collective nécessaire de notre société face à la crise environnementale du plastique.

Sommaire

5 Introduction

.....

9 PARTIE 1

Comprendre la pollution plastique : flux continentaux et marins, devenir dans les écosystèmes et impacts sur la biodiversité

12 1 - Rappels utiles sur le plastique

18 2 - Suivre et quantifier les flux de plastique : dans les bassins versants

28 3 - Suivre et quantifier les flux de plastique : en mer

40 4 - Dégradation des plastiques

50 5 - Impacts sur la biodiversité

.....

59 PARTIE 2

La société face à la pollution plastique : du curatif au préventif

62 6 - Intercepter le flux polluant

72 7 - Réalité et limites du recyclage

80 8 - Les « bioplastiques » en question

86 9 - Prévention et sensibilisation

94 10 - Sortir de la société du déchet ?

.....

104 **Plastiques et environnement : quelques champs
de connaissances prioritaires à explorer**

107 **Conclusion**

110 **Bibliographie**

Introduction

Des bordures d'autoroutes à la fosse des Mariannes, des méandres de la Seine aux plages tropicales les plus isolées, la pollution par les matières plastiques est désormais presque partout à la surface du globe terrestre, sous la forme de macrodéchets défigurant les milieux naturels, ou sous celle d'innombrables fragments microscopiques issus de leur dégradation et présents de manière diffuse dans les eaux, dans les sols et même dans l'air. En seulement un siècle d'innovation industrielle, de production et de consommation exponentielles, les propriétés incomparables des matières plastiques (polyamides, polyesters, polychlorure du vinyle [PVC], polystyrènes, et des dizaines d'autres polymères, accompagnés d'additifs et de plastifiants) ont été mises au service d'applications toujours plus variées, transformant profondément les modes de vie humains... et libérant dans l'écosystème planétaire une énorme quantité de molécules synthétiques.

Cette pollution généralisée, désormais évidente aux yeux de tous, suscite depuis le tournant du millénaire une inquiétude croissante dans les sociétés civiles. À ce titre, l'année 2019, plus qu'aucune autre auparavant, aura été marquée par un déferlement de publications issues du monde académique

et largement relayées au grand public (Figure 1 page suivante) : la question du « continent de plastique », mentionnée depuis les années 90 mais longtemps restée au second plan, est aujourd'hui largement reprise par les médias généralistes et perçue comme l'une des grandes manifestations de la crise globale en cours (même s'il ne s'agit que de la partie visible du problème...), aux côtés du changement climatique ou de l'érosion de la biodiversité.

Ainsi la gestion de ce flux polluant et sa réduction à la source se sont-elles imposées comme des défis majeurs pour les politiques publiques, se traduisant depuis quelques années par des réglementations volontaristes. Au niveau européen, la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM), qui structure toute la politique communautaire pour la gestion des eaux côtières et marines, introduit notamment à travers son descripteur « déchets » un suivi systématique des déchets plastiques en mer, conditionnant l'atteinte des objectifs de « bon état » des milieux marins à l'élimination de cette pollution. En France, de l'État aux collectivités locales et aux mouvements de citoyens, se multiplient à toutes les échelles les programmes et les initiatives pour améliorer la collecte des plastiques, sensibiliser les consommateurs et interpeller les industriels.

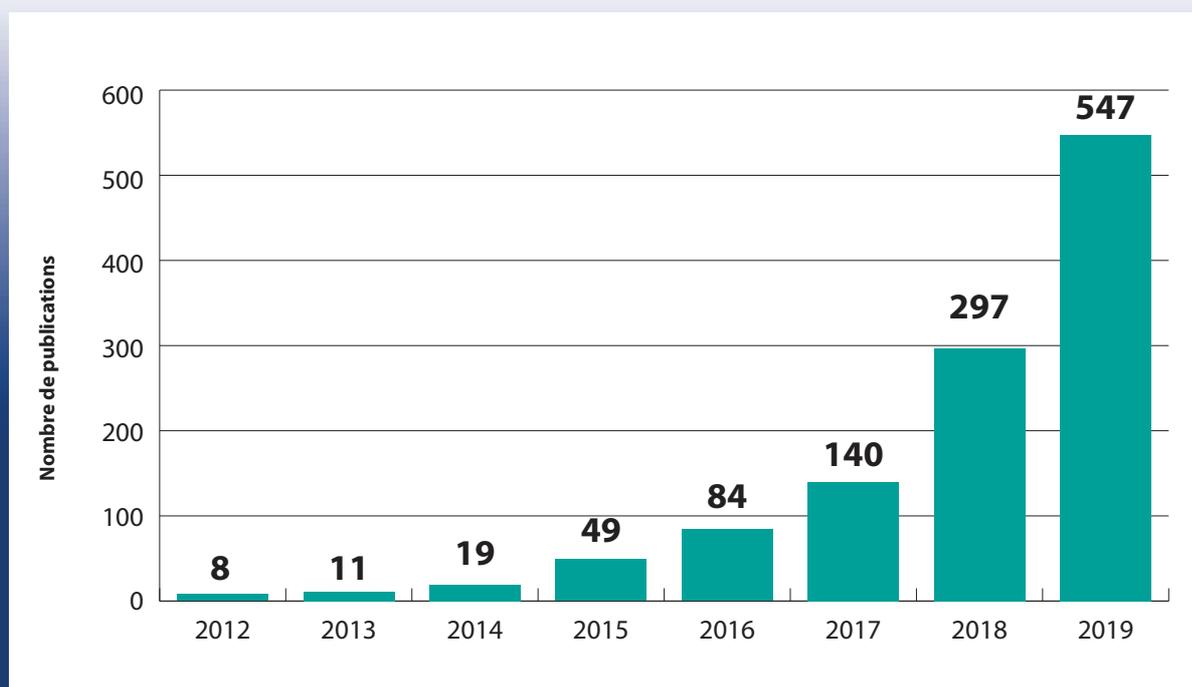
Cette mise en mouvement récente de la société se double d'interrogations pressantes à la communauté scientifique. Que deviennent les déchets plastiques, une fois relâchés dans l'environnement? Combien de temps y restent-ils, et sous quelles formes? Quelles sont leurs voies de dissémination et de dégradation, de nos bassins versants aux courants océaniques? Et quels sont leurs impacts sur la faune, la flore et la santé humaine? Pour la communauté scientifique, se saisir de ces questions complexes implique une mobilisation coordonnée, au croisement de multiples disciplines : de la chimie des polymères à l'écotoxicologie, de l'océanographie aux sciences humaines et sociales.

En France, cette volonté de décloisonnement a conduit à la création en janvier 2019 du groupe de recherches

(GDR) Polymères et océans, qui rassemble 215 chercheurs issus de 45 laboratoires et cinq instituts du CNRS, en partenariat avec l'Ifremer et l'Anses.

Du 24 au 26 juin 2019, le GDR organisait ses premières Rencontres nationales. Réunissant plus de 130 participants (chercheurs, experts, gestionnaires) à l'université de Paris Est-Créteil, ces trois journées ont dressé au fil d'une cinquantaine de communications plénières un panorama des recherches menées en France sur la problématique environnementale des matières plastiques : leur distribution dans l'environnement, leur dégradation dans les milieux aquatiques, leurs impacts écotoxicologiques de l'échelle de la cellule à celle des populations, pour finir par une ouverture sur les liens entre plastique et société, sous l'angle des sciences humaines.

Figure 1. Évolution depuis 2012 du nombre d'articles scientifiques comprenant « microplastics » dans leurs mots-clés (source : Scopus).



Dans la foulée de ces rencontres scientifiques, un second événement transposait le sujet sur le terrain du dialogue entre science et société. Les 27 et 28 juin 2019, à l'École des Ponts ParisTech, les journées « Plastiques et environnement » mettaient en débat les réponses techniques, politiques, sociétales à apporter à la pollution plastique, à travers cinq tables rondes thématiques réunissant près de 200 personnes : gestion dans les milieux continentaux ; gestion dans les rivières et milieux estuariens ; gestion dans les ports et milieux littoraux ; collecte et traitement des déchets ; prévention et sensibilisation. Croisant sur chaque thème les connaissances scientifiques, la situation réglementaire, les témoignages et retours d'expériences de divers acteurs de la gestion (collectivités locales, opérateurs de l'État, industriels...) ainsi que les aspirations et initiatives de la société civile, ces deux journées ont ouvert la réflexion nationale sur les voies d'action possibles pour enrayer la dissémination des matières plastiques dans l'environnement et réduire leurs impacts sur les écosystèmes.

Appuyées sur les connaissances livrées par le GDR Polymères et océans, nourries des éclairages et des débats tenus

lors des journées Plastiques et environnement, les pages qui suivent proposent une synthèse de cette semaine fondatrice : de l'état des lieux scientifique aux pistes pour l'action publique, vers une société plus consciente et moins polluante. ■



**Comprendre
la pollution
plastique :
flux continentaux
et marins,
devenir dans les
écosystèmes et
impacts sur la
biodiversité**

En 2018, plus de 350 millions de tonnes de matière plastique ont été produites dans le monde, et plus de 8 milliards de tonnes depuis 1950.

Une partie de cette colossale quantité, en croissance exponentielle, échappe aux systèmes de collecte et de gestion pour se retrouver dans les milieux naturels.

Cette charge polluante complexe se compose à la fois des macrodéchets et des fragments issus de leur dégradation progressive dans l'environnement ; elle génère *in fine* une pollution diffuse mêlant des microplastiques à longue durée de vie et de nombreuses substances chimiques associées (incorporées lors de la fabrication des plastiques ou adsorbées sur eux lors de leur séjour dans l'environnement), dont la présence est aujourd'hui généralisée dans les eaux douces ou marines.

Enjeu environnemental planétaire, la quantification de cette pollution et la compréhension de ses impacts sur les milieux naturels constituent de véritables défis à la communauté scientifique.

- **Quelles routes les déchets plastiques, d'origine majoritairement continentale, empruntent-ils dans les bassins versants ?**
- **Dans quelle mesure et dans quel état gagnent-ils les milieux océaniques ?**
- **Comment s'y répartissent-ils, dans quelles quantités ?**
- **Quels sont les mécanismes qui conduisent à leur dégradation et à leur fragmentation, et à quelle vitesse ?**
- **Que sait-on enfin des impacts, physiques et/ou toxiques, de cette pollution ubiquiste sur les organismes vivants, leurs populations et la biodiversité en général ?**

Cette première partie, essentiellement nourrie des travaux présentés lors des rencontres du GDR Polymères et océans, dresse en cinq chapitres un état des lieux des connaissances scientifiques sur ces sujets, de leurs lacunes et des interrogations qu'elles soulèvent.



© Laurent Colasse - SOS Mal de Seine, 2018

Photo 1. Cygne dans le Parc naturel régional du Vexin français – 2018.

1 CHAPITRE



© Pierre-François Staub - OFB

Le plastique a sonné à notre porte au milieu du XX^e siècle, en se présentant souvent sous forme de gadgets innocents. Aujourd'hui il s'est installé au cœur de notre mode de vie et s'en départir revient à remettre en cause toutes nos habitudes.

Rappels utiles sur le plastique

Depuis 1907 et la découverte par le chimiste Leo Baekeland des résines formo-phénoliques, commercialisées sous le nom de Bakélite, l'histoire des sociétés humaines au XX^e siècle est indissociable de la mise au point, puis de la production à grande échelle, d'une longue série de matières synthétiques issues de la pétrochimie, dont beaucoup sont aujourd'hui encore omniprésentes dans nos quotidiens : le polychlorure de vinyle (PVC) fabriqué industriellement depuis 1931 ; le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), plus connu sous le nom de Plexiglas, mis au point par Rohm & Haas en 1932 ; le polyéthylène (PE) puis le polypropylène (PP), parmi les plus largement utilisés aujourd'hui pour de très nombreuses applications de grande consommation.

L'année 1935 voit la mise au point par DuPont de Nemours des premiers polyamides (PA), ou nylons, ainsi que la première fabrication industrielle du polystyrène (PS) ; quelques années plus tard suivra la découverte du polythéréphtalate d'éthylène (PET), parfois appelé polyéthylène téréphtalate, toujours utilisé pour la fabrication des bouteilles de soda, ou encore les premières utilisations des mousses ou revêtements à base de polyuréthane (PUR)...



Plus récemment la famille s'est encore élargie, avec notamment le développement industriel de plastiques dits « biosourcés », c'est-à-dire utilisant des polymères issus non pas de sources fossiles (pétrole, gaz, charbon) mais, au moins en partie, de ressources renouvelables comme l'amidon de maïs, la canne à sucre ou l'huile de ricin : c'est le cas par exemple du bio-PE, du bio-PET, de certains polyamides ou encore des polyhydroalcanoates (PHA),

produits naturellement par fermentation bactérienne de sucres ou de lipides, qui se distinguent en outre par leurs propriétés de biodégradabilité (voir chapitre 8). Le tableau ci-dessous présente les principaux types de polymères utilisés pour la fabrication des matières plastiques, les sigles servant à les désigner (notamment dans cet ouvrage), et quelques exemples d'applications courantes.

Tableau 1. Principaux types de polymères utilisés pour la fabrication des matières plastiques

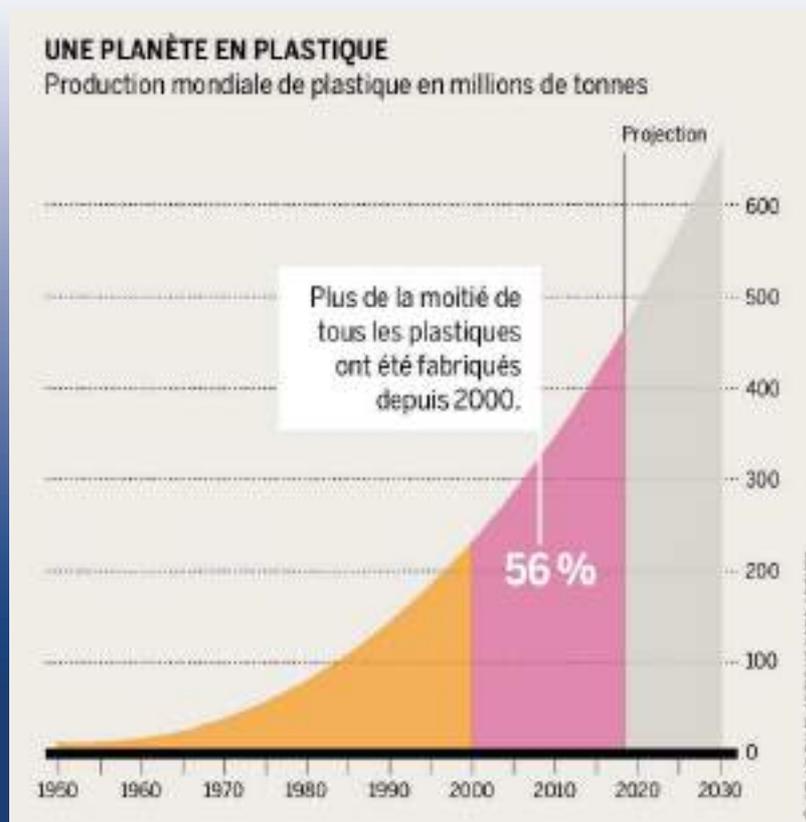
Principaux polymères utilisés pour la fabrication de plastiques	Abréviation	Exemples d'utilisation
Polyéthylène haute densité	PE-HD	Flacons, bouteilles, boîtes rigides...
Polyéthylène basse densité	PE-BD	Sacs, films, sachets, récipients souples...
Polypropylène	PP	Pièces moulées pour l'automobile, emballage alimentaire, gaines de fils électriques...
Polystyrène	PS	Emballage, isolation
Polythéréphtalate d'éthylène	PET	Bouteilles de soda ou d'eau minérale, textiles
Polyamide	PA	Nylons, filets de pêche, flexibles industriels, textiles
Polyuréthane	PUR	Mousses d'isolation
Polyhydroalcanoates	PHA	Applications émergentes
Acide polylactique	PLA	Sacs plastiques « biodégradables »
Polycaprolactone	PCL	Biomédical
Polychlorure de vinyle	PVC	Tuyaux

La liste est donc longue de ces matières plastiques, que leurs extraordinaires propriétés de mise en forme, de dureté ou de souplesse, d'aspect ou de légèreté, souvent associées à des coûts de fabrication limités, ont rendu omniprésentes dans notre vie quotidienne. Celles-ci peuvent être composées d'un ou de plusieurs polymères ; elles peuvent également être présentes dans de nombreux matériaux composites (associant une matrice polymère et une ossature de fibres de verre ou de carbone...). Leur production mondiale, tous types de plastiques confondus, s'est véritablement envolée au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, la moitié des plastiques produits à ce

jour l'ayant été au XXI^e siècle, comme l'a récemment illustré l'Atlas du plastique. Cela a par exemple représenté une croissance d'un facteur 20 entre 1964 et 2014 (Figure 2), pour atteindre 348 millions de tonnes en 2017, d'après les chiffres fournis par l'association professionnelle PlasticsEurope, ne tenant en outre pas compte des plastiques (PET ou PA) utilisés dans l'industrie textile.

En volume, cette production mondiale est dominée par les marchés de l'emballage (avec une consommation massive de PE, de PP et de PET), du bâtiment et de la construction (PVC, PS expansé, PE, PP, PUR), de l'automobile (PP, PUR), suivis de l'électronique, de l'agriculture,

Figure 2. Évolution de la production mondiale de plastiques (source : Atlas du plastique. Éditeurs Heinrich-Böll-Stiftung, La Fabrique Écologique et Break Free From Plastic, Mars 2020).

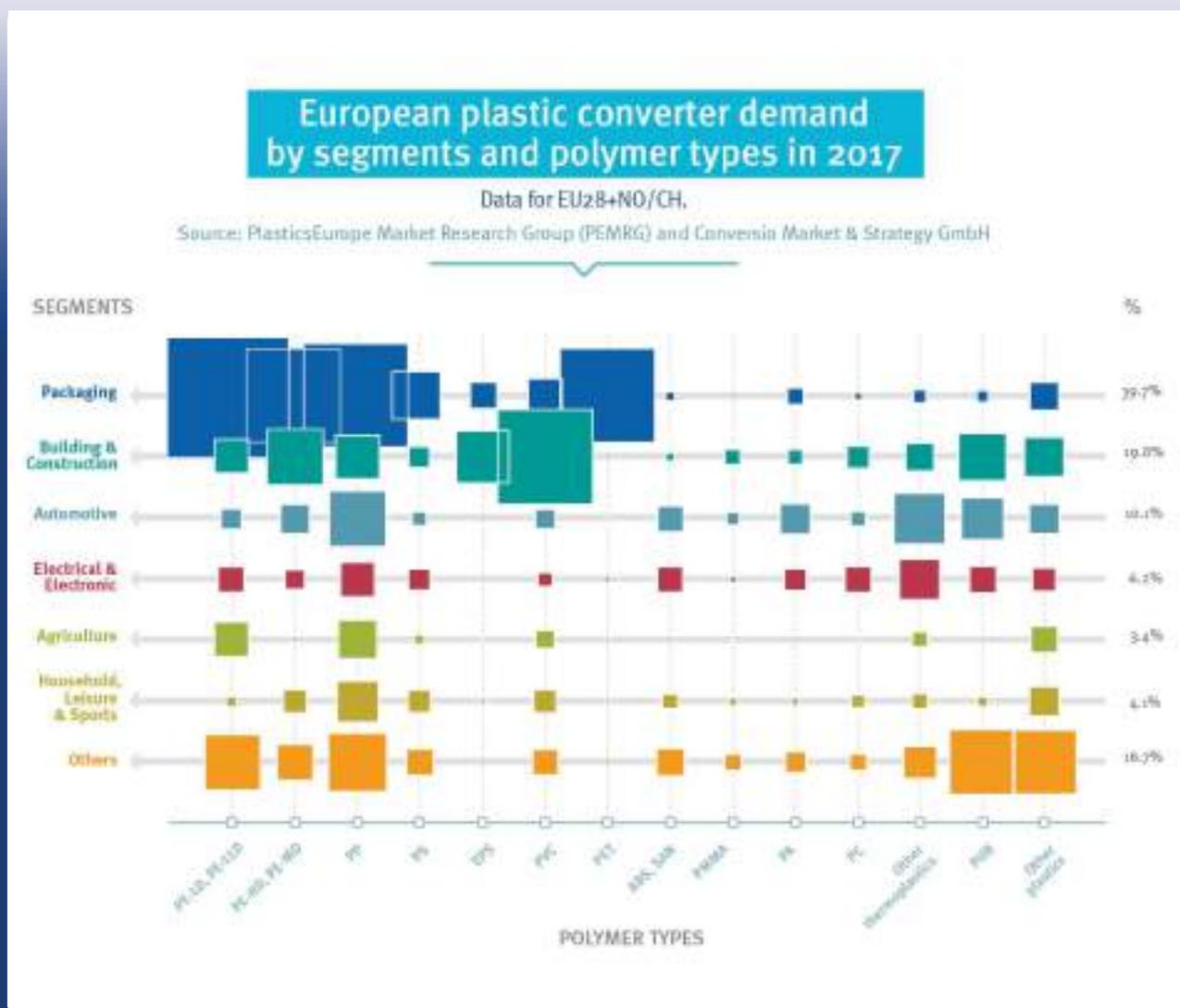


ou encore des sports et loisirs. Les données 2018 de l'association européenne des industriels du plastique illustrent la répartition de la demande industrielle en matières plastiques à l'échelle européenne, par grands types de polymères et par marchés (Figure 3).

La typologie esquissée ici ne rend bien sûr pas compte de la très grande diversité des formulations existantes sur le marché des matières plastiques. Outre les macromolécules du **polymère**

qui constituent sa matrice, un plastique est également constitué de **charges** (minérales, organiques, métalliques...) qui permettent de jouer sur ses performances, sa densité et son coût ; de **plastifiants** (phtalates, adipates...) modifiant sa flexibilité ou sa facilité de mise en œuvre ; et enfin d'**additifs** présents en faibles quantités, qui confèrent au matériau des propriétés spécifiques (colorant, ignifugeant, antioxydant, bactéricide...).

Figure 3. Demande industrielle en Europe en 2018 par types de plastiques et par marchés (source : Plastics Europe Market Research Group (PEMRG) et Conversio Market & Strategy GmbH).



Cette **complexité chimique** des matières plastiques s'est considérablement accrue au cours des cinquante dernières années, en lien avec la diversification des formulations pour répondre à des applications toujours plus nombreuses. Composante majeure de la pollution des milieux naturels par les plastiques, **elle est susceptible d'affecter significativement les mécanismes et les cinétiques de dégradation des plastiques**

dans l'environnement (voir chapitre 4), sous l'action desquels un macrodéchet se désagrège progressivement en micro-déchets, puis en nano-déchets. De même elle complique significativement les travaux scientifiques qui cherchent à caractériser les impacts écotoxicologiques de la pollution plastique (voir chapitre 5), ainsi que les efforts déployés pour le recyclage des matières plastiques (voir chapitre 7). ■

Ce qu'il faut retenir

- **La grande famille des plastiques comprend des centaines de matériaux différents, qui se répartissent pour l'essentiel en une dizaine de grands types de polymères.**
- **La production mondiale de plastique a été multipliée par plus de 20 depuis les années 60 ; elle atteignait 348 millions de tonnes annuelles en 2017 (hors industrie textile).**
- **En volume, les plastiques les plus largement produits appartiennent aux groupes des PE, des PP, des PET et des PVC ; les marchés les plus consommateurs sont l'emballage, le bâtiment et l'automobile.**
- **Les formulations des matières plastiques comprennent en général, outre leur matrice polymère, des charges, des plastifiants et des additifs.**
- **Cette complexité chimique, croissante, est susceptible d'affecter la dégradation des plastiques dans l'environnement, et d'aggraver leurs impacts écotoxicologiques.**

2

CHAPITRE



© Laurent Colasse - SOS Mal de Seine.

Réserve naturelle nationale de l'estuaire de la Seine – 2012.

Suivre et quantifier les flux de plastique : dans les bassins versants



Alors que les volumes de plastiques produits et commercialisés chaque année sont connus assez précisément, grâce aux données publiées par les industriels, il n'en est pas de même pour les quantités de plastiques relâchées dans l'environnement.

S'il est souvent mentionné que 80 % de la pollution plastique du milieu marin est d'origine continentale (sans que cette estimation soit scientifiquement établie), les sources potentielles de cette pollution sont multiples et échappent, pour l'essentiel, à toute traçabilité : rejets ou pertes industriels ; fonctionnements inégaux des services de ramassage et de gestion des ordures ; transferts aux cours d'eau via les réseaux urbains de collecte des eaux pluviales ou les stations d'épuration ; décharges sauvages ou « mauvais gestes » individuels ; relargage de petites particules dû à l'usure d'objets en plastique...

L'importance relative de ces différentes sources est également très variable selon les zones géographiques (milieu urbain, agricole, portuaire...) et dépendante de l'efficacité de la gestion des déchets, qui peut être très différente d'un pays à l'autre.

L'évaluation à grande échelle des impacts écologiques de cette pollution demande de connaître la distribution spatiale des plastiques dans l'environnement, sous leurs différentes formes : les approches scientifiques distinguent les **macrodéchets** (objets entiers ou « morceaux » de plastique de taille macroscopique) et les **microplastiques**, **terme qui désigne (notamment dans le présent ouvrage) les particules de plastique d'une taille inférieure à 5 mm**. Ces microplastiques peuvent être issus de la dégradation des macrodéchets (voir chapitre 4), ou relever d'une pollution primaire : fibres textiles, microbilles présentes dans certains cosmétiques ou « fuites » des industries plastiques.

Pour la communauté scientifique engagée dans la caractérisation de la distribution spatiale de la pollution plastique, un premier défi de taille consiste ainsi à **quantifier les volumes relâchés** dans les milieux naturels continentaux – souvent désignés dans la littérature par l'expression « quantité de plastiques mal gérés ». À partir de cette estimation, un second défi consiste à préciser le devenir environnemental de ces matières, et en particulier **leur transfert au sein des bassins versants** continentaux, pour estimer la charge polluante présente dans les sols ou les cours d'eau, et celle qui gagne *in fine* chaque année le milieu estuarien, puis marin.

Bordures de route, dépôts sauvages, réseaux d'eaux pluviales : quelques éléments issus du terrain

Plusieurs interventions lors des journées « Plastiques et environnement » ont livré des éléments concrets pour progresser dans la compréhension des sources continentales de plastiques, et donc l'estimation des quantités de plastiques « mal gérés ». L'une de ces sources continentales se situe en bordure des routes et autoroutes : s'agissant de la quantité de déchets abandonnés l'éclairage de Christophe Tejedo (Direction interdépartementale des routes – Est) aura apporté une estimation à **500 kilogrammes par kilomètre et par an** en grande majorité plastiques, collectée par

les gestionnaires de réseaux routiers en France. Ces déchets proviennent d'accidents, de pertes (envols, mauvais arrimages) ou d'abandons volontaires, avec un fort impact constaté de la restauration rapide. La collecte de ces déchets, constitués pour beaucoup de plastiques fins qui se désagrègent, est difficile et dangereuse pour les opérateurs de terrain. Elle représente un coût élevé pour la collectivité, tant aux plans social et financier que du point de vue environnemental, les déchets n'étant ni triés ni recyclés. Autre source continentale majeure, le phénomène **des déchets sauvages** a

fait l'objet en décembre 2018 d'une enquête nationale (Ademe-Ecogeos), auprès des collectivités territoriales (questionnaires et entretiens semi-directifs). Il en ressort que ces pratiques anciennes semblent s'accroître depuis quelques années, malgré une mobilisation citoyenne croissante qui contribue à les mettre en lumière. Elles s'observent à toutes les échelles, à la ville comme à la campagne, proviennent principalement d'habitants du territoire et de professionnels, et recouvrent une multitude de flux de déchets et de types de dépôts : décharges illégales concentrées, dépôts diffus (jonchement) ou dépôts contraires au règlement de collecte. Elles demeurent cependant difficilement quantifiables : 87 % des collectivités interrogées ne disposent pas de données précises.

Une partie de ces déchets plastiques « terrestres », échappant à tout ramassage ou collecte, va demeurer dans le milieu naturel : elle peut rester sur place, entraînant une pollution du sol et des écosystèmes terrestres, ou rejoindre plus ou moins rapidement, sous une forme plus ou moins dégradée, les cours d'eau. D'autres déchets sont quant à eux rejetés directement dans les milieux aquatiques. C'est le cas des macrodéchets rejetés par les systèmes d'assainissement des eaux usées qui peuvent provenir des **eaux usées domestiques** (cotons-tiges, lingettes ou serviettes hygiéniques jetés

dans les toilettes par exemple) et des eaux de ruissellement urbain (mégots ou emballages jetés sur le trottoir par exemple). À moins qu'ils ne colmatent les canalisations, ces déchets sont alors acheminés vers les stations de traitement des eaux usées (STEU) par les réseaux de collecte. Ils sont aussi susceptibles d'être rejetés directement dans le milieu récepteur par « surverse » au niveau de déversoirs d'orage puisque ceux-ci disposent rarement de dispositifs de prétraitement. Ceci se produit essentiellement par temps de pluie et au niveau des systèmes d'assainissement qui comportent un réseau de collecte unitaire.

Dans le cas des réseaux de collecte des eaux pluviales strictes, les déchets transportés par les **eaux de ruissellement urbain** peuvent atteindre des ouvrages d'infiltration (bassins, noues) et/ou rejoindre le milieu aquatique, car les exutoires sont rarement munis de dispositifs de traitement, ni même de prétraitement.

Une étude du Cerema (F. Rognard*) s'est attelée à quantifier le flux rejeté par les systèmes d'assainissement des eaux usées (les eaux usées domestiques, plus les eaux pluviales dans le cas des réseaux unitaires) à partir des données disponibles à ce jour (bilans d'auto-surveillance des systèmes d'assainissement, rapports annuels sur l'assainissement, données de la littérature)

* : ce symbole signale les contributions scientifiques présentées lors des premières journées du GdR Polymères et océans. Les résumés des présentations et les références bibliographiques associées sont disponibles sur le site de la conférence : <https://po2019.sciencesconf.org/>.

pour deux territoires en particulier : le bassin hydrographique Artois-Picardie et le système d'assainissement de la zone d'intervention du SIAAP (région parisienne). Les résultats obtenus pour le bassin Artois-Picardie ont ensuite été extrapolés au niveau de la France métropolitaine, hors zone d'intervention du SIAAP. Selon ces travaux, le flux global de macrodéchets anthropiques (≥ 5 mm) rejeté dans les milieux aquatiques par les systèmes d'assainissement au niveau de la France métropolitaine se situe entre 2 000 et 9 000 tonnes de matières sèches par an.

Ceci correspondrait à un flux par habitant, ou « taux de fuite par habitant »,

compris entre 40 et 108 grammes de matières sèches par habitant et par an. Ces déchets sont constitués en grande majorité (86 % en moyenne) par les textiles sanitaires – qui pourraient contenir des quantités non négligeables de plastique. Les autres déchets plastiques représentent en moyenne 3 % du total. Par ailleurs, des microplastiques sont également susceptibles de rejoindre le cours d'eau lors des déversements sans prétraitement au même titre que les macrodéchets et à la sortie des STEU, et dans ce cas, leur quantité dépend des performances des différentes technologies de traitement des eaux usées, lesquelles ne sont pas conçues pour éliminer ce type de polluant (voir chapitre 6).

Déchets plastiques dans les cours d'eau : un chemin tortueux jusqu'à l'estuaire

Une fois qu'ils ont atteint les cours d'eau, de quelle façon et à quelle vitesse les macrodéchets plastiques transitent-ils vers l'aval du bassin versant ? Dans quelle proportion, et au bout de combien de temps, franchissent-ils l'estuaire pour gagner le milieu marin ? Alors que les approches en modélisation évoquées plus loin dans ce chapitre font en première approximation l'hypothèse d'un transfert total et linéaire du flux de déchets plastiques fluvial vers la mer, un travail de recherche dans le cas de la Seine (R. Tramoy, LEESU*) montre que cette dynamique de transfert

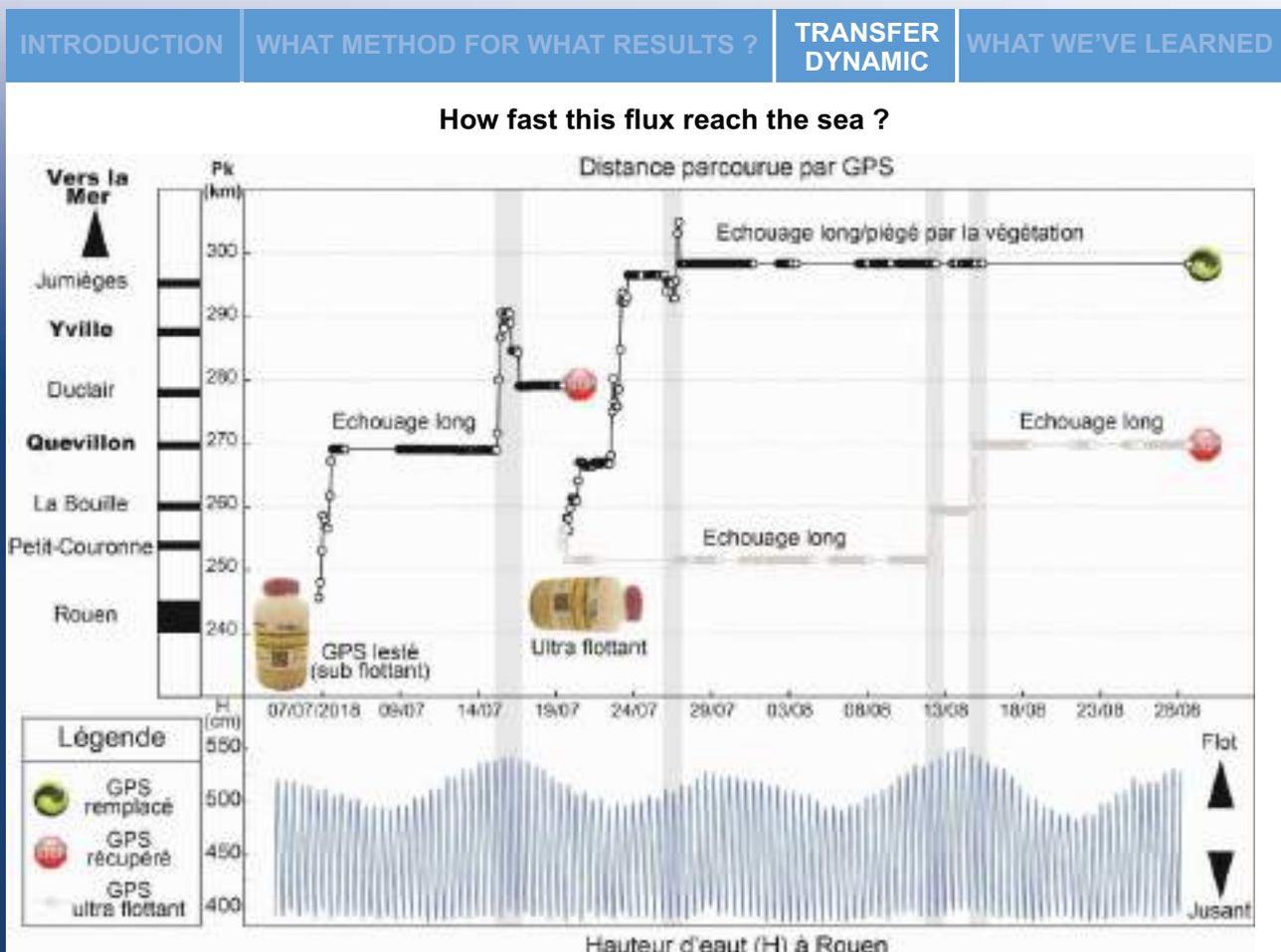
est en réalité bien plus complexe. Dans le cadre du projet MacroPlast, le Laboratoire eau environnement et systèmes urbains (LEESU) a réalisé plusieurs « lâchers » de déchets marqués dans la Seine au niveau de Rouen, et s'est appuyé sur le travail de l'entreprise d'insertion Naturelin, dont l'équipe collecte en routine les déchets sur 10 à 20 % du linéaire aval du fleuve. Au total, 365 objets flottants ou sub-flottants, prélevés dans le milieu puis peints en jaune fluorescent, ont ainsi été rejetés à l'eau, en mars 2018 (conditions de hautes eaux), puis en

juillet, août et septembre 2018 (basses eaux). Dans les mois suivants, 28,1 % de ces déchets marqués avaient été récupérés le long des berges par Naturaulin. Ce pourcentage, rapporté à la quantité annuelle collectée par l'entreprise (16 tonnes en 2018) et à la proportion de déchets qu'elle ne collecte pas (car trop petits), donne une indication du flux total de déchets plastiques flottants transitant dans le fleuve, et donc susceptibles de rejoindre un jour la Manche. Ce flux serait de l'ordre de 100 à 200 tonnes par an, à

comparer aux estimations statistiques du taux de plastiques « mal gérés » à l'échelle du bassin versant (entre 2 200 et 5 900 tonnes annuelles), ou aux estimations par comptage visuel (moins de 50 tonnes annuelles).

Par ailleurs, le projet a utilisé des bouteilles plastiques flottantes ou sub-flottantes (lestées) équipées de balises GPS pour suivre dans le temps leurs déplacements (Figure 4). Cette expérience a livré des résultats éclairants : 100 % d'entre elles se sont échouées sur les

Figure 4. Déplacements de bouteilles plastiques suivies par GPS dans la Seine aval, entre Rouen et la mer. En noir : balises lestées. En gris : balises non lestées. La différence de comportement (échouages plus nombreux et déplacements plus courts pour les balises non lestées) traduit l'influence prépondérante des vents (source : R. Tramoy, LEESU).



berges, certaines à plusieurs reprises, et parfois pour des durées prolongées, avant d'être remobilisées sous l'effet des hausses de débit ou du flot dans la zone soumise à marée.

Au terme de l'expérience (plus d'une année), aucune bouteille n'avait atteint la mer.

L'interprétation de ces résultats est indissociable du contexte du cours aval de la Seine : régime hydrologique, dynamique des marées et des vents, géomorphologie particulière (grandes boucles), trafic fluvial intense. Le constat de temps de séjour très importants des déchets plastiques dans certaines zones d'accumulation (attestés en Seine

par la présence de déchets vieux de plusieurs décennies) peut cependant être étendu à d'autres fleuves, à des degrés divers selon les configurations : l'estuaire agit alors comme un « réacteur » entre le flux de déchets continentaux et le milieu marin, où les macroplastiques sont susceptibles de se fragmenter avant d'être transférés massivement à la mer à l'occasion des crues. Les auteurs suggèrent donc que la collecte manuelle des déchets sur les berges de l'estuaire permet déjà de minorer considérablement la charge polluante transmise au milieu marin, sans toutefois résoudre le problème du flux résiduel de macroplastiques plus fins.

Limites actuelles des modélisations fluviales

Les résultats de terrain présentés ci-dessus, indications utiles pour la gestion, constituent également des données d'entrée précieuses pour les travaux de modélisation cherchant à estimer l'apport fluvial de matières plastiques au milieu marin. Les approches actuelles dans ce domaine restent en effet entachées de fortes incertitudes, mises en évidence lors des rencontres du GDR. À partir de corrélations entre quantités de plastiques « mal gérées » et flux massiques (Jambeck et al. 2015), le modèle de Lebreton et al. (2017), basé sur sept études et 30 campagnes d'échantillonnages dans 13 fleuves mondiaux, a estimé entre 1,15 et 2,41 millions de tonnes an-

nuelles l'apport de plastiques (macro et micro déchets) au milieu marin, les fleuves asiatiques représentant 70 % de ces apports. L'année suivante, le modèle de Schmidt et al. (2018), basé sur 12 études totalisant 240 échantillonnages dans 57 fleuves mondiaux, aboutit à une estimation de 0,47 à 2,75 millions de tonnes annuelles pour les seuls microplastiques. L'une des contributions du GDR (Lisa Weiss*) a appliqué ces deux modèles sur le pourtour de la Méditerranée (Figure 5), aboutissant à **des résultats très différents** : respectivement 15 300 tonnes/an (macro et microplastiques, Lebreton et al., 2017) et 231 723 tonnes/an (microplastiques seuls, Schmidt et al., 2018) !

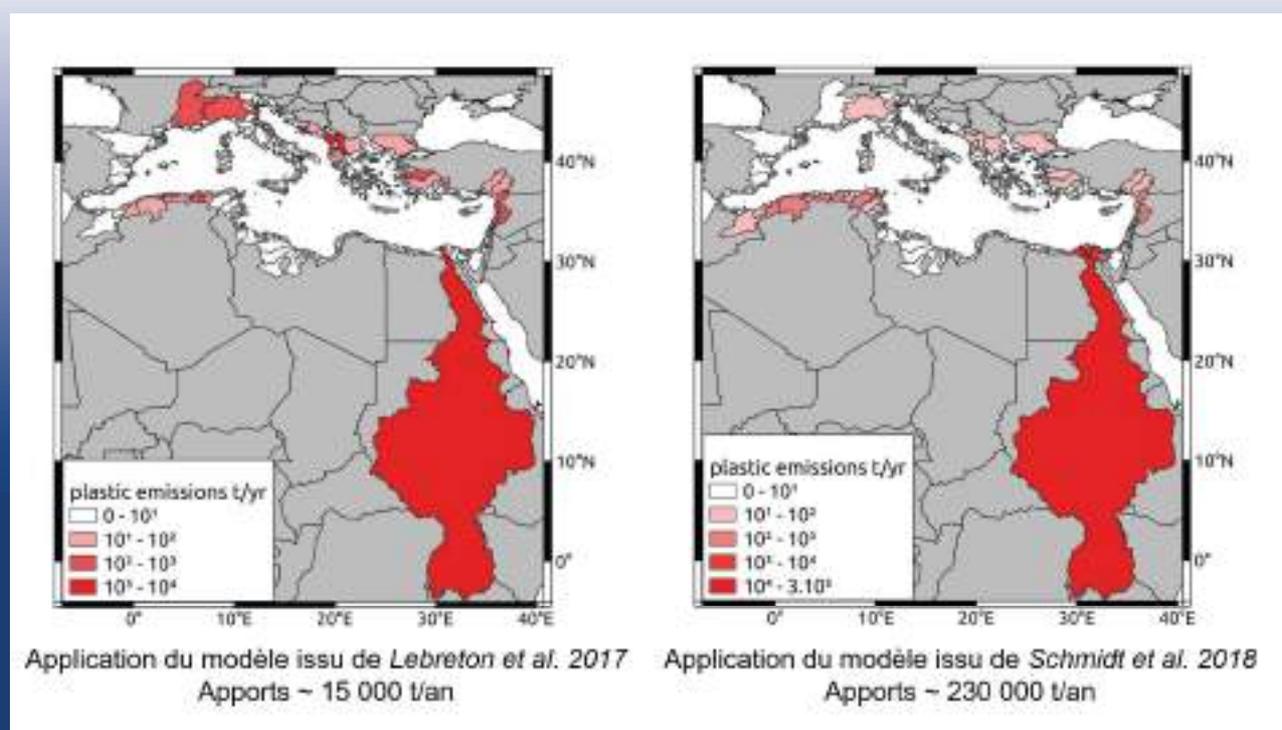
Cet écart illustre les difficultés actuelles des approches en modélisation pour l'estimation des transferts fluviaux de plastique à partir de modèles globaux, qui ne prennent pas en compte les particularités de chaque zone géographique (notamment la nature des déchets plastiques émis).

Une perspective d'amélioration consiste donc à développer des approches régionalisées : c'est ce qu'a entrepris l'équipe citée ci-dessus (Lisa Weiss*), proposant un nouveau modèle spatialisé qui corrèle les flux de microplastiques aux flux de sédiments fluviaux et aux quantités de plastiques mal gérés. Appliquée à la Méditerranée, cette approche donne cette fois un apport annuel de 2 200 tonnes, suggérant que les estimations publiées par

Lebreton *et al.*, 2017 et Schmidt *et al.*, 2018 pourraient être fortement surestimées.

De manière générale, la calibration des modèles avec des concentrations mesurées dans un plus grand nombre de fleuves en tenant compte des méthodes d'échantillonnage pourrait améliorer leur robustesse. Un défi majeur pour ces approches en modélisation, mis en débat lors des rencontres du GDR, réside dans la nature duale de la pollution plastique qui transite par les fleuves : entre les macrodéchets flottants et les fragments microscopiques, en suspension dans le courant ou concentrés dans les sédiments, ce sont deux comportements physiques très différents qu'il faut appréhender en parallèle.

Figure 5. Application de modèles de la littérature pour estimer les apports de plastiques à la Méditerranée par les bassins versants fluviaux. (source : L. Weiss, centre de formation et de recherche sur les environnements méditerranéens).



Intérêt et difficultés d'un indicateur « macroplastiques » en cours d'eau

Les 20 dernières années ont vu le développement et la mise en œuvre systématique, notamment sous l'impulsion de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE), d'un ensemble d'indices et de protocoles permettant de mesurer l'état de santé des cours d'eau au regard de différentes pressions : protocoles standardisés mesurant le niveau de perturbation hydro-morphologique des cours d'eau (Carhyce) ou le degré d'altération des berges (Alber), stratégies d'échantillonnage en routine de la présence de polluants chimiques dans l'eau, les sédiments ou les tissus d'organismes aquatiques... En revanche, aucune méthode standardisée n'existe à ce jour pour quantifier l'exposition des cours d'eau à la pollution plastique. De manière consensuelle, un tel outil permettrait d'instaurer une surveillance harmonisée de la pollution plastique dans les rivières, d'identifier les linéaires les plus impactés et de caractériser spatialement la typologie des déchets et donc d'orienter les mesures de gestion et de suivre leur efficacité. Mais qu'en est-il de sa faisabilité ? Lors des rencontres du GDR, un retour d'expérience (A. Bruge, Surfrider Foundation Europe*) a ouvert la réflexion sur cette question.

Une première approche, menée entre 2014 et 2017 dans le bassin de l'Adour, s'est basée sur un échantillonnage mensuel des échouages en différents points

des berges, et une caractérisation des déchets selon un protocole formalisé. Cette initiative s'est heurtée à une série de difficultés méthodologiques : alors que la végétation rivulaire joue un rôle clé dans les échouages, celle-ci évolue rapidement au fil du temps, d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre, compromettant la représentativité des résultats. De même, l'hydromorphologie et la pente de la berge conditionnent largement les échouages de déchets flottants : un biais majeur dans les données collectées est donc introduit dès le choix des zones d'échantillonnage.

Face à ce constat, une autre approche a été proposée et testée. Elle consiste à descendre la rivière en kayak, et à dénombrer tous les déchets échoués visibles sur chaque berge, par type, au moyen d'une application dédiée de géolocalisation. Les résultats, exprimés en nombre de déchets par kilomètre de linéaire, permettent de générer des cartographies de classes d'état à l'échelle d'un cours d'eau ou d'un bassin versant.

La méthode a été mise en discussion lors des rencontres du GDR. Si elle livre une première approximation du niveau de pollution des cours d'eau par les macroplastiques, elle nécessiterait pour être réellement opérationnelle de disposer d'une relation robuste entre

les échouages et le flux de matières plastiques. Elle est également entachée d'un biais dû à l'observateur, estimé à 25 % d'erreur lors des campagnes menées sur l'Adour (l'équipe travaille en réponse sur un algorithme d'intelligence artificielle, qui permettrait de

détecter les déchets avec une marge d'erreur constante). Enfin, elle ne permet pas en l'état de comptabiliser les déchets présents dans le lit majeur, et susceptibles d'être remobilisés en cas de crue. ■

Ce qu'il faut retenir

- **Les sources continentales de la pollution plastique sont multiples et difficilement quantifiables (rejets industriels, décharges sauvages, « mauvais gestes » individuels, dysfonctionnement des systèmes de ramassage...), de même que ses voies de transfert au sein des bassins versants (ruissellement naturel ou via les réseaux de collecte urbains, rejet par surverse des stations de traitement des eaux usées...)**
- **Les modélisations actuelles pour estimer les flux de plastiques transmis au milieu marin via les fleuves présentent d'importantes marges d'erreur en raison des incertitudes qui pèsent sur les données d'entrée (quantité de plastiques « mal gérée ») et des hypothèses faites sur leur transfert dans les cours d'eau.**
- **Des études dédiées ont montré, dans le cas de la Seine, que le chemin des macrodéchets plastiques vers la mer est loin d'être linéaire. Il est souvent marqué par des échouages prolongés, en particulier dans l'estuaire qui se comporte comme une zone d'accumulation et de dégradation des déchets.**
- **Les premières approches pour proposer un indice de pollution plastique en cours d'eau se heurtent pour l'heure à d'importantes difficultés méthodologiques.**

3

CHAPITRE



© Fanny Cautain - OFB.

Les agents du Parc classent et comptent les déchets prélevés en mer lors de l'opération de lancement du suivi macro-déchets. Parc naturel marin de Mayotte, Dzaoudzi, 2016.

Suivre et quantifier les flux de plastiques : en mer



Au terme de leur cheminement au sein des bassins versants, une part importante des déchets plastiques continentaux finit par rejoindre l'aval des fleuves, puis, après un séjour parfois prolongé dans les estuaires, le milieu marin. Sous une forme plus ou moins dégradée et fragmentée, selon le type de plastique, la durée de leur parcours et les conditions environnementales, ils s'y ajoutent à la pollution plastique directement émise sur le littoral ou en mer (déchets des bateaux ou de l'activité de pêche, et déchets d'origines lointaines transportés par les courants marins), ainsi qu'à celle apportée par voie atmosphérique. Leur durée de vie longue et leur densité généralement faible favorisent **leur transport sur de longues distances** par les courants océaniques depuis les sources.

Cette pollution marine, objet d'étude central du GDR « Polymères et océans », a déclenché au cours des dernières années une prise de conscience à la mesure de son ampleur. Les macrodéchets formant au large des amas flottants ou échoués sur les plages, même très éloignées des activités humaines, n'en sont que la partie la plus visible.

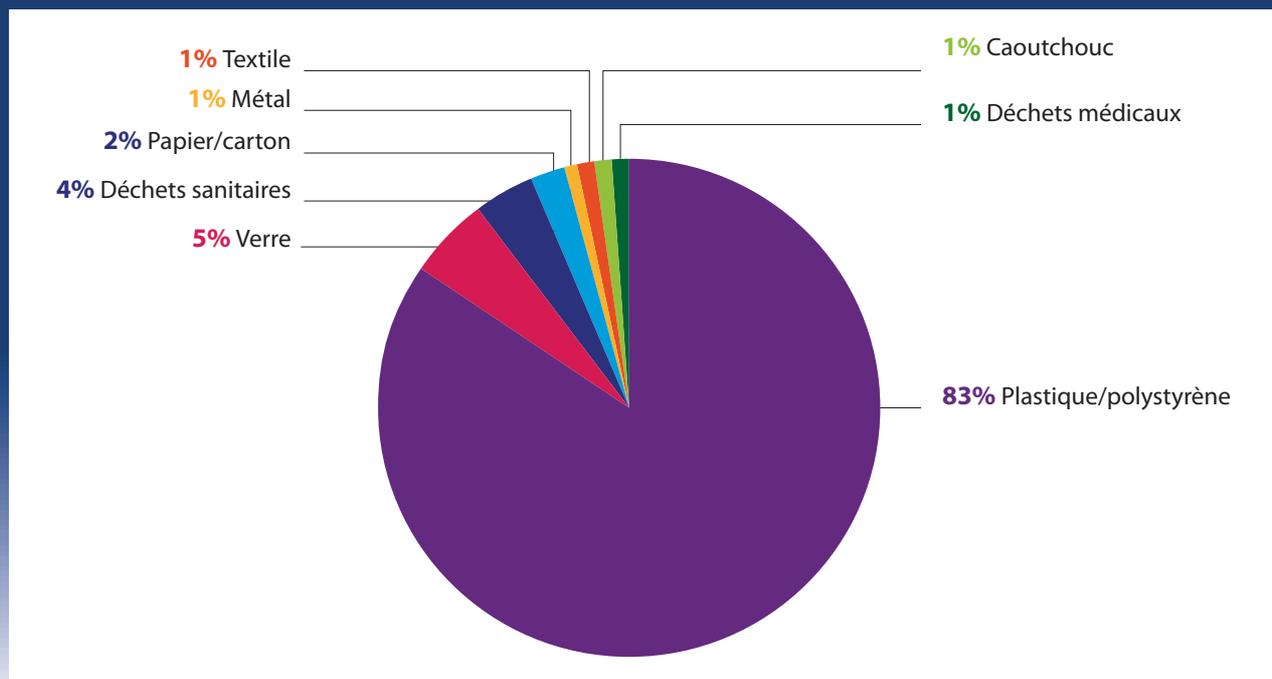


Figure 6. Typologie des macrodéchets retrouvés sur les sites du réseau de surveillance OSPAR/DCSMM du littoral français (données OSPAR/DCSMM 2017).

Les micro-déchets (du millimètre au nanomètre), souvent issus de leur dégradation, innombrables particules en suspension dans la colonne d'eau, se retrouvent à des concentrations variables dans toutes les eaux marines du globe.

Cette charge polluante généralisée, aujourd'hui reconnue par les opinions publiques comme une menace majeure pour les écosystèmes marins et leur biodiversité, fait l'objet d'une mobilisation croissante des pouvoirs publics.

À l'échelle européenne, elle est notamment prise en compte à travers la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM), qui structure depuis 2007 la politique communautaire pour la reconquête d'un « bon état » du milieu marin. Les déchets, dont le plastique consti-

tue la plus grande part, sont l'un de ses onze grands « descripteurs », suivis en routine par les États membres : ce dispositif volontariste introduit une **surveillance standardisée des quantités de macrodéchets et de microplastiques présentes dans chaque masse d'eau marine européenne**, assortie de rapportages réguliers.

En France, le réseau de surveillance OSPAR/DCSMM est opérationnel depuis 2010. Impliquant un réseau d'acteurs locaux, il s'étend progressivement : en 2020 il comprend 10 sites pour chacune des quatre sous-régions marines DCSMM (qui couvrent tout le littoral métropolitain). Le deuxième cycle DCSMM prévoit également d'y intégrer 16 sites en amont des estuaires, ainsi que de le compléter par un réseau national de surveillance des microplas-

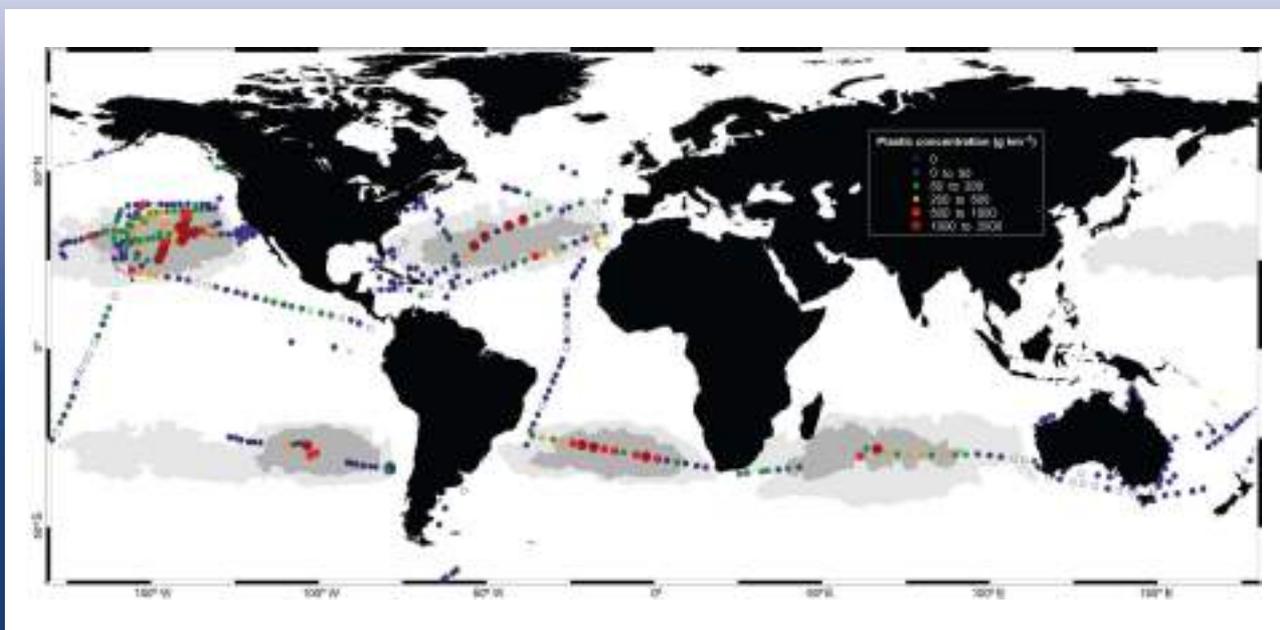
tiques sur le littoral : le protocole est en phase de test sur les sites des Parcs naturels marins de la mer d'Iroise et du golfe du Lion.

En attendant, les résultats de l'évaluation DCSMM 2018, présentés lors des journées « Plastiques et environnement » (Arnaud Huvet, Ifremer, Camille Lacroix, Cedre), donnent des éléments quantifiés sur les macrodéchets retrouvés sur les sites français du réseau de surveillance. Les plastiques en constituent de loin la part la plus importante (Figure 6), avec une majorité de fragments et de plastiques à usage unique. La moyenne nationale se situe à 446 déchets pour 100 m de littoral, mais de grandes disparités spatiales sont observées : l'île de Sein est le site le moins pollué, avec « seulement » 45 déchets/100 m, tandis que la plage

des Boucaniers à Wimereux (62) affiche la concentration la plus élevée, avec 5 206 déchets/100 m (à noter que des concentrations supérieures ont été relevées ultérieurement sur d'autres sites qui n'étaient pas encore suivis pour l'évaluation 2018, notamment dans les Landes et en Méditerranée).

En parallèle de cette action réglementaire, des initiatives scientifiques sont également menées pour quantifier *in situ* la présence des plastiques en mer, à l'image de l'expédition internationale Malaspina, qui a mesuré les concentrations en plastiques dans des milliers d'échantillons d'eau issue de trois océans (Figure 7) : celles-ci ne dépassent pas quelques grammes par kilomètre carré dans certaines zones, tandis que dans d'autres (notamment dans les gyres océaniques subtropi-

Figure 7. Concentrations en plastiques relevées lors de l'expédition Malaspina (2010-2011). Figure reprise de Andrés Cózar et al., *Plastic debris in the open ocean Proceedings of the National Academy of Sciences* • Juin 2014.



cales, voir ci-après) elles peuvent atteindre les 2 000 grammes par kilomètre carré.

Pour autant, les connaissances sur la **distribution de la pollution plastique en mer demeurent très parcellaires**. Les observations et les échantillonnages réalisés en de nombreux points du globe attestent de son caractère **très hétérogène dans l'espace et dans le temps** : alors que certaines rives ou certaines zones océaniques concentrent des quantités très importantes de macro- et/ou de microplastiques, d'autres en sont pratiquement exemptes – souvent sans qu'il y ait de lien direct avec les sources continentales de la pollution.

C'est ce qui ressort notamment d'un bilan de douze années d'observations de terrain présenté lors des rencontres

du GDR (J. Baztan, CEARC, Marine Sciences For Society). Mêlant récit d'une prise de conscience personnelle et panorama de campagnes scientifiques, cette contribution a livré, photographies et cartes à l'appui, un canevas d'éléments qualitatifs et quantitatifs sur la « géographie du plastique » dans l'Atlantique Nord, ses tendances et ses extrêmes : de certains rivages de Bretagne ou du Pays basque, jonchés de macrodéchets après les grandes tempêtes de 2013, aux côtes du sud-est du Groenland, pratiquement vierges de microplastiques en 2014 ; de la plage de Mbour (Sénégal), aux allures de dépotoir en 2015, à celle de Famara (Canaries) étudiée depuis 2008, où ont été retrouvés dans certaines zones jusqu'à trois kilogrammes de fragments plastiques par mètre carré.



Photo 2. 2 989 g de déchets plastiques retrouvés en 2017 sur un mètre carré de la plage de Famara, aux Canaries.

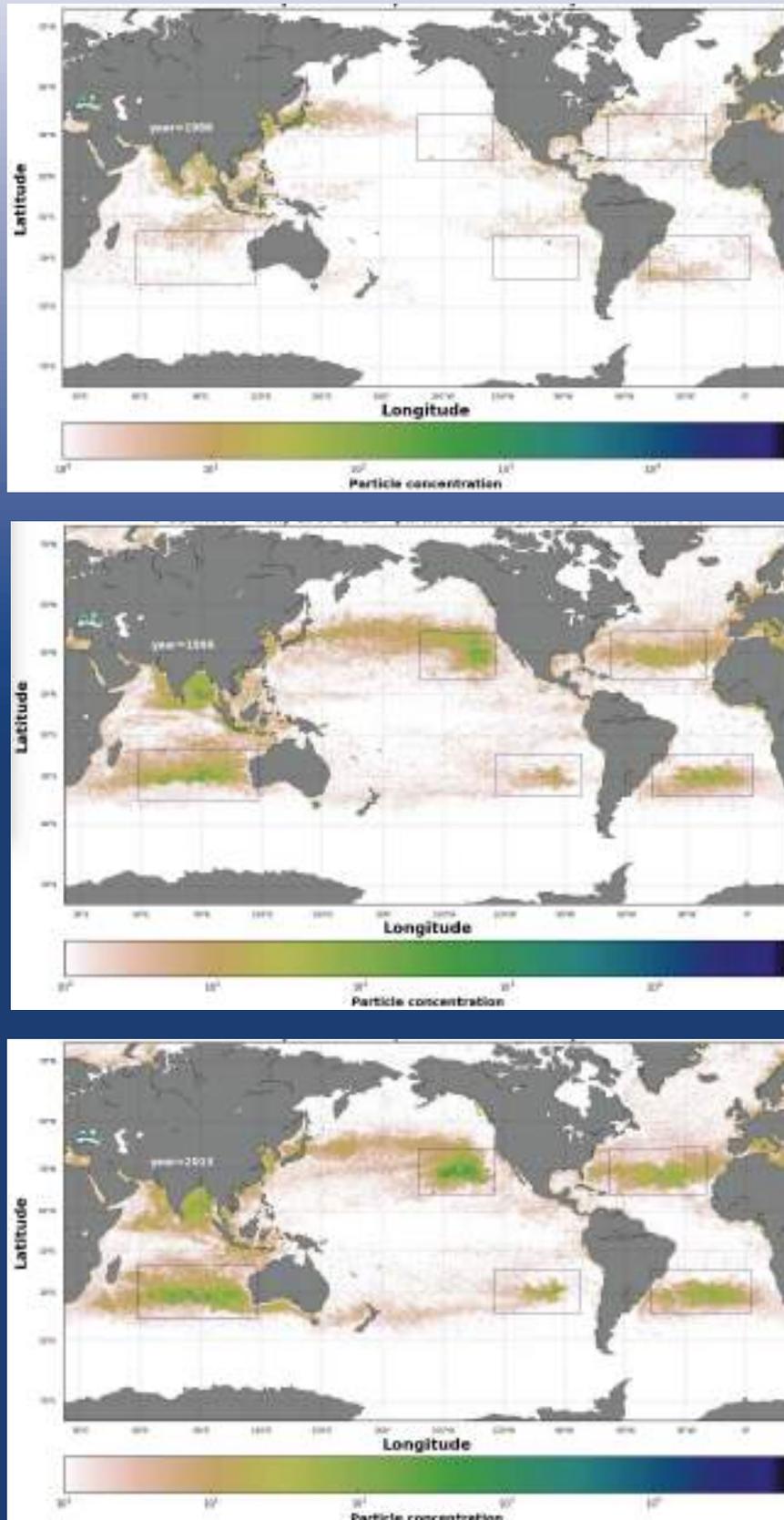
Modélisation à grande échelle et gyres océaniques

Pour progresser dans la compréhension des flux de plastiques et de leur distribution spatiale dans l'immensité océanique, le recours aux outils de modélisation s'impose. Des travaux récents présentés lors des rencontres du GDR (C. Maes, IRD/LOPS*) ont apporté un éclairage nouveau en la matière. À partir des modélisations numériques existantes des courants océaniques de surface, l'équipe a simulé dans le temps la dispersion des matières plastiques à l'échelle mondiale, avec différents scénarios pour les sources de pollution : « introduction » à l'instant $t=0$ (fixé à l'année 1985) d'une concentration de plastique égale en tous points de l'océan ; ou de manière plus réaliste, introduction à $t=0$ de concentrations de plastique dans les zones côtières, à proportion des densités de populations humaines qui y vivent. La dérive des particules (environ 1 million) est alors calculée pas à pas et permet d'estimer l'évolution dans le temps des concentrations en plastiques, jusqu'à l'année 2013. Les résultats (Figure 8) apportent des éléments nouveaux sur la **dynamique d'accumulation du plastique au sein des cinq grandes gyres océaniques subtropicales**. Ces vastes vortex où les courants concentrent la pollution année après année, improprement qualifiés de « continents de plastique », apparaissent en effet mobiles dans le temps et reliés entre eux par des « chemins de sortie » depuis le cœur des zones de convergence. Cela est vrai en particulier des gyres de l'océan Indien et

du Pacifique sud, connectées par un corridor de quelques centaines de kilomètres de large, par lequel les déchets transitent d'une zone à l'autre. Au sein même des gyres, la distribution des plastiques apparaît également hétérogène : la modélisation met en évidence l'influence notable des structures particulières des tourbillons de méso-échelle (de 50 à 200 km de diamètre).

Les auteurs rappellent cependant que ces résultats de modélisation, validés seulement en partie par les données d'observation disponibles (comme ceux présentés par la Figure 7) **ne représentent pas la distribution réelle** de la pollution plastique océanique. Pour s'en rapprocher, les perspectives de recherche comportent l'intégration au modèle de scénarios d'émission continue de plastique depuis les sources continentales, appuyés sur des données de terrain, ainsi que la prise en compte de l'ensemble des processus physiques impliqués, dont l'effet des vents sur la dynamique des déchets flottants, la sédimentation ou les cinétiques de dégradation des macrodéchets en microplastiques. Le développement des moyens d'observation, de l'échantillonnage *in situ* à la détection satellitaire, apparaît également comme un levier puissant pour progresser, en lien avec le perfectionnement attendu des modèles, vers une meilleure description des flux et de la distribution du plastique en mer.

Figure 8. Nombre de particules par éléments de maille du modèle (particle concentration) et évolution temporelle (1986-1996-2013) de l'accumulation du plastique dans les cinq gyres océaniques subtropicales (source : C. Maes, IRD/LOPS).



Première approche quantitative à l'échelle du golfe du Lion

Gagner en robustesse dans la modélisation à grande échelle de la distribution des plastiques océaniques demande aussi de progresser dans la compréhension des flux à échelle plus locale, et en particulier à l'interface terre-mer où se joue une part importante des mécanismes qui concourent à la diffusion depuis les sources continentales. C'est l'objet d'une analyse récente menée en Méditerranée. Cette mer presque fermée, soumise à une forte pression anthropique, est très impactée par la pollution plastique : les concentrations moyennes y sont du même ordre qu'au cœur des gyres océaniques subtropicales (autour de 500 g par kilomètre carré, voir Cozar et al., 2015), avec des densités plus élevées que dans celles-ci en macrodéchets. L'équipe du Cefrem de Perpignan (M. Constant, P. Kerhervé, S. Heussner et W. Ludwig*) a cherché à caractériser et quantifier les flux de microplastiques à l'échelle du golfe du Lion, dans une approche holistique du continuum terre-mer distinguant des compartiments « sources » (les fleuves, l'atmosphère) et des compartiments « stocks » de microplastiques (plages, surface de la mer, colonne d'eau et sédiments). Une stratégie d'échantillonnage, centrée autour des estuaires du Rhône et de La Têt, a été menée pour chacun de ces compartiments.

Les valeurs mesurées dans chaque stock et chaque source ont été extrapolées à l'échelle de l'ensemble du golfe du Lion (11 000 km²), moyennant des hypothèses très fortes car les mesures varient, dans tous les compartiments, à des échelles temporelles et spatiales très courtes (moins d'une heure, moins d'un kilomètre). Il en ressort cependant des ordres de grandeur : pour le golfe du Lion dans son ensemble, la quantité de microplastiques serait de l'ordre de 0,1 tonne dans les eaux de surface (profondeur inférieure à 2 m) ; de 0,6 tonne dans la colonne d'eau (jusque 20 m de profondeur) ; de 0,6 tonne sur les plages... et de l'ordre de **473 tonnes dans les sédiments marins, qui concentreraient donc la grande majorité du stock**. Quant aux sources, elles apparaissent dans cette approche nettement dominées par les apports atmosphériques, avec un apport de l'ordre de 30 tonnes par an, contre 7 à 18 tonnes par an pour les fleuves.

L'équipe poursuit ses travaux, avec notamment pour objectif la sélection et l'optimisation de protocoles et de méthodes pour l'échantillonnage *in situ* des microplastiques lors des événements extrêmes ; ainsi que la déclinaison du bilan massique par type de forme et de polymère.

La masse manquante des plastiques en question

Différentes études, à différentes échelles, constatent un écart important entre les quantités de plastiques estimées qui entrent dans les eaux côtières et celles que l'on mesure en mer. Une publication (van Sebille et al., 2015) avance que moins de 1 % du plastique censé se trouver à la surface des océans y est détecté. À l'échelle planétaire, les estimations du flux entrant dans les océans se situent ainsi, pour les ordres de grandeur régulièrement cités, entre 8 et 12 millions de tonnes par an. En comparaison, la quantité totale de plastique flottant en mer, estimée par

intégration des données d'observation disponibles, n'est que de l'ordre de 0,25 million de tonnes. En outre, la croissance observée de cette quantité apparaît bien moindre que ne le laisserait supposer l'augmentation exponentielle de la production mondiale de plastique au cours des dernières décennies, qui s'élevait à 348 millions de tonnes pour l'année 2017, et devrait s'accroître encore de 40 % d'ici 2030.

Cet écart considérable, interrogation majeure pour la communauté scientifique, a suscité des discussions récurrentes lors



© Soline Alligant - ENPC

Photo 3. Microplastiques provenant de la colonne d'eau, estuaire de la Seine.

des rencontres du GDR : où est passée la « masse manquante » de plastique ? L'hypothèse d'une concentration dans le biote peut être écartée par certains résultats expérimentaux, qui montrent que le temps de séjour des plastiques ingérés par les organismes vivants n'est généralement que de quelques heures à quelques jours avant excrétion. En revanche, les conceptions actuelles semblent sous-estimer de beaucoup, comme le suggère l'étude précédente, **les quantités de microplastiques stockées dans les sédiments** présents au fond des océans. Alors que la plupart des modélisations océaniques se concentrent aujourd'hui sur les eaux superficielles, une partie de la « masse manquante » pourrait également se situer **en suspension dans les strates profondes de la colonne d'eau**, ou se déposer sur le substrat. En conséquence, une perspective de recherche pour les approches en mo-

délisation serait de mieux prendre en compte les déplacements verticaux des plastiques au sein de la colonne d'eau, en lien avec des connaissances sur l'évolution de la densité des polymères au fil de leur dégradation dans l'eau de mer : si certains matériaux sont plus denses que l'eau (PVC), la plupart flotte (PE, PP...) mais la formation de biofilms, au cours de leur séjour dans l'eau peut affecter à terme leur densité, dans des proportions encore mal connues. Enfin, une autre hypothèse concourant à l'explication de l'écart entre flux entrants estimés et quantités de plastiques observées en mer réside dans les cinétiques de dégradation dans le milieu marin (voir chapitre suivant) : la dégradation des macrodéchets en microplastiques puis en nano-plastiques, peut faire passer cette pollution **sous les limites de détection** des techniques d'échantillonnage actuelles.

Une pollution plastique mesurée jusque dans l'atmosphère

Alors que la distribution de la pollution plastique en mer, objet de campagnes de mesure internationales et de travaux avancés en modélisation, est désormais un axe de recherche majeur pour la communauté scientifique, très peu de travaux ont à ce jour cherché à quantifier la présence de microplastiques dans l'air atmosphérique. Les premières approches menées en ce sens, dont une rétrospective a été proposée (P. Amato, Institut de chimie de Clermont-Ferrand, ICCF) lors des rencontres du GDR,

montrent pourtant que cette pollution n'est pas négligeable. Elle a été quantifiée pour la première fois (Dris et al., 2015) par échantillonnage passif de dépôts atmosphériques totaux (aérosols et précipitations).

L'analyse au microscope optique des aérosols (particules en suspension dans l'air) de plus de 100 μm a quantifié des dépôts de microplastiques entre 29 et 280 particules par jour et par mètre carré selon les échantillons (118 parti-

cules/j/m² en moyenne), composés pour 90 % de fibres ; une corrélation nette a été observée entre ces quantités et le taux de précipitations. Une étude ultérieure, dans la région de Hambourg (Klein et Fischer, 2019) a quant à elle mesuré des valeurs entre 136 et 512 particules/j/m² (275 en moyenne), avec une forte prédominance des plus petites particules (< 63 µm) ; ces travaux ont également mis en évidence l'influence de sources ponctuelles sous l'effet des vents dominants, et des concentrations plus élevées en milieu rural, suggérant un effet « peigne » des forêts qui accumuleraient les microplastiques. Des résultats comparables (365 particules/j/m² en moyenne) ont été obtenus à Vicdessos, dans les Pyrénées (Allen et al., 2019), accréditant l'hypothèse d'un transport aérien sur plusieurs dizaines de kilomètres. À la suite de ces études pionnières, un projet en cours

(avec A. Ter Halle et B. Eyheraguibel) vise à investiguer la concentration en particules de plastique dans l'air en zone extérieure reculée, en milieu continental (neige fraîche du sommet du Puy de Dôme) et océanique (mer Méditerranée).

Les échantillons collectés à haut débit à l'aide d'échantillonneurs entièrement métalliques sont manipulés sous hotte à flux laminaire afin de limiter au maximum les contaminations, et analysés pour quantifier et caractériser les macroplastiques, mais aussi les micro/nanoplastiques présents. Une analyse de rétrotrajectoires des masses d'air, appuyée par la collecte en parallèle de métadonnées (météorologie, anémométrie) sera testée pour tenter de retracer l'origine des particules observées. ■

Ce qu'il faut retenir

- La durée de vie longue et la densité généralement faible des plastiques favorisent leur dispersion en mer sur de longues distances, sous l'effet des courants.
- La distribution observée des plastiques en mer est très variable dans le temps et dans l'espace : dans certaines eaux les concentrations de surface ne sont que de quelques grammes par kilomètre carré, tandis que dans d'autres elles dépassent les 2 000 grammes par kilomètre carré.
- Les travaux récents en modélisation de la dispersion des plastiques à l'échelle globale confirment et précisent la concentration des déchets au sein des cinq grandes gyres océaniques subtropicales. La distribution des plastiques, variable dans le temps et l'espace s'y organise selon des structures en « méso-tourbillons ». Les zones à fortes densités de plastiques des gyres de l'océan Indien et du Pacifique sud sont par ailleurs connectées entre elles par un large corridor.
- Il existe un écart considérable entre les quantités estimées de plastiques entrant dans le milieu marin, et celles très inférieures que l'on y retrouve par l'observation. Une partie importante de cette « masse manquante » pourrait se trouver stockée dans les sédiments marins, sous forme de microplastiques.
- Quelques études pionnières ont également établi la présence de microplastiques dans l'atmosphère, en quantités non négligeables. Leur caractérisation et l'étude de leur distribution, encore balbutiantes, font l'objet de développements méthodologiques récents.

4

CHAPITRE



© Laurent Colasse - SOS Mal de Seine

Changement de couleur et fragmentation des faces exposées.
Parc naturel régional des Boucles de la Seine normande - 70 km avant la mer.

La dégradation des plastiques



Détérioration de l'état de surface et des propriétés mécaniques, apparition et propagation de fissures, fragmentation progressive en lambeaux ou granulés, jusqu'à des particules de taille micrométrique, voire nanométrique... Dans le milieu naturel, au sein des bassins versants terrestres ou en mer, les matières plastiques connaissent une dégradation plus ou moins rapide, qui peut s'opérer sous l'effet de trois grands mécanismes (Figure 9 page suivante) :

- l'action des **rayons ultraviolets (UV)**, ou photodégradation ;
- l'action de **l'eau**, ou hydrolyse ;
- l'action de **micro-organismes** qui viennent coloniser les déchets (Photo 4). Parmi ces derniers, certains contribuent, comme l'eau et les UV, à la fracturation et à la fragmentation du plastique, en « coupant » ses longues chaînes moléculaires ; d'autres sont capables d'assimiler les fragments de molécules : on parle alors de **biodégradation**.

Ces trois modes d'action s'expriment (ou pas) de manière **très différente selon le milieu** où séjourne le plastique (sol, eau douce ou eau de mer, voire compost industriel et compost ménager), et selon les conditions qui y règnent : température, pH, salinité, milieu aérobie ou anaérobie, types de micro-organismes présents... De même, **de nombreuses propriétés du plastique** lui-même peuvent jouer un rôle-clé dans les mécanismes et les cinétiques de dégradation : la compo-

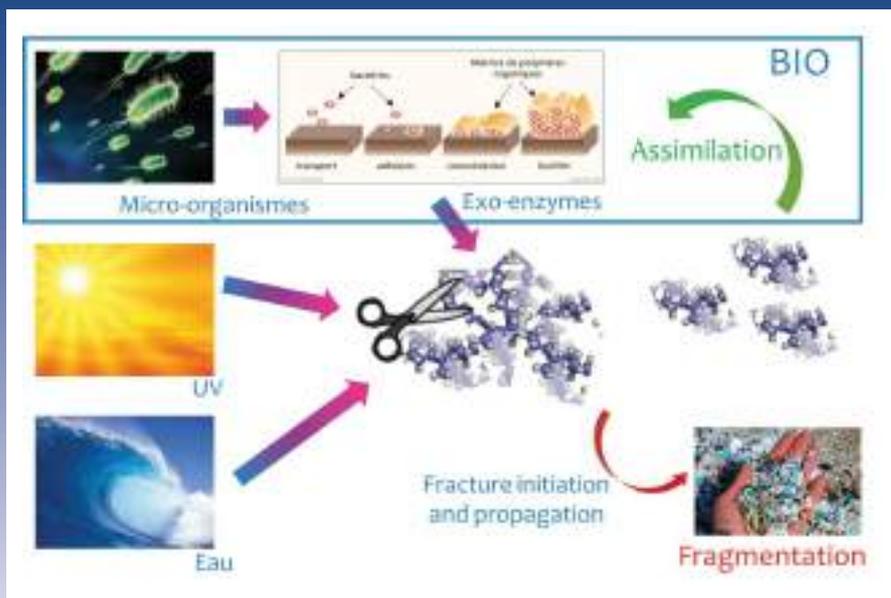


Figure 9. Mécanismes impliqués dans la dégradation des plastiques, vue générale (source : M. George, Laboratoire Charles Coulomb).

sition chimique bien sûr (polymère, additifs, charges...), mais aussi la forme et l'épaisseur des déchets considérés, leur micro-perméabilité, leur micro-structure et leur état de surface (qui influence notamment la colonisation par les micro-organismes). Cette dégradation se traduit par une fragmentation des déchets, libérant *in fine* dans l'environnement des particules dont les dimensions peuvent s'échelonner de l'échelle millimétrique à l'échelle micrométrique ou nanométrique. À défaut de véritable consensus sur les termes, on qualifie généralement de

« microplastiques » les particules de taille comprise entre 5 mm et 1 μm , et de « nanoplastiques » celles inférieures au μm . Un exemple de classification possible est présenté Figure 10.

Au regard du grand nombre de matériaux existants sur le marché des plastiques, couplé à la diversité des mécanismes impliqués selon les conditions, l'étude de la dégradation des plastiques constitue donc un très vaste champ de recherche. Les longues durées sur lesquelles s'opèrent les phénomènes sont également un frein à la réalisation de suivis en conditions naturelles.

Ainsi les approches actuelles consistent-elles souvent à étudier, en conditions contrôlées, l'action d'un mécanisme de dégradation donné, sur un type donné de polymère modèle : les travaux présentés lors des rencontres du GDR en ont donné un aperçu.

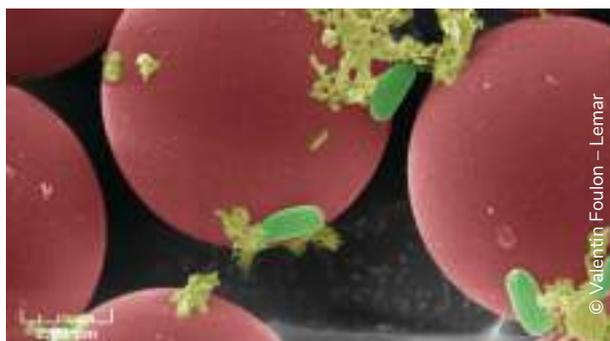


Photo 4. Microsphères de polystyrène colonisées par la bactérie *Vibrio crassostreae*

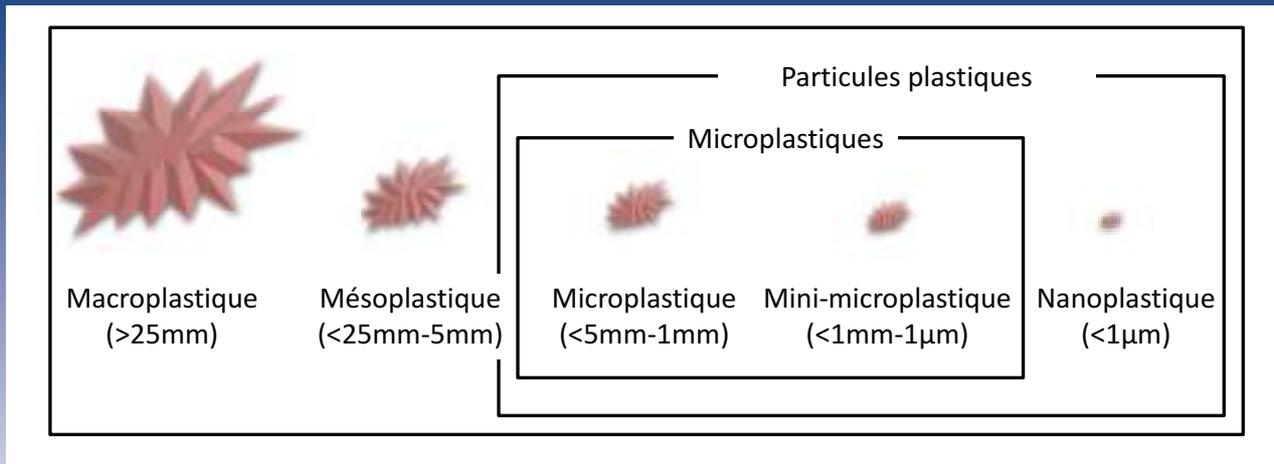


Figure 10. Déchets plastiques et descente d'échelle, une terminologie possible (Adapté de Crawford & Quinn, 2017).

Films de polyamide 6 : une perte de masse mesurée dans l'eau

Les plastiques de type polyamide (dont le nylon) sont fréquemment retrouvés en mer ; ils sont notamment utilisés pour la fabrication de cordages ou de filets de pêche, ou dans des applications de transport fluide (tuyaux). Une étude (Q. Deshoules, Ifremer*) s'est intéressée à la dégradation abiotique de l'un de ces polymères, le **polyamide 6 (PA6)**, dans l'eau (par hydrolyse et/ou par oxydation) et dans l'air (oxydation). Le matériau, sous la forme d'un film de 250 µm d'épaisseur, était placé dans différents caissons permettant de découpler les modes de dégradation, à des températures étudiées allant de 4°C à 140°C.

Dans le cas du vieillissement dans l'eau sans oxygène, les prélèvements réalisés à pas de temps régulier mettent en évidence une perte de masse des

échantillons, d'autant plus importante que la température est élevée (Figure 11).

Les auteurs ont pu vérifier que cette perte de masse était corrélée à la migration de macromolécules de faible poids moléculaire due aux coupures de chaînes induites par l'hydrolyse. En parallèle, une fragilisation du matériau a été mesurée. Par modélisation, ces constats ont pu être extrapolés aux températures environnementales (entre 4°C et 25°C). Les résultats suggèrent que le phénomène d'hydrolyse pure du PA6 (sans oxydation) serait très lent : sous réserve d'incertitudes probablement importantes, il faudrait 65 000 ans pour réduire de 10 % la masse du film de PA6 à 25°C, et pas moins de 2,8 millions d'années à 4°C ! En revanche le couplage de l'hydrolyse

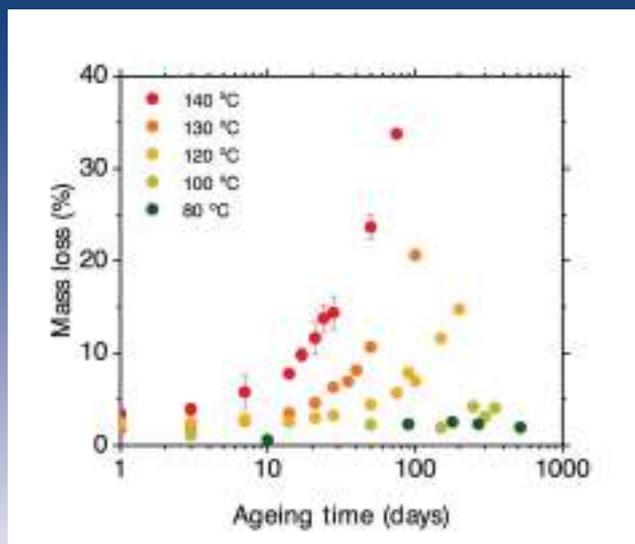


Figure 11. Perte de masse au cours du vieillissement dans l'eau du PA6, en % de la masse initiale, selon la température (source : Q. Deshouilles, Ifremer).

pure et de l'oxydation (susceptible de se produire en environnement marin) conduirait à des pertes de masse beaucoup plus rapides : six années suffiraient pour réduire de 10 % la masse de film de PA6 à 25°C, et 72 ans à 4°C. Cette étude suggère, comme d'autres

travaux menés sur d'autres plastiques, que les différents mécanismes de dégradation des plastiques s'exercent non pas isolément, mais de manière synergique et sur de longues échelles de temps.

Vieillissements comparés du PEBD et du PP dans l'air et dans l'eau

Le polyéthylène à basse densité (PEBD) et le polypropylène (PP) comptent également parmi les polymères les plus fréquemment retrouvés dans l'environnement. Une autre expérimentation en laboratoire (F. Julienne, Institut des molécules et matériaux du Mans, UMR 6 283*) a permis de caractériser leur vieillissement, dans l'eau ou dans l'air. Ces travaux ont mis en évidence l'influence primordiale de l'environnement sur les mécanismes de fragmentation :

après 6 mois de photo-dégradation dans l'air, les films de PEBD montrent un durcissement de surface mais aucune fragmentation ; en revanche, après 6 mois dans l'eau, les échantillons apparaissent fragmentés en fines « baguettes » (perpendiculaires à la direction de l'extrusion), les micro-fissures se propageant sous l'action de l'eau. Ces travaux ont également illustré **l'influence majeure de la morphologie** du polymère sur son vieillissement : ainsi dans l'eau le film de

PP (dont la micro-structure présente des « sphérulites », formations cristallines en rayons) se fragmente plus vite que le PEBD (sans sphérulites) générant des fragments de formes moins allongées - (rapport longueur/largeur proche de 1).

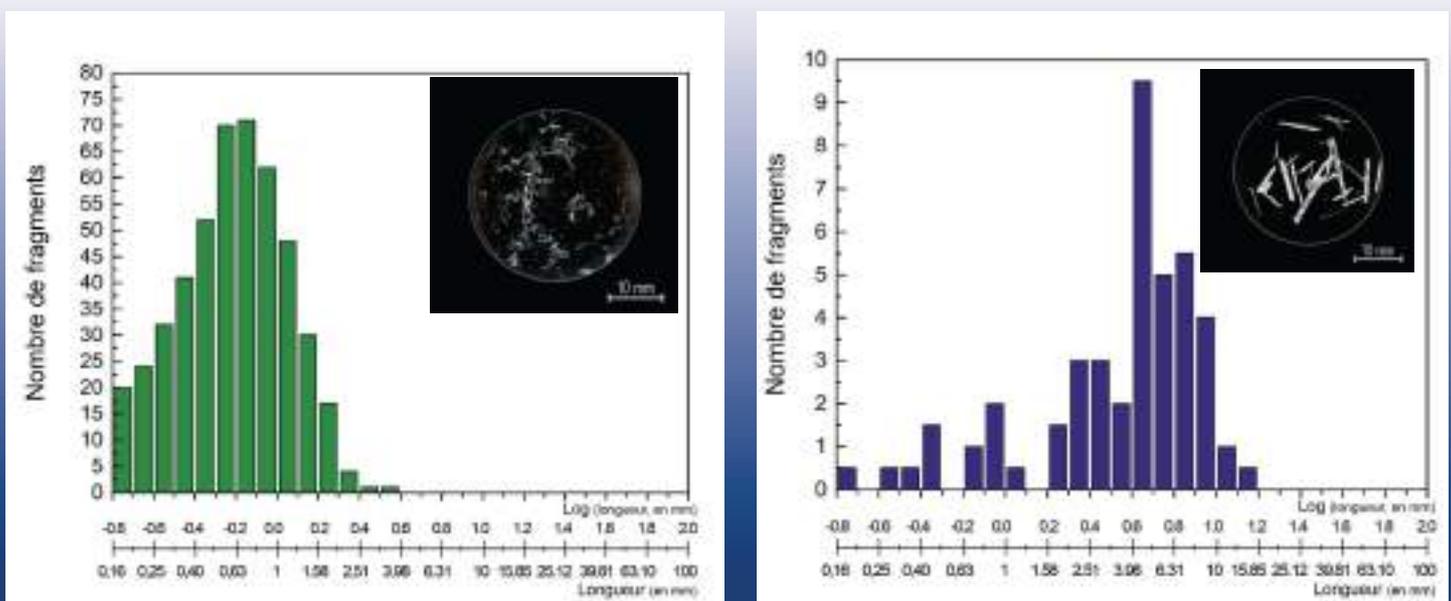
Enfin, un autre volet de cette étude a apporté des éléments nouveaux sur l'évolution au cours du temps de la **distribution en nombre et en taille des fragments** issus du vieillissement dans l'eau, laquelle s'avère très différente dans le cas du PP et dans celui du LDPE (Figure 12).

Le cas des matériaux hétérogènes comme les **composites** (alliant une matrice de résine polymère « thermodure » et une armature de fibres de verre ou de carbone) ou les revêtements de protection des structures métalliques, très utilisés dans l'industrie nautique,

a également été abordé (Lénaik Belec, MAPIEM*) lors des rencontres du GDR. Les mécanismes de dégradation et leur cinétique ont été étudiés au moyen de protocoles de vieillissement accéléré, pour deux phénomènes : la délamination cathodique¹ d'assemblages polymère/métal immergés, et le vieillissement de composites modèles en atmosphère tropicale humide. Ces travaux constatent notamment une dégradation plus importante dans les zones d'interface du composite (à proximité du renfort), et une action synergique des différents mécanismes étudiés en vieillissement naturel.

Un axe de recherches complémentaire concerne **l'influence des propriétés de surface** des déchets sur la colonisation par les bactéries et les micro-algues marines. Cette influence a été étudiée (F. Faÿ, Laboratoire de biotechnologies

Figure 12. Répartition en nombre et en taille des fragments de LDPE (en bleu) et de PP (en vert) après 27 semaines de vieillissement dans l'eau (source F. Julienne, IMMM).



et chimie marines*) dans le cas du polycarbonate. Il en ressort que le caractère hydrophobe de la surface, son traitement par fluoration et une faible tension de surface contribuent à minorer la bioadhésion (et donc la dégradation par les organismes) ; ces différents effets étant d'autant plus marqués s'ils opèrent en synergie.

Dernier exemple : une étude s'est intéressée à la dégradation par les bactéries marines de différents types de **microbilles de polymères présentes dans les cosmétiques** (exfoliants ou dentifrices notamment). Cette approche de laboratoire a notamment mesuré dans le temps, en comparaison avec des substituts naturels à base de riz broyé ou de noyaux d'abricot, la perte de poids, l'abondance et la production bactériennes ou l'évolution de la granulométrie dans le cas de produits conventionnels (PE et PMMA) et d'alternatives biodégradables (PCL, PHA, PHBV...). Elle confirme notamment la faible dé-

gradabilité du PLA, du PELD et du PMMA (ni perte de poids, ni colonisation bactérienne, après 60 jours d'incubation dans les conditions testées).

Si les différents travaux évoqués ci-dessus livrent des éléments chiffrés sur le vieillissement de polymères dans certaines conditions, ils restent difficilement exploitables en appui aux études sur la distribution des plastiques dans l'environnement, ou sur leurs impacts environnementaux. En effet, ils ne jettent qu'un éclairage préliminaire et simplifié sur les phénomènes complexes qui se jouent en conditions naturelles, où les plastiques subissent l'action conjointe de différents modes de dégradation eux-mêmes susceptibles de varier dans le temps, par exemple lorsque le déchet change de milieu. Ainsi une perspective de recherche exprimée lors des rencontres du GDR porte-t-elle sur le développement **d'études de dégradation des plastiques en conditions naturelles**, qui impliquent un suivi sur le temps long.

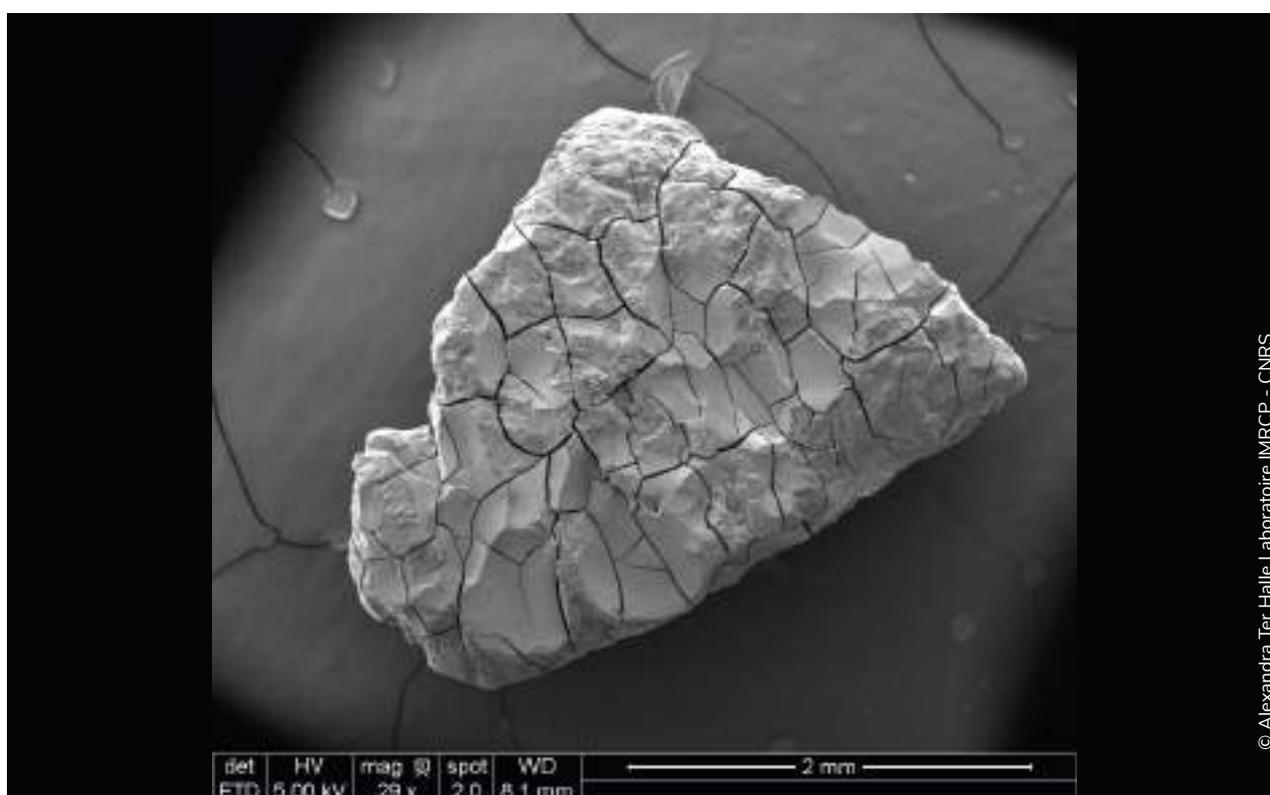
Influence des additifs sur la dégradation : l'exemple des retardateurs de flamme bromés

Une autre limite des approches actuelles réside dans l'emploi de polymères modèles pour mener les tests, alors que les matières plastiques présentes dans l'environnement sont en réalité constituées d'un ensemble complexe de constituants chimiques incluant, outre le polymère, des plastifiants, des charges et des additifs (voir chapitre 1), susceptibles de modifier

considérablement les mécanismes de dégradation du matériau. Ces effets ont notamment été étudiés (A. Khaled, Institut de chimie de Clermont-Ferrand*) dans le cas des retardateurs de flamme bromés (RFB), utilisés pour ignifuger de nombreux matériaux plastiques, dans les domaines de l'automobile ou du bâtiment par exemple. L'équipe a étudié la photodégradation de ces

RFB dans trois polymères : PS, PET et cellulose. Les résultats, en simulateur solaire ou par exposition naturelle, ont montré que la vitesse de photodégradation des RFB dépend beaucoup du polymère : elle est particulièrement rapide dans le polystyrène. Ils indiquent également que la photodégradation du PS lui-même est beaucoup plus rapide lorsqu'il est ignifugé par des RFB.

Enfin, les produits de cette photodégradation sont également différents : **le PS ignifugé génère des microplastiques bromés**, bien plus toxiques que les photoproduits du PS seul. Ces travaux confirment que la présence d'additifs peut jouer un rôle-clé dans la dégradation des polymères, et accroître considérablement la toxicité des produits de cette dégradation.



© Alexandra Ter Halle Laboratoire IMRCP - CNRS

Photo 5. Fragmentation d'un microplastique

Nanoplastiques : un domaine de recherches émergents

Le cas des nanoplastiques, fragments de taille inférieure à $1 \mu\text{m}$ qui pourraient être issus de la dégradation de microplastiques, demeure une question de recherche. Leur présence dans l'environnement n'a pas pu être établie à ce jour, au regard des moyens actuels

d'observation et de caractérisation externes des matériaux (l'instrument actuel le plus utilisé étant le spectroscope Raman, dont la limite physique se situe à $1 \mu\text{m}$) : il est aujourd'hui possible de détecter des particules de taille nanométrique dans des matrices environ-

nementales, mais pas de les identifier comme du plastique.

Il n'est par ailleurs pas certain que la dégradation des plastiques, dans le milieu naturel, puisse se poursuivre en deçà du micromètre, en raison du surplus d'énergie nécessaire pour fragmenter les chaînes moléculaires à cette échelle. Ainsi l'étude mentionnée plus haut (F. Julienne) sur le vieillissement dans l'eau du LDPE et du PP n'a-t-elle ob-

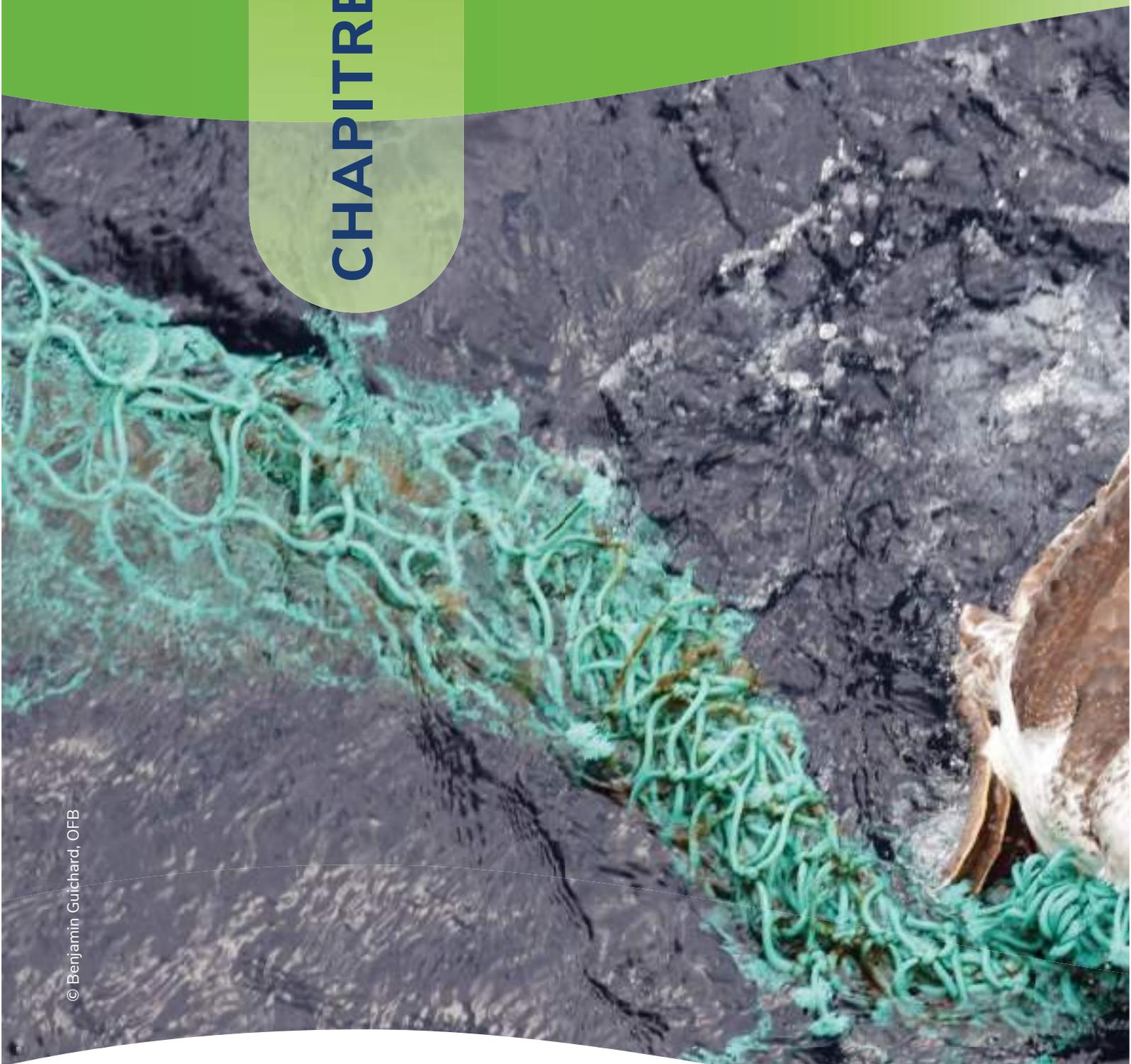
servé aucune présence de nanoparticules après six mois. Dans ce contexte, les quelques travaux sur les nanoplastiques présentés lors des rencontres du GDR étaient très prospectifs : élaboration de nanoplastiques modèles par fragmentation mécanique et étude de leur comportement physico-chimique (S. Reynaud, IPREM*), étude du transport ou du dépôt de nanopolystyrènes modèles à travers des parois poreuses (A. Pradel, Géosciences Rennes*). ■

Ce qu'il faut retenir

- Dans le milieu naturel, les plastiques se dégradent sous l'effet conjugué des UV (photodégradation), de l'eau (hydrolyse) et de micro-organismes. Cette dégradation, qui s'opère différemment selon les conditions environnementales et les caractéristiques du matériau, aboutit à une fragmentation progressive : des macrodéchets jusqu'aux microplastiques.
- Beaucoup d'études actuelles en laboratoire précisent les mécanismes et la cinétique de dégradation de polymères modèles par un mode d'action donné, en conditions dirigées.
- En complément de ces approches, la compréhension du devenir environnemental des plastiques demande aujourd'hui davantage d'études de vieillissement en conditions naturelles standardisées.
- Des développements doivent également porter sur les principales formulations commerciales de plastique : celles-ci contiennent des additifs susceptibles de modifier considérablement la cinétique et les produits de leur dégradation.
- Le cas des nanoplastiques reste une question de recherche : il n'y a aujourd'hui pas de preuve que la dégradation des plastiques se poursuive en-deçà de 1 μm en conditions environnementales.

5

CHAPITRE



© Benjamin Guichard, OFB

Fou de Bassan juvénile pris dans un filet dérivant. Golfe de Gascogne, 2018.

Les impacts sur la biodiversité

Un sac plastique, dérivant dans la colonne d'eau, ressemble étrangement à une méduse. Les tortues marines peuvent s'y tromper : il a été démontré, par analyse de contenus stomacaux sur des animaux vivants ou morts, qu'elles ingèrent fréquemment des matières plastiques, lesquelles sont susceptibles de causer des occlusions partielles ou totales pouvant entraîner la mort de l'animal. Au-delà de cet exemple très médiatisé, les macrodéchets plastiques peuvent représenter une grande variété de **pièges « physiques » pour la faune** aquatique, littorale ou marine : étranglements externes ou étouffements internes, emmêlements dans les déchets de filets de pêches...

Outre ces effets directs sur la biodiversité, les objets flottants transitant sur de longues distances en mer sont par ailleurs susceptibles d'agir comme des **vecteurs pour le transport de micro-organismes** pathogènes ou d'espèces exotiques envahissantes : à la suite du Tsunami asiatique de 2011, un accroissement significatif de la dispersion d'espèces océaniques véhiculées par les déchets flottants a ainsi pu être constaté jusque sur les côtes américaines.

Ces différents impacts des macrodéchets plastiques sur la biodiversité, largement observés, restent cependant peu étudiés quantitativement.



Impacts des macro-déchets plastiques sur les organismes aquatiques

L'autre grand type d'impact de la pollution plastique sur la biodiversité concerne **les effets écotoxicologiques de l'exposition aux microplastiques**. Après ingestion ou absorption, que deviennent ces particules et leurs constituants au sein des organismes vivants ? Sont-ils excrétés, bioaccumulés ou transférés dans d'autres organes ? Dans quelle mesure, de quelle manière cette exposition affecte-t-elle la santé des animaux et des végétaux ? Y a-t-il des effets à l'échelle des populations, des écosystèmes tout entiers, voire des grands cycles biogéochimiques ?

Ces questions font depuis plusieurs années l'objet de travaux nombreux. Différentes analyses menées (échantillonnage dans le biote) suggèrent que **le temps de séjour des microplastiques dans les organismes est en général assez limité**, bien que dépendant des espèces considérées et de la forme des microplastiques : chez les poissons, il n'est ainsi que de quelques heures avant excrétion. Pour autant, la présence généralisée des microplastiques dans l'environnement se traduit pour les organismes vivants par une exposition chronique, avec une multiplicité



© Marine Deeken - OFB Parc naturel marin de Mayotte

Photo 6. Baleine à bosse observée entre l'îlot M'tsamoro et le banc de l'Iris essayant de se dégager de l'emprise d'un engin de pêche abandonné.

d'effets potentiels sur leur physiologie, leur métabolisme, leur comportement ou leur reproduction. Pour les scientifiques engagés dans ces recherches, le premier défi réside là encore dans la très grande variété de composition, de taille et de forme des microplastiques, et de la nature de leurs additifs (voire même des polluants adsorbés par les

plastiques), couplée à la très grande diversité des organismes qu'ils sont susceptibles d'affecter. En conséquence, les études écotoxicologiques se proposent généralement de mesurer en laboratoire les impacts de microplastiques types, sur un organisme donné.

Mollusques et coraux : des effets contrastés

Une étude expérimentale (K. Tallec, Université de Brest-LEMAR*) s'est ainsi intéressée aux conséquences de l'exposition à des concentrations élevées de nanoparticules de polystyrène sur le développement (aux stades larvaire et adulte) de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Elle a mis en évidence une perturbation de l'embryogénèse et un effet significatif sur le taux de croissance des larves exposées (qui se métamorphosent avec un jour de retard en moyenne par rapport aux larves témoins), **sans effet observable au stade adulte**.

Une autre approche (A. Chatel, MMS UCO*) a comparé, chez l'huître creuse et chez la moule bleue *Mytilus edulis*, les effets de l'exposition dix jours durant à des microplastiques (broyat de pochettes plastiques en PE et PP, tailles inférieures à 400 µm), à des concentrations allant de 0 à 100 µg/l (soit l'ordre de grandeur mesuré au sein des gyres océaniques). Après dissection, aucun microplastique n'était présent dans les organes des huîtres ; en revanche du

PE et du PP étaient retrouvés dans les glandes digestives des moules – ainsi que dans les biodépôts, chez les deux mollusques. Par ailleurs, cette étude n'a pas non plus observé d'effet écotoxicologique marqué (pas d'altération de l'indice de condition, ni des tissus) sur les individus exposés.

Les impacts s'avèrent cependant très différents selon les espèces. Dans le cas des **coraux d'eau froide**, espèces structurantes des écosystèmes profonds en Atlantique et en Méditerranée notamment, l'exposition (en aquarium) à des concentrations environnementales de microplastiques se traduit par exemple par une nette réduction du taux de croissance (F. Lartaud, Sorbonne Université, Observatoire océanographique de Banyuls, LECOB*) : jusque 40 % par rapport aux individus témoins. *Lophelia pertusa*, l'espèce d'eau froide formant les plus grands récifs profonds, apparaît particulièrement sensible à cette exposition.



© Laurent Colasse - SOS Mal de Seine

Photo 7. Granulés plastiques industriels et coquillages. Exutoire d'un grand producteur de matière plastique, 2010.

Chez les poissons, une reproduction impactée ?

Des tests d'exposition *in vivo* à long terme ont été menés (X. Cousin, MARBEC, Université Montpellier, CNRS, IRD, Ifremer et Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, GABI*) sur deux espèces de poissons à cycle de vie court : le poisson-zèbre (*Danio rerio*), espèce d'eau douce, et le medaka marin (*Oryzias melastigma*), espèce marine. Les animaux ont été exposés par voie trophique (contamination de l'aliment à 1 % de poids sec) durant plus de quatre mois à différentes préparations de LDPE et de PVC, vierges ou additivés de polluants organiques (un perfluoré, un hydrocarbure aromatique polycyclique, une benzophénone), ainsi qu'à un cocktail obtenu

par broyage de microplastiques collectés sur des plages de Guadeloupe. Les suivis montrent que des défauts de croissance apparaissent après plusieurs mois d'exposition (3 - 4 mois) : ceux-ci sont plus prononcés chez les femelles que chez les mâles, avec des effets presque similaires chez les deux espèces, et pour les différents microplastiques testés. Par ailleurs des conséquences significatives ont été mesurées sur la reproduction de ces poissons : si l'exposition aux microplastiques n'a pas eu d'effet sur la taille des pontes et les taux de fécondation, elle se traduit par une nette diminution du succès des pontes et *in fine* de l'effort reproducteur, ainsi que par des al-

térations chez les descendants (réponse photomotrice larvaire amoindrie).

Ces effets sur la reproduction, susceptibles d'entraîner des conséquences néfastes à l'échelle des populations, apparaissent variables selon les polymères (impact du PVC supérieur à celui du PE) et selon les polluants organiques persistants associés (impact plus marqué dans le cas du BP3). Les effets obtenus avec les microplastiques des plages guadeloupéennes diffèrent en fonction de la plage d'origine.

Une autre étude (P. Pannetier, EPOC-Université de Bordeaux*) s'est quant à elle intéressée à la sole (*Solea solea*), espèce benthique de grand intérêt économique, fréquemment contaminée par les microplastiques (Pellini et al., 2018). Des **larves et juvéniles de soles** ont été exposés, directement ou par

voie trophique, à des microplastiques industriels (PE) ou à des microplastiques obtenus par broyage et tamisage de déchets collectés dans l'estuaire de la Seine. Ces travaux ont d'abord confirmé l'égestion rapide des microplastiques (en moins de 30 heures, et plus rapide après métamorphose). Ils ont également mis en évidence des **changements comportementaux** marqués chez les individus exposés, avec notamment une activité (distance parcourue) moins importante que chez les témoins pendant la métamorphose, puis plus importante que chez ceux-ci après la métamorphose (traduisant peut-être une réponse à un stress). En revanche, l'expérience n'a pas révélé de mortalité ni de différences significatives en termes de poids ou de taille chez les individus exposés.

Peu de connaissances sur les effets à l'échelle des populations

Ces différentes études, présentées lors des rencontres du GDR, sont représentatives des travaux actuels sur les impacts environnementaux du plastique. Le panorama qu'en a dressé la conférence d'Ika Paul-Pont (Université de Brest-LEMAR*) confirme ainsi que la plupart des approches (plus de 90 % du total des publications sur les impacts environnementaux du plastique) portent aujourd'hui sur l'étude des impacts toxiques de l'ingestion de plastiques au niveau de l'individu (du

niveau infra-cellulaire à celui de l'organisme) : par contraste, les conséquences de l'exposition aux plastiques à l'échelle des populations, des communautés ou des écosystèmes restent très peu abordées par la recherche. Au-delà de ce constat, la conférence brossait, à travers de nombreux exemples de travaux récents, le portrait d'un champ scientifique en pleine évolution. La multiplication d'études de laboratoire, exposant des organismes modèles à des microplastiques modèles, permet

d'acquérir des données quantitatives validées qui fournissent des éléments utiles pour d'éventuelles réglementations futures (à l'instar des études d'écotoxicologie sur les substances chimiques qui sont reprises dans les actuelles évaluations réglementaires de risque). Des démarches complémentaires se développent, à l'image de l'utilisation de lignées cellulaires de poissons, en alternative à l'expérimentation animale, pour l'évaluation d'impacts écotoxicologiques des plastiques (B. Morin, Laboratoire EPOC, Université de Bordeaux*). Des études s'intéressent également aux impacts des additifs toxiques que relâchent dans l'environnement les matières plastiques : une équipe (Y. Aminot, Ifremer*) a par exemple précisé la cinétique de relargage de l'HCBD (retardateur de flammes bromé, voir aussi chapitre 4) par les déchets de polystyrène, et mis en évidence la bio-accumulation de cette substance toxique par des coraux.

Une limite de ces approches réside cependant dans la très grande variété des substances chimiques liées à la pollution plastique dans l'environnement et dans la multiplicité de leurs impacts toxiques : composante majeure de la pollution diffuse de l'environnement, les plastiques et les substances qui leur sont liées agissent sur le vivant de manière chronique, formant avec les autres polluants un « **cocktail** » **chimique**, dont les différents impacts peuvent se cumuler entre eux. En réponse, l'utilisation dans les tests d'exposition de

microplastiques « environnementaux » (comme c'était le cas par exemple avec les microplastiques prélevés sur les plages de Guadeloupe dans l'étude citée plus haut), à des concentrations proches de celles rencontrées dans l'environnement, apparaît préférable pour l'obtention de connaissances utilisables pour la préservation des milieux naturels. Pour la même raison, le développement d'**études en mésocosmes**, caractérisant sur le temps long les conséquences de mélanges plastiques « environnementaux » sur des populations ou des communautés, apparaît comme une importante perspective de recherche. ■

Ce qu'il faut retenir

- Les macrodéchets plastiques ont des impacts directs (pièges physiques) et indirects (transport de pathogènes et d'espèces exotiques sur de longues distances) qui demeurent peu étudiés.
- Les connaissances actuelles montrent que les temps de séjour des microplastiques dans les organismes sont en général assez courts (égestion en quelques jours chez les poissons).
- Les impacts toxiques de l'exposition aux microplastiques, objet de nombreux travaux en laboratoire, sont très variables selon les formulations et les organismes. Si les effets semblent limités chez la moule ou l'huitre, des déficits de croissance significatifs ont été observés chez les coraux ou les poissons, pour lesquels ils s'accompagnent de modifications comportementales et d'une moindre efficacité reproductive.
- La grande majorité des travaux actuels aborde les impacts toxiques des microplastiques au niveau de l'individu (de l'échelle infra-cellulaire à celle de l'organisme) ; très peu d'études portent aujourd'hui sur leurs impacts au niveau des populations ou des communautés.
- Les plastiques, relarguant dans l'environnement de nombreuses molécules chimiques (plastifiants, charges, additifs), agissent comme une source de pollution diffuse. Leurs impacts toxiques se cumulent par « effet cocktail », dont l'étude reste un véritable défi scientifique.



La société face à la pollution plastique : du curatif au préventif

À mesure que progressent les travaux scientifiques menés sur la pollution plastique, sa caractérisation et sa distribution spatiale, son devenir dans les milieux naturels et ses impacts sur la biodiversité, émerge une connaissance plus fine de l'ampleur des dégâts actuels et à venir – et une conscience plus aiguë de l'urgence pour les sociétés d'y faire face. Dans le même temps, la production et la consommation globales de matières plastiques poursuivent leur croissance exponentielle ; leurs effets deviennent de plus en plus visibles, pour les citoyens comme pour les décideurs politiques. Au cours des dernières années, l'inquiétude suscitée par cette problématique a pris une dimension nouvelle, le besoin de réponses et de solutions collectives s'est fait plus pressant que jamais.

Au lendemain de la clôture des premières Rencontres du GDR « Polymères et océans », quelques-uns des chercheurs cités dans la première partie de cet ouvrage se sont retrouvés les 27 et 28 juin 2019 à l'École des Ponts ParisTech, à Champs-sur-Marne. Ils participaient, avec de nombreux acteurs de la gestion de l'environnement, des pouvoirs publics, du monde associatif, de l'entreprise privée ou des collectivités territoriales, aux Journées « Plastiques et environnement » co-organisées par l'AFB et le ministère de la Transition écologique et solidaire, avec divers partenaires scientifiques et institutionnels.

Cinq tables rondes thématiques étaient proposées, abordant successivement les thèmes du devenir et de la gestion des plastiques dans les ports et dans les milieux littoraux ; dans les rivières et les milieux estuariens ; dans les eaux urbaines. Y furent également traités les thèmes de la collecte et du traitement des déchets et enfin ceux de la prévention et de la sensibilisation. Dressant un panorama éclectique des initiatives existantes en

France, des questionnements et des pistes d'action futures face à la pollution plastique, ces tables rondes ont permis le partage d'expériences et d'éclairages très divers, enrichis des nombreux temps d'échange avec le public présent en nombre dans l'amphithéâtre de l'École des Ponts ParisTech. Moment fondateur d'une concertation nationale désormais urgente sur la problématique environnementale et sociétale du plastique, ces deux journées ont nourri la seconde partie du présent ouvrage.



© Pierre-François Staub - OFB

Photo 8. De l'intention à la réalisation, encore du chemin à parcourir... Poubelle d'un complexe cinématographique, Paris, 2019.

CHAPITRE 9

© Dominique Laplace - Seramm

Filet de retenue des déchets à l'aval d'un réseau pluvial marseillais.

Intercepter le flux polluant

Pour réduire la dissémination des plastiques dans l'environnement, un premier levier majeur réside dans l'interception des déchets, à toutes les étapes de leur parcours entre les sources continentales et le milieu marin.

Portée par une prise de conscience croissante de la société civile et des politiques publiques, cette volonté se traduit, en France, par une multitude d'actions et d'initiatives, mobilisant des acteurs très variés à toutes les échelles géographiques : dispositifs d'interception fluviaux, campagnes de ramassage systématique des déchets sur le littoral ou les berges de rivières, actions réglementaires sur les dépôts sauvages, amélioration des performances des stations de traitement des eaux usées (STEU) pour l'abattement des quantités de microplastiques...

Les tables rondes des deux journées « Plastiques et environnement », exposant divers retours d'expériences à l'échelle nationale, ont été l'occasion de préciser et de quantifier l'efficacité de ces efforts, d'en identifier les réussites et les limites, et de mettre en discussion quelques pistes d'amélioration.



Barrages flottants et interception fluviale

Les grands cours d'eau, par lesquels transite une part importante de la pollution plastique émise dans les bassins versants, sont bien sûr des canaux privilégiés pour l'interception du flux de déchets. Sur le cours moyen de la Seine, soumis à une forte pression polluante du fait de son urbanisation, le SIAAP (Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne) opère pour ce faire un total de **25 barrages flottants** déployés entre l'amont et l'aval de Paris – dont le contenu est récupéré tous les 40 jours. Ce dispositif, dont un bilan a été présenté (S. Azimi, SIAAP), permet chaque année d'extraire du fleuve des centaines de tonnes de déchets (Figure 13). Cette quantité semble s'être stabilisée autour de 2 500 tonnes/an depuis 2014, voire amorcer une décroissance.

Sur l'ensemble de ces déchets, la

grande majorité est composée de débris végétaux. Les plastiques représentent cependant 1 à 6 % du total selon les barrages ; parmi les polymères collectés, le PE, le PS, le PP et le PET représentent l'essentiel de ces interceptions. Celles-ci se caractérisent par une forte variété temporelle, en lien direct avec l'évolution du débit. Elles sont également très variables d'un barrage à l'autre : les quantités les plus importantes sont collectées sur les barrages installés à proximité des déversoirs de crue (Joinville et La Pirette étant les plus « productifs »). Au-delà de ce retour d'expérience, l'emploi de barrages flottants apparaît comme un outil efficace pour intercepter le flux de plastiques fluviaux, du moins pour les déchets de taille suffisante et transitant en surface. Des développements techniques pourraient de surcroît améliorer les perfor-

Figure 13. Tonnages récupérés en Seine et en Marne aval par les barrages flottants du SIAAP, tous déchets confondus (source : SIAAP).

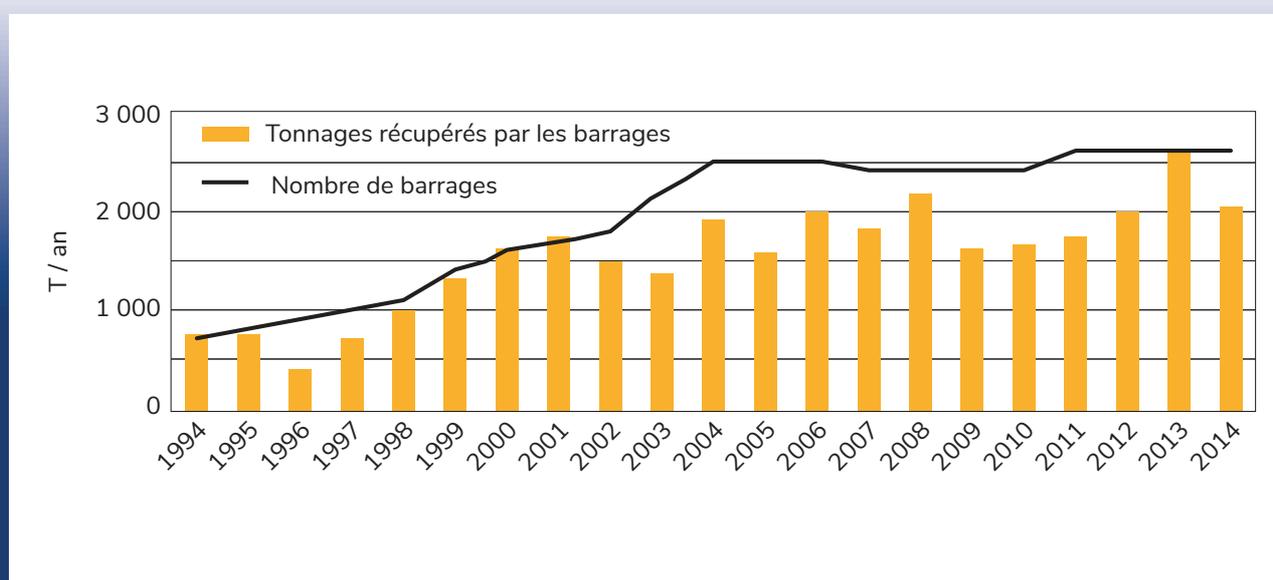




Photo 9. Collecteur de déchets River Whale de la société H2OPE pour le nettoyage des rivières et la protection des océans.

mances de ce type de dispositif. C'est le cas de la **River Whale développée par la société H2OPE** (S. Maréchal, B. Pasquier). Ce système mobile de collecte fluviale (Photo 9), destiné à être déployé perpendiculairement au courant, est doté de « fanons » plongeant jusque 70 cm sous l'eau pour augmenter sa surface d'interception. Fabriqué en France à partir de matériaux recyclables, il a été testé en contexte urbain par l'Eurométropole de Strasbourg :

en un mois, l'un de ces dispositifs a pu collecter dans l'Ill environ 100 kg de déchets plastiques (bouteilles, pailles, bâtons de sucettes, emballages de fast-food...). Ses promoteurs estiment qu'il pourrait intercepter, sur une année, 2 kg de plastiques par jour en moyenne. Un déploiement à plus grande échelle est envisagé, toujours à Strasbourg, avec la mise en œuvre de 55 collecteurs sur 120 km de cours d'eau.

Collectes manuelles : une mobilisation tout-terrain

Plus en aval, toujours sur la Seine, c'est un autre type d'interception qui a été mis en œuvre : à la faveur d'un groupement de commandes conjoint des départements de la Seine-Maritime et de l'Eure, **l'entreprise d'insertion sans but lucratif Naturel'in** (déjà évoquée au chapitre 2 – et désormais rebapti-

sée Naturel'in) s'est employée entre 2008 et 2019 au ramassage des déchets échoués sur les berges du fleuve. Un bilan chiffré de cette initiative a été présenté (B. Viault, Conseil départemental de Seine-Maritime) : agissant toute l'année sur une vingtaine de sites identifiés et entretenus, ainsi que sur un piège



© Line Viera, OFB. Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale

Photo 10. Nettoyage des berges du Wimereux dans le cadre des Aires marines éducatives.

à déchets, ses équipes (73 femmes et hommes embauchés au total) ont extrait du fleuve, en une décennie, 5 200 bidons de plastique, 440 roues ou pneus de voitures, 9 500 seringues, 16 500 aérosols, 135 bouteilles de gaz, 40 600 emballages en verre, 310 pots de peinture, et 49 500 kg de macrodéchets divers – dont beaucoup de plastiques. Achevée en avril 2019, l'opération a déjà été relancée par les collectivités.

Par ailleurs des initiatives du même type existent ou sont en préparation, sur d'autres cours d'eau : la collecte et la prévention en bordure de cours d'eau et dans les zones d'accumulation, couplées à des actions de connaissance sur les flux plastiques et leurs impacts, sont au rang des objectifs stratégiques identifiés par les Sdage (schémas di-

recteurs d'aménagement et de gestion des eaux) de plusieurs bassins hydrographiques.

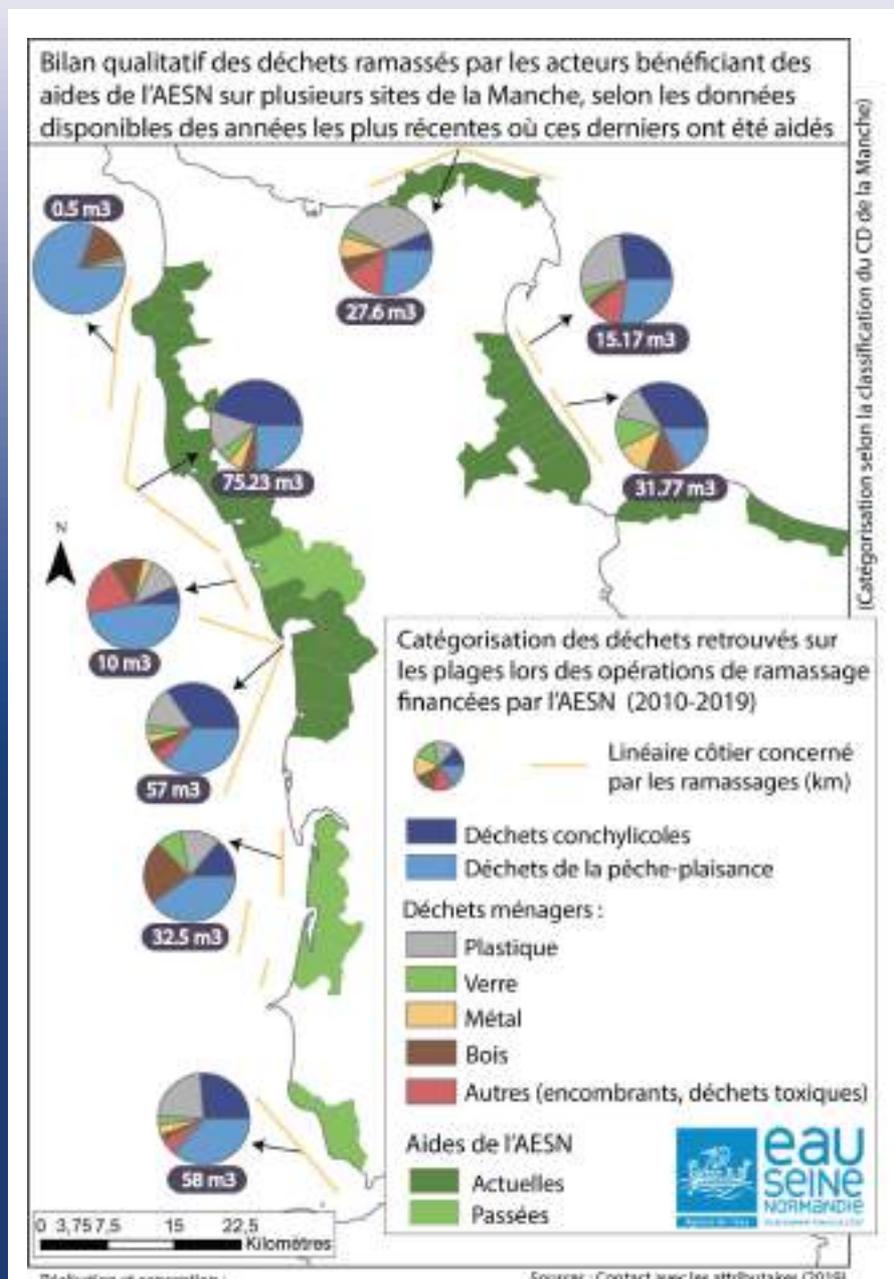
Si l'interception fluviale des déchets semble appelée à se renforcer et à se généraliser en France dans les années à venir, **le nettoyage des plages et des milieux littoraux** fait aussi l'objet depuis une quinzaine d'années d'une mobilisation volontariste, portée par de nombreux gestionnaires et acteurs de terrain. L'Agence de l'eau Seine Normandie accompagne par exemple depuis 1997 (VII^e programme) un ensemble d'interventions axées sur la préservation de la laisse de mer² et de sa biodiversité, qui inclut des opérations de collecte manuelle des déchets par des équipes formées et encadrées,

²La laisse de mer désigne à la fois l'espace découvert sur le littoral entre les marées hautes et les marées basses, mais aussi les divers débris, objets, algues, cadavres, coquillages, épaves qu'y déposent la houle et les courants de marée.

prenant en compte la sensibilité des milieux et des cycles naturels (E. Jestin, M. Rommel, AESN) : en moyenne annuelle, les financements alloués à ces opérations de collecte raisonnée pour la période 2010-2018 étaient de l'ordre de 232 k€ en Seine Maritime (en incluant les opérations en berges de Seine),

17 k€ dans le Calvados et 81 k€ dans la Manche. Les bilans quantitatifs de ces actions livrent également des éléments précieux sur la typologie des déchets retrouvés sur le littoral, dont les plastiques sont une part importante, mais variable selon les secteurs (Figure 14).

Figure 14. Bilan quantitatif des déchets ramassés par les acteurs bénéficiant des aides de l'AESN sur plusieurs sites de la Manche.





© Line Viera - OFB Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale.

Photo 11. Déchets anthropiques dans la laisse de mer, au niveau de l'estuaire de la Slack.

Parmi les acteurs engagés dans cette lutte contre les déchets en milieu littoral, **les Parcs naturels marins et les Aires marines protégées** sont en première ligne. Leur action, dont un aperçu a été proposé lors des Journées « Plastiques et environnement » (P. Poulaine, PNM mer d'Iroise, M. Dumontier, PNM golfe du Lion), allie l'acquisition de connaissances (suivis de macrodéchets sur les plages selon les protocoles Oskar et DCSMM, test du protocole Cedre pour le microplastique sur les plages...)

à des opérations variées de collecte de déchets et de sensibilisation, dont une série d'exemples ont été donnés. Ainsi en mer d'Iroise, des actions de collecte sous-marine ont permis de dépolluer sept sites d'accès difficile, d'où les plongeurs du Parc ont extrait depuis 2014 plus de 100 m³ de déchets. Dans le PNM du golfe du Lion, une cinquantaine de plongées ont été réalisées pour enlever quelques 2 000 m² de filets de pêche perdus, ainsi qu'une vingtaine de déchets volumineux.

Interception des microplastiques par les STEU : des performances mesurées

En parallèle de ces actions centrées sur les macrodéchets, un autre type d'interception est susceptible de minorer les flux de plastiques dans les bassins versants : elle s'opère dans les stations de traitement des eaux usées, qui retiennent selon les technologies une part plus ou moins importante **des microplastiques contenus dans les effluents domestiques**. Des éléments quantitatifs ont été apportés sur ce point (M. Delahaye, Suez).

L'analyse d'eaux usées domestiques confirme d'abord que celles-ci sont un vecteur considérable de microplastiques, constitués essentiellement des fibres textiles issues des effluents de machines à laver : un cycle de lavage produit en moyenne 730 000 fibres, ce qui correspond pour les STEU à une charge polluante comprise entre 150 000 et 200 000 fibres par équivalent habitant (EH) et par jour.

Dans le cadre du programme national FUI Microplastic, dont Suez était l'un des partenaires, une méthode d'échantillonnage et d'analyse des microplastiques dans l'eau usée a été développée. Elle a été mise en œuvre pour quantifier et comparer l'efficacité de trois filières de traitement des eaux usées, dans des STEU de tailles différentes (30 000 EH et 500 000 EH) :

- filière conventionnelle avec traitement primaire (dégrilleurs de 6 mm, désablage et dégraissage, décantation primaire, bassin biologique et clarification) ;
- traitement biologique sans primaire avec traitement tertiaire (dégrilleurs de 6 mm, désablage et dégraissage, bassin biologique et clarification, filtration tertiaire sur disque filtrant) ;
- traitement intensif/ biologie alternative avec traitement tertiaire (dégraissage et dégrillage fin, décantation lamellaire avec réactifs, biofiltration, filtre à sable.

Les résultats (Figure 15 page suivante), qui mettent en évidence des performances d'abattement des microplastiques comprises entre 80 % et 95 % selon les technologies utilisées, **confirment l'intérêt de la mise en place de traitements complémentaires** pour améliorer cette rétention. Le devenir des microplastiques ainsi « interceptés » reste cependant à préciser : en l'absence de dégradation ou d'incinération, ils n'auraient été soustraits au flux transmis au cours d'eau... que pour se retrouver relargués sur des sols, avec l'épandage des boues d'épuration. D'où l'importance d'une réduction complémentaire à la source des apports de plastiques. ■

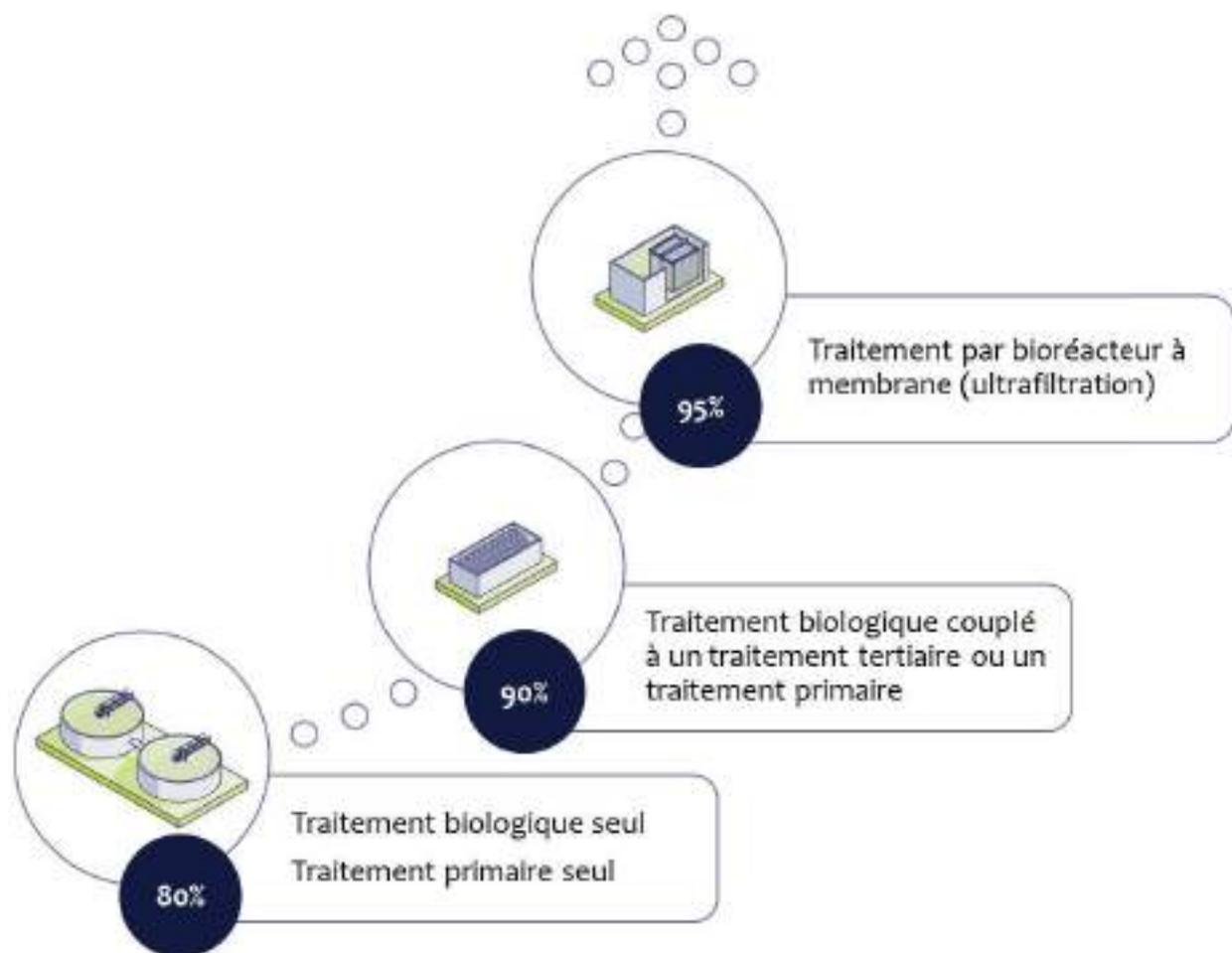


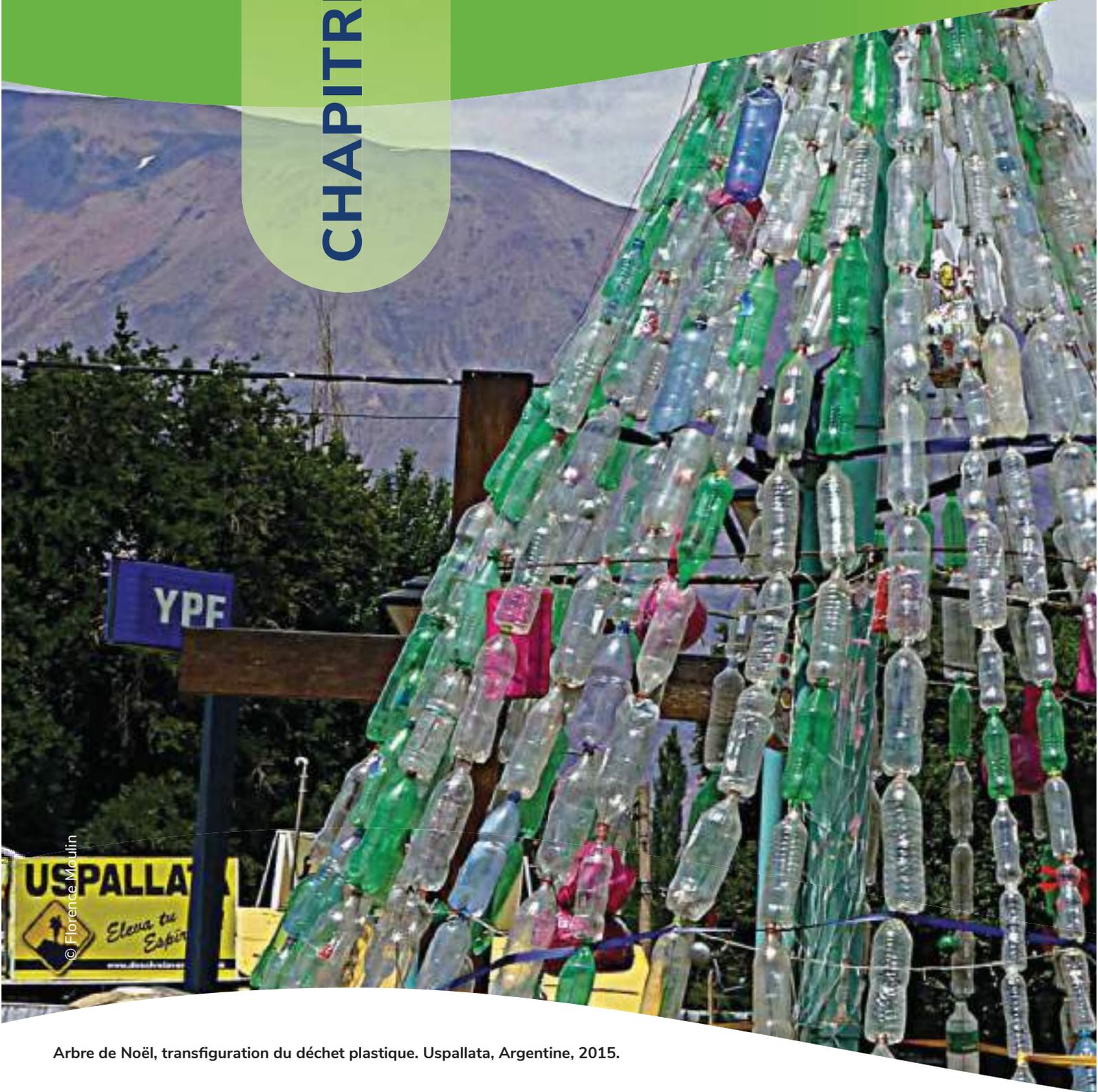
Figure 15. Rendements d'élimination des microplastiques en STEU (source : Suez).

Ce qu'il faut retenir

- **Les barrages flottants sont un levier majeur pour l'interception des macrodéchets fluviaux. À l'échelle de l'agglomération parisienne, les 25 barrages gérés par le SIAAP permettent par exemple d'extraire du fleuve 50 à 100 tonnes de plastiques chaque année. Des innovations techniques, à l'image du système River Whale, pourraient améliorer encore l'efficacité de ces dispositifs.**
- **Le ramassage manuel des déchets est aujourd'hui incontournable et efficace pour contenir la pollution plastique des cours d'eau, du littoral et des eaux côtières. De nombreuses campagnes, impliquant des équipes formées et encadrées, sont soutenues ou conduites depuis des années par des acteurs très divers du territoire : agences de l'eau, départements, collectivités locales, parcs naturels marins...**
- **Les microplastiques contenus dans les eaux usées domestiques (fibres textiles essentiellement) sont retenus au niveau des STEU, dans des proportions élevées mais variables (80 % à 95 %) selon les technologies utilisées.**

7

CHAPITRE



Arbre de Noël, transfiguration du déchet plastique. Uspallata, Argentine, 2015.

Réalité et limites du recyclage

Depuis l'adoption du principe pollueur-payeur par l'Union européenne, et surtout depuis 1992 et l'application par décret de la « responsabilité élargie des producteurs » (REP) à la collecte des emballages ménagers, le tri et le recyclage des déchets font en France l'objet d'efforts croissants des pouvoirs publics.

En deux décennies, des avancées considérables ont été réalisées en la matière, en agissant simultanément sur les quatre maillons de la chaîne du recyclage :

- les entreprises, incitées à concevoir des emballages et cartonnages moins complexes et plus faciles à recycler ;
- les citoyens, encouragés à adopter et généraliser le geste de tri ;
- les collectivités, en charge de l'organisation de la collecte et du tri, ainsi que de la sensibilisation des habitants ;
- les opérateurs qui assurent le recyclage et la valorisation de matériaux toujours plus nombreux, améliorent le fonctionnement des centres de tri (200 sur le territoire en 2016, ce chiffre devant être ramené à terme à 130) et développent des filières de recyclage ou de valorisation énergétique.



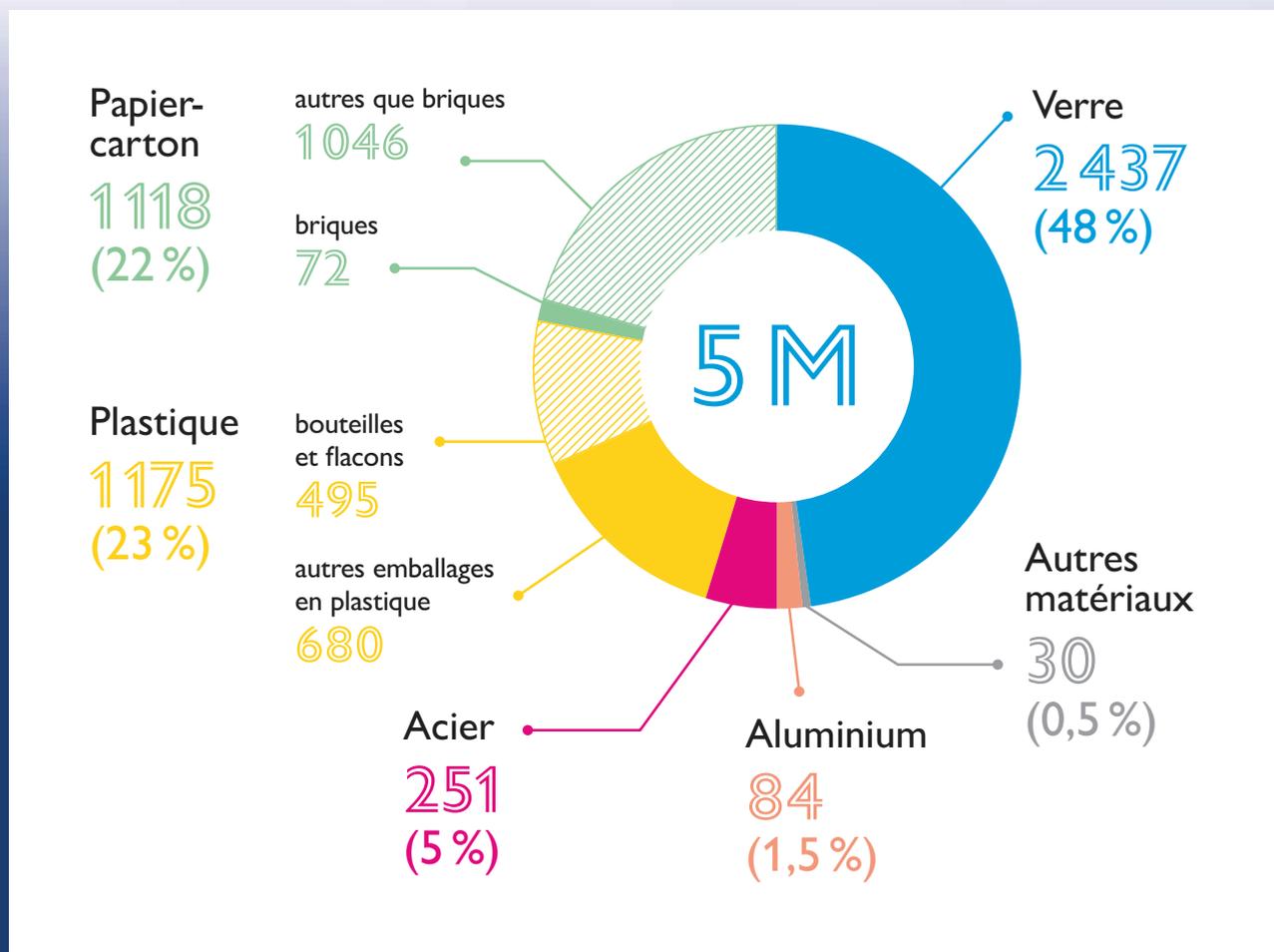
Cette évolution sociétale majeure est aujourd'hui coordonnée, au niveau national, par Citeo, société privée agréée par l'État, née en 2017 du rapprochement des entreprises Eco-emballages et Ecofolio, dont l'intervention (S. Nguyen Buu Cuong, Citeo) lors des tables rondes « Plastiques et environnement » a apporté quelques éléments chiffrés sur la situation actuelle de la filière.

Il en ressort d'abord que le « geste de tri » est désormais largement adopté par la population : 88 % des Français affirment trier leurs déchets, dont 48 % systématiquement. L'extension

des consignes de tri amorcée mi-2017 (tous les emballages devant désormais être déposés dans le bac de tri), concerne déjà 34 millions de personnes fin 2019 ; elle devrait être mise en œuvre sur l'ensemble du territoire métropolitain à l'horizon 2022. Au niveau national, c'est ainsi un « gisement » de 5 millions de tonnes d'emballages ménagers (chiffre 2018), dont 23 % sont des emballages plastiques (Figure 16)

Ces chiffres illustrent les progrès accomplis, au cours des 20 dernières années, pour réduire en France la part des déchets « mal gérés ».

Figure 16. Répartition, en milliers de tonnes, des emballages mis sur le marché en France en 2018 (source : Citeo).



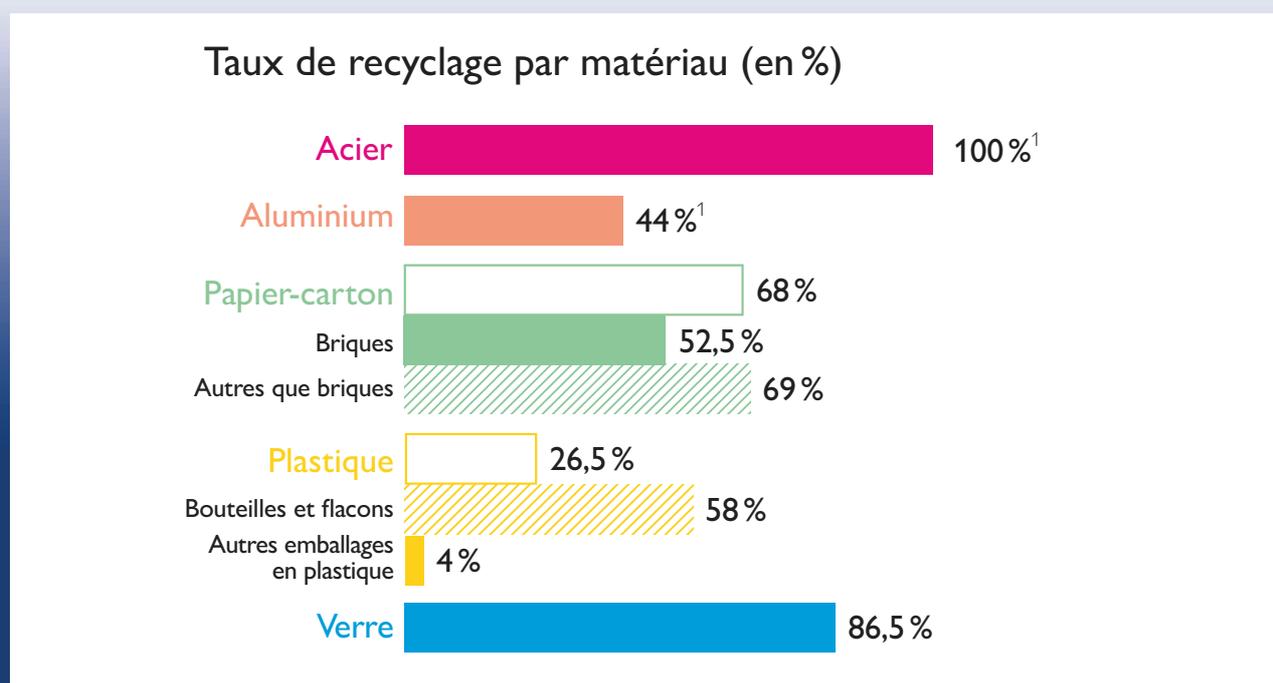
Des procédés industriels qui restent à développer

L'examen du devenir des emballages ainsi collectés vient cependant nuancer le constat. Si la possibilité de les recycler est souvent présentée comme un gage de consommation responsable et un levier majeur pour l'avènement d'une société « zéro déchet », les données présentées par Citeo montrent que ce recyclage reste aujourd'hui très partiel : en 2018 toujours, **le taux global de recyclage des plastiques en France n'est que 26,5 %**. Cette moyenne est tirée vers le haut par le segment des bouteilles et flacons plastiques, qui fait figure d'exemple avec un taux de recyclage de 58 %... mais cette proportion tombe à seulement 4 % pour l'ensemble des autres emballages

plastiques récupérés par la filière de tri des déchets, le reste étant valorisé pour la production d'énergie, enfoui ou incinéré. Par comparaison, les taux de recyclage sont de 100 % pour l'acier et de 86,5 % pour le verre (Figure 17).

Ces résultats mitigés, mis en discussion lors des tables rondes « Plastiques et environnement », s'expliquent d'abord par **la difficulté à développer des filières industrielles** économiquement viables pour le recyclage des plastiques, au regard de leurs faibles coûts de production. Objet de nombreux projets R&D, à l'image de celui mené par Citeo, Total, Saint-Gobain et Syndifrais pour créer une filière de recyclage du

Figure 17. Taux de recyclage par matériau des déchets collectés en France en 2018 (source : Citeo).



polystyrène en France à horizon 2020, cet enjeu se heurte à des freins multiples : coût du nettoyage des plastiques, réticence des distributeurs à accepter une baisse de la qualité perçue des emballages, complexité chimique des formulations actuelles et toxicité de certains additifs... L'exemple a aussi été donné de l'introduction d'un nouveau polymère dans la fabrication des bouteilles de PET opaque (bouteilles de lait) : cette innovation modifie défavorablement le comportement des résines lors du recyclage, conduisant Citeo à travailler avec les entreprises sur la mise au point d'un opacifiant mieux adapté.

De manière plus générale, les modèles pertinents se situent aujourd'hui non pas dans un recyclage strict des matières plastiques (comme c'est le cas pour le verre par exemple) mais dans

leur réutilisation pour d'autres applications, s'accommodant de propriétés dégradées. Le retour d'expérience du projet « Reseaclons » (Pauline Constantin, Seaquarium) est venu illustrer cette idée, tout en donnant l'exemple d'une initiative originale et fédératrice autour du recyclage. Celle-ci a organisé au Grau du Roi une vaste collecte de déchets plastiques marins mobilisant pêcheurs, citoyens et agents techniques communaux. La quantité de plastiques récupérés en un an (1,2 tonne) a été revalorisée par un procédé innovant de recyclage « tous plastiques » (à l'exclusion des pneumatiques et du plexiglas). De jolis pots obtenus de cette manière, baptisés Seacups et mis en vente à l'institut marin du Seaquarium, ont circulé lors des tables rondes : décoratifs, mais non destinés à un usage alimentaire !

Le « 100 % de plastiques recyclés » : ni possible, ni souhaitable

L'intervention du Sypred (Syndicat des professionnels du recyclage et des déchets) a par ailleurs remis en cause la pertinence même de l'objectif souvent évoqué de « 100 % de plastiques recyclés », estimant (N. Humez, Sypred) que de **nombreux produits contaminés**, contenant par exemple les retardateurs de flamme bromés déjà évoqués, n'avaient pas vocation à être recyclés, au regard des risques environnementaux et sanitaires que cela induirait. Selon une

analyse publiée en 2011 par MSCI ESG Research, (Figure 18) les plastiques constituent ainsi la deuxième famille de produits industriels contenant le plus grand nombre de substances susceptibles de devenir très préoccupantes (*substances of very high concern*) au sens de l'Agence européenne des produits chimiques, derrière les teintures et encres mais devant le secteur des biocides ou celui des réactifs pour l'industrie chimique. D'où l'importance d'une réflexion sur

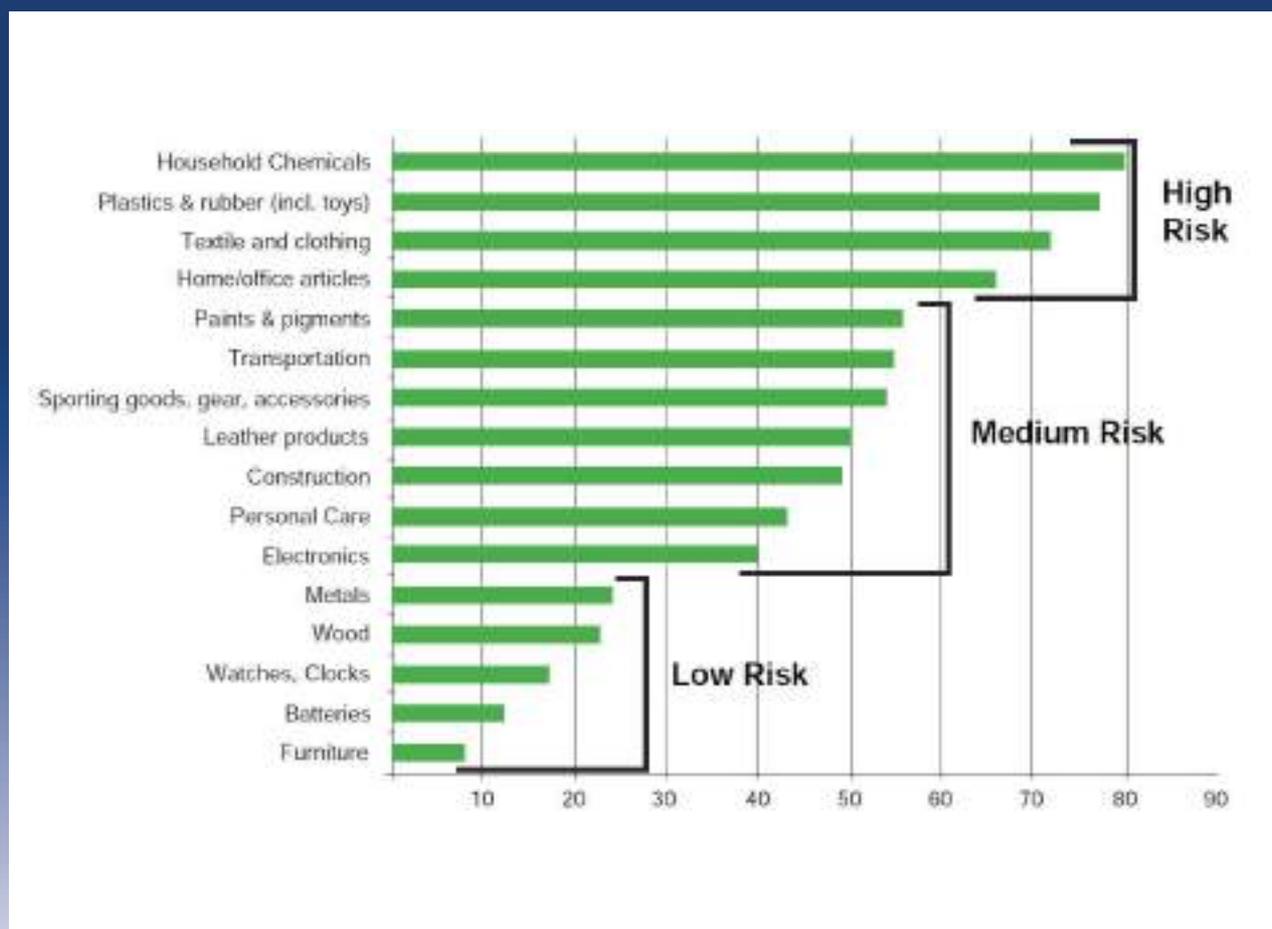


Figure 18. Nombre de substances hautement préoccupantes (SHVC) par catégories de produits (source : *Global Chemical Outlook, United Nations Environment Programme, 2012 ; d'après MSCI ESG Research, ChemSec's SIN List 2.0 [May 2011]*).

l'écoconception des plastiques, afin que tous leurs composants soient compatibles avec leur recyclabilité. Au-delà de l'aspect sanitaire, le Sypred rappelle enfin que la consommation mondiale de plastique enregistre depuis les années 1950 une croissance exponentielle, et que cette tendance semble appelée à se poursuivre au cours des prochaines décennies : le CEFIC prévoit ainsi un quasi-doublement de la production mondiale de plastique entre 2017 et 2030. Dans ce contexte de croissance accélérée, le recyclage du plastique, même dans

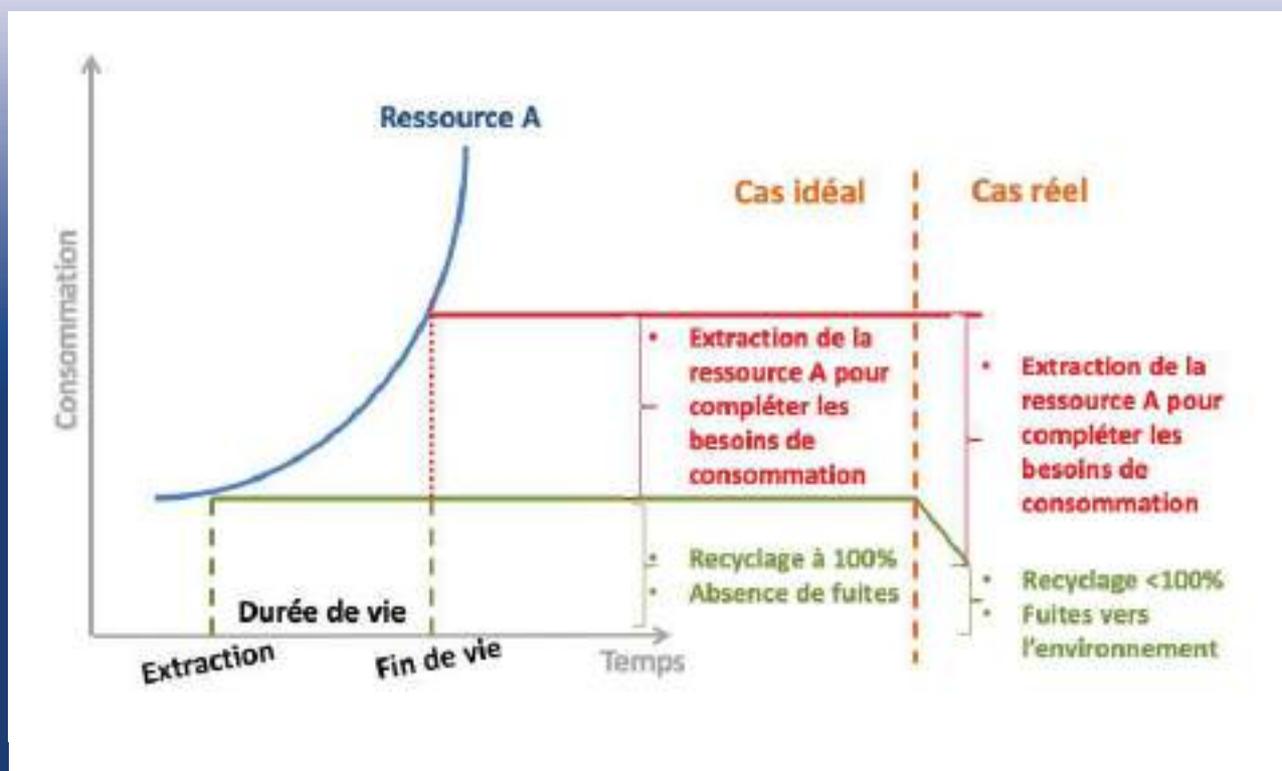
le cas idéal où celui-ci serait réalisé sur 100 % des produits en fin de vie, ne suffirait en aucun cas à instaurer une économie circulaire des matières plastiques (Figure 19).

Cette simple démonstration vient illustrer le constat, largement partagé lors des tables rondes « Plastiques et environnement » comme lors des rencontres du GDR, de l'impossibilité de résoudre la crise environnementale liée au plastique sans une **réduction drastique de la consommation** de ces matériaux. Dans cette perspective,

les efforts consentis pour augmenter la part de plastiques recyclés doivent bien sûr être poursuivis et étendus. Ils ne constituent cependant qu'un levier, concret mais limité dans son impact, pour réduire la consommation des ma-

tières premières : l'enjeu prioritaire pour les pouvoirs publics se situe, plus que jamais, dans l'évolution vers une société plus sobre, plus consciente et moins consommatrice de ressources. ■

Figure 19. Le recyclage, un impact limité sur la consommation de ressource dans un contexte de croissance exponentielle de la production (source : Sypred).



Ce qu'il faut retenir

- **D'importants progrès ont été réalisés en France, en seulement 20 ans, en matière de tri des déchets, aujourd'hui largement adopté par la population. Les filières de collecte ont capté, en 2018, cinq millions de tonnes de déchets dont 1,17 million de tonnes de plastiques.**
- **Le recyclage du plastique reste quant à lui très partiel : il est réalisé à 26,5 %, dont 58 % pour les bouteilles et flacons, et seulement 4 % pour les autres emballages plastiques.**
- **Les principaux freins au recyclage portent sur le développement de procédés industriels compétitifs et l'émergence de marchés d'application pour le plastique recyclé. La complexité chimique des plastiques et la présence dans leurs formulations de nombreuses substances préoccupantes limitent ces possibilités.**
- **L'objectif de « 100 % de plastiques recyclés » apparaît non pertinent au plan technique. Dans un contexte de consommation exponentielle des matières premières, il ne permettrait d'ailleurs pas d'établir une économie circulaire : l'enjeu prioritaire est bien d'évoluer vers une société plus sobre.**

8

CHAPITRE



© Source : European Bioplastics

Éléments botaniques LEGO™ fabriqués en Polyéthylène issu de canne à sucre.

Les « bioplastiques » en questions



Face à la crise environnementale provoquée par les matières plastiques, le développement de « bioplastiques », venant se substituer aux plastiques actuels pour certaines applications avec des impacts réduits sur les milieux naturels, est souvent présenté comme un levier d'avenir. De fait, certains de ces matériaux alternatifs connaissent déjà un déploiement significatif en France, à l'image du PLA (polymère obtenu à partir d'amidon) qui compose certains sacs plastiques utilisés aujourd'hui dans le commerce alimentaire.

Il a d'abord été rappelé lors des tables rondes « Plastiques et environnement » (M. George, Université de Montpellier) que ce terme de bioplastiques recouvre deux réalités différentes, quoique non exclusives l'une de l'autre. Un polymère peut être biosourcé, c'est-à-dire qu'il utilise pour sa synthèse des substrats carbonés d'origine totalement ou partiellement renouvelables (végétaux, déchets organiques...), par opposition aux polymères d'origine fossile (obtenus à partir des hydrocarbures, non renouvelables). Un polymère peut également être plus ou moins **biodégradable**, c'est-à-dire dégradé en milieu naturel sous l'action de bactéries (voir le chapitre 4). Parmi les matières plastiques disponibles sur le marché, certaines sont biosourcées et/ou bio-

dégradables, mais beaucoup ne sont ni l'une ni l'autre (Figure 20) : c'est le cas des plastiques industriels classiques (PE, PP, PS, PET, PVC), massivement produits et consommés à l'échelle mondiale.

Selon l'association professionnelle *European Bioplastics*, la production mondiale de bioplastiques (biosourcés

et/ou biodégradables), en croissance rapide, a atteint en 2018 un total de 2,11 millions de tonnes, ce qui représente **moins de 1 % de la production annuelle globale de plastique** (311 millions de tonnes, chiffre 2014). Le plastique biosourcé le plus produit est le bio-PET, non biodégradable, avec une production de l'ordre de 500 000 tonnes en 2018 (Figure 21).

Un développement à encourager... dans certaines limites

Objets d'un engouement croissant des politiques publiques et de la société civile, les bioplastiques ont fait la preuve

de leur intérêt pour certaines applications d'usage courant (sacs plastiques biodégradables, gobelets...). Souvent

Figure 20. Les biosourcés, les biodégradables, et les autres : rapide typologie des plastiques actuels (source : M. George, Université de Montpellier).



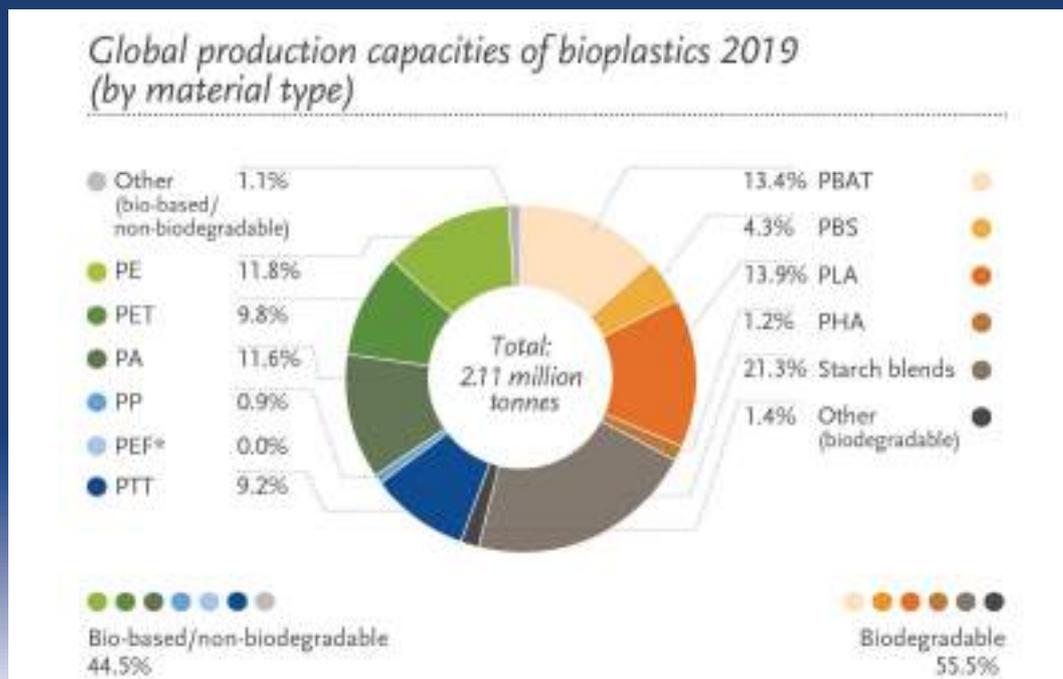


Figure 21. Capacités mondiales de production de bioplastiques en 2018 (source : European Bioplastics).

érigés en symboles d'une « consommation responsable », ils ne sont pas pour autant exempts de critiques. L'une des principales, largement signalée lors des tables rondes « Plastiques et environnement » porte sur l'analyse de cycle de vie des polymères biosourcés. Basée sur une matière première végétale (canne à sucre, maïs, betterave, coprah, ricin, pomme de terre...), leur production industrielle met en jeu **un modèle agrochimique très consommateur** d'eau mais aussi d'intrants (engrais, pesticides, eux-mêmes largement pétrosourcés). Par ailleurs leur développement à grande échelle, comme substitut aux plastiques conventionnels de consommation massive, impliquerait une tension difficilement soutenable pour **l'usage des terres**, avec une déforestation accrue et/ou une concurrence avec la production vivrière pour les

terres agricoles. Une telle perspective apparaît exclue, alors que l'accès à l'eau et à l'alimentation pour une population mondiale en croissance s'annonce comme un enjeu vital de ce XXI^e siècle.

Plus largement, l'essor des bioplastiques a été critiqué par certains intervenants des tables rondes comme favorisant **le maintien du paradigme de « l'usage de masse » et du « jetable »** dans la société. Si certaines applications apparaissent effectivement porteuses de progrès environnemental, et doivent donc être encouragées à ce titre, le véritable enjeu sociétal se situe désormais dans un changement de rapport à la consommation elle-même, impliquant en particulier une réduction volontariste de l'emballage (par l'achat de denrées en vrac par exemple) et des dispositifs à usage unique.

Les PHA, un cas d'étude

Les polymères de la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA) occupent une place à part dans la typologie des matières plastiques proposée ci-dessus.

Biosourcés et biodégradables, ces polymères ont la particularité d'être produits naturellement, sous forme de granules, au sein de cellules bactériennes soumises à un déséquilibre nutritionnel. Ils peuvent ainsi être synthétisés industriellement à partir de souches cultivées de bactéries marines et de déchets ou coproduits de l'industrie agroalimentaire. Ce procédé relativement complexe présente l'avantage sur les autres plastiques biosourcés de **ne pas mobiliser de surfaces agricoles** au détriment de la production alimentaire. Par ailleurs les PHA présentent des propriétés de biodégradabilité et de compostabilité très intéressantes (Figure 22), et des propriétés chimiques les rendant compatibles avec des applications alimentaires (comme revêtement pour des gobelets de carton par exemple), ce qui leur vaut d'être parfois considérés comme une alternative potentielle au polypropylène. Les différents PHA ne représentent pourtant qu'une infime proportion des bioplastiques commercialisés aujourd'hui, et la mise au point de procédés industriels compétitifs demeure du domaine de la R&D.

Lors des rencontres du GDR, une courte session « Polymères biodégradables » leur était pour l'essentiel consacrée, apportant quelques éléments récents. L'une des présentations (S. Bruzard, Université de Bretagne sud*) a exposé le développement, en cours, d'un pilote industriel pour **la production « à façon » de PHA** à partir de ressources locales, co-produits de l'industrie agro-alimentaire bretonne. Ces travaux ont notamment précisé, à différentes échelles et pour différents PHA, les relations entre structure chimique, morphologie, propriétés et biodégradabilité. La dégradation dans l'eau de mer du PHBHV (un type de PHA) a été caractérisée. Celle-ci apparaît très rapide : en 180 jours, l'épaisseur d'un film de 200 μm se réduit par exemple à 80 μm . Deux autres contributions (V. Langlois, ICMPE* ; M. Le Gal, LM2E*) ont apporté des éléments sur **la cinétique de dégradation** de différents types de PHA dans l'eau de mer ou en compost (selon la composition, la cristallinité, les additifs et l'état de surface des PHA testés) ; ainsi que des données de R&D pour la production de PHA « fonctionnalisable », permettant de moduler les propriétés du polymère pour élargir son champ d'application. ■

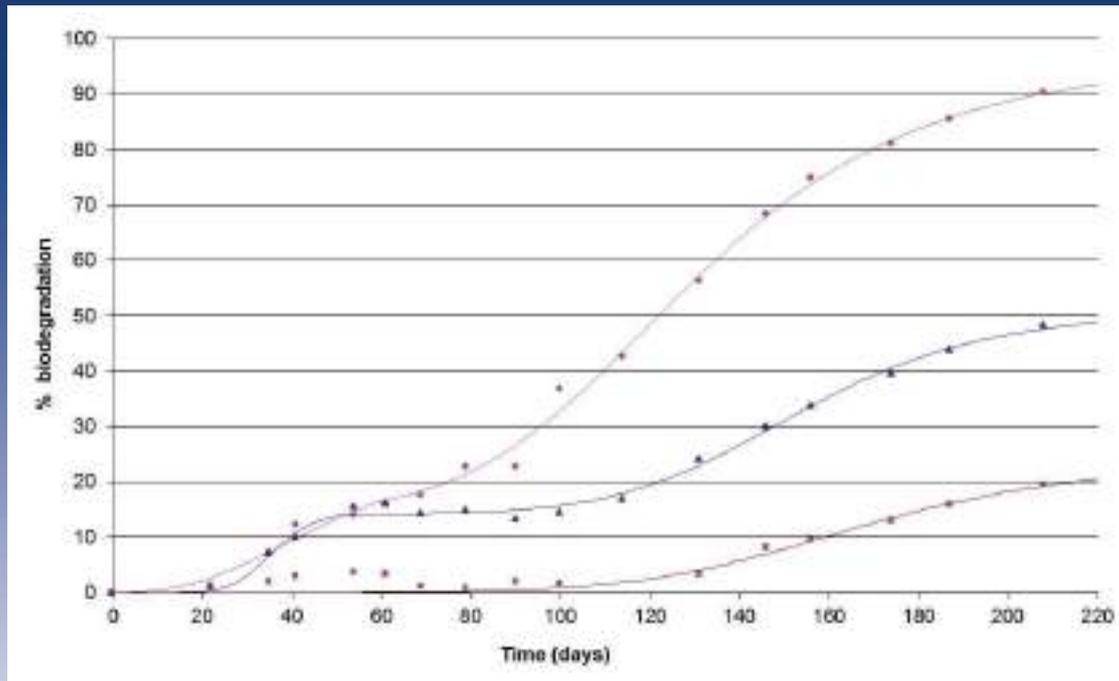


Figure 22. Cinétiques comparées de dégradation dans l'eau de mer du PHBHV (un type de PHA), de la cellulose et du PLA (source : M. Deroiné et al., J. Polym. Env. 2015).

Ce qu'il faut retenir

- Les « bioplastiques », matières plastiques biosourcées et/ou biodégradables, dont la production est en croissance rapide, représentent encore moins de 1 % de la production annuelle globale de plastique.
- S'ils représentent des alternatives intéressantes aux plastiques conventionnels pour certaines applications, leur empreinte environnementale est loin d'être négligeable : la production de matières premières végétales qu'ils impliquent repose souvent sur un modèle agro-chimique consommateur de terres et d'eau, ainsi que d'intrants.
- Le PHA, polymère produit naturellement par différentes bactéries, présente une moindre empreinte environnementale et des propriétés remarquables de biodégradabilité. Ses utilisations industrielles sont aujourd'hui anecdotiques, mais des avancées sont réalisées en R&D pour développer des procédés de production et élargir son champ d'application.

CHAPITRE 6

© Pierre-François Staub – OFB

Nudge dissuasif de la Mairie de Paris, Bassin de la Villette, 2019.

Prévention et sensibilisation

Dispositifs d'interception fluviale, amélioration des performances des STEU, filières de collecte et de recyclage, développement de « bio-plastiques »... Les pages qui précèdent ont abordé différents leviers mobilisables par les institutions pour réduire la dissémination des plastiques dans l'environnement. En parallèle de ces réponses techniques, la prise de conscience croissante de la population sur cette problématique se traduit, depuis plusieurs années, par un véritable foisonnement de réalisations et d'initiatives visant à prévenir la pollution plastique à l'échelle du consommateur, et à sensibiliser le citoyen sur sa capacité d'action individuelle.

Les différentes tables rondes des journées Plastiques et environnement ont donné un aperçu de la pluralité de ces opérations, qu'elles relèvent de l'action militante et/ou qu'elles soient soutenues par les acteurs publics, aux différents niveaux de la gestion territoriale. La sensibilisation des consommateurs, des riverains et des collectivités, ainsi que l'encadrement des usages, font notamment partie des objectifs stratégiques identifiés par les Sdage (schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux) des six agences de l'eau. Ces objectifs se traduisent par des réalisations très concrètes, impliquant les acteurs de la gestion de l'environnement sur le territoire. Les Parcs

naturels marins, dont l'action pour l'acquisition de connaissances et le ramassage des déchets a été évoquée plus haut (voir chapitre 6), mènent également un large éventail d'actions de sensibilisation : à destination des professionnels (état des lieux des pratiques conchylicoles ou suivi des dé-

chets débarqués par les pêcheurs dans l'estuaire de la Gironde), des scolaires (ramassage de déchets sur les plages du golfe du Lion), ou du grand public avec par exemple la mise en place de « bacs à marée » dans 11 communes littorales de la mer d'Iroise.

Mobilisations citoyennes : tous acteurs de la dépollution

Un premier retour d'expérience du programme partenarial Trait bleu (F. Faurre, TEO), lancé en 2018 en Charente-Maritime, a mis en évidence l'intérêt de ces « **bacs à marée** » comme outil de sensibilisation et de lutte contre la pollution. Ce dispositif repose sur des bacs en bois (3 m³) connectés, dans lesquels les promeneurs et riverains du littoral sont invités à déposer les déchets qu'ils ramassent sur la laisse de mer : pour la première année d'expérimentation du programme, 38 d'entre eux ont été déployés dans 15 communes. La maintenance et la relève des bacs sont assurées par la Scoop TEO pour le compte des communes, avec le soutien notamment de l'OFB et de la région Nouvelle-Aquitaine. L'objectif est triple : diminuer l'impact des macrodéchets sur le milieu marin, favoriser la sensibilisation et la participation citoyenne, et utiliser les bacs comme un indicateur quantitatif et qualitatif de l'état écologique du littoral et de l'effet des mesures de prévention. Le premier bilan est très positif : le dispositif a permis l'organisation de cinq chantiers d'insertion et a déjà bé-

néficié de la participation de centaines de citoyens. Au cours des six premiers mois, il a permis de collecter 8,6 tonnes de macrodéchets (Figure 23), en grande majorité plastiques, destinés à une valorisation énergétique. L'expérience a vocation à être étendue, en Charente-Maritime et au-delà, avec un objectif de 200 bacs à marée sur le littoral atlantique dès 2020, et un nouveau message fort à destination des citoyens : « Collecter des plastiques sur les littoraux, c'est dépolluer deux fois ! », en référence au fait que les débris plastiques, avant d'être ingérés par les organismes aquatiques, concentrent par surcroît à leur surface d'autres polluants par ailleurs présents dans l'eau. Des simplifications du protocole de collecte et de gestion des déchets sont également attendues, pour le rendre plus rapide et en faire baisser le coût (aujourd'hui de l'ordre de 1 150 €/tonne pour les collectivités).

Ailleurs sur le territoire, de nombreux citoyens investissent bénévolement du temps et de l'énergie, individuellement ou au sein de collectifs plus ou moins struc-

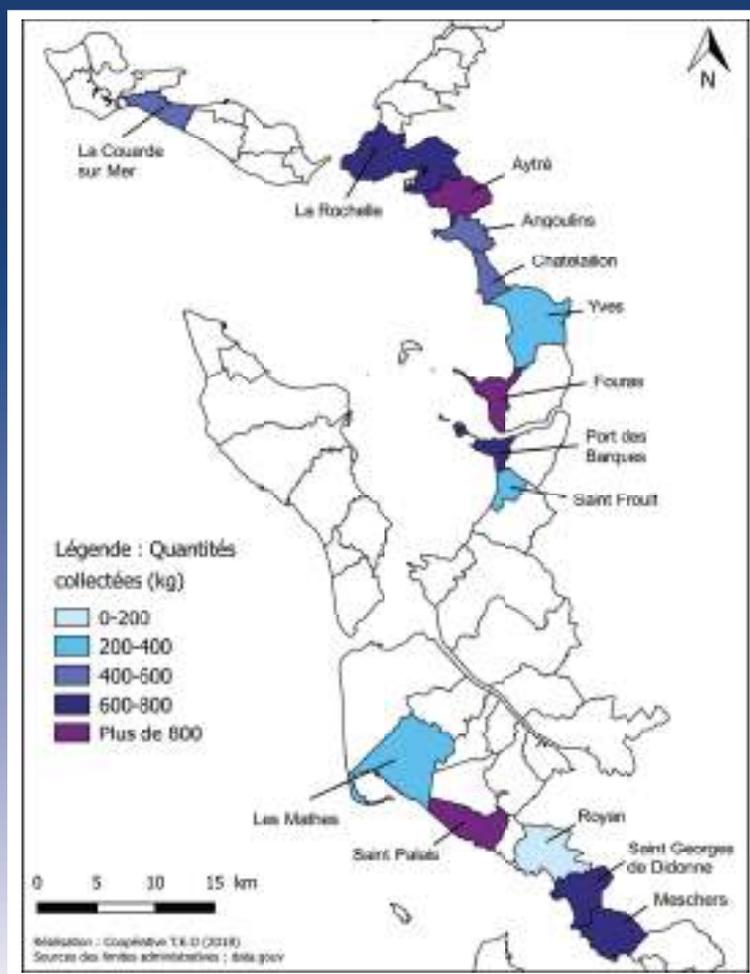


Figure 23. Quantités de macrodéchets collectées dans les « bacs à marées » au cours des six premiers mois du programme Trait bleu, dans les dix communes participantes du littoral charentais.

turés, dans le ramassage de déchets. Basée à Marseille, l'association TerreMer s'emploie à coordonner l'action des différents types d'acteurs (citoyens, associatifs, pouvoirs publics), avec pour objectif principal la réduction des déchets sauvages qui aboutissent en mer. Elle mène des actions de ramassage des déchets, de sensibilisation et d'éducation populaire, tout en cherchant à apporter des connaissances sur les quantités et l'origine des déchets à travers un programme de sciences participatives visant à systématiser la caractérisation des déchets collectés via la plate-

forme ReMed Zéro Plastiques.

Active depuis 20 ans, l'ONG Zero Waste œuvre quant à elle à la sensibilisation des consommateurs sur la problématique plus large du gaspillage des ressources, tout en interpellant les pouvoirs publics pour obtenir des mesures réglementaires concrètes. Intervenant lors des journées « Plastiques et environnement » (Laura Chatel, Zero Waste France), l'organisation a appelé à une réelle application par les pouvoirs publics de la hiérarchie des modes de traitement des déchets plastiques :

- 1- la **réduction des déchets émis**, en particulier par l'élimination des usages relevant du « jetable » ;
- 2- le recyclage ;
- 3- la valorisation énergétique ;
- 4- et en dernier recours, le stockage.

Ces positions trouvent aujourd'hui un écho croissant, dans les assemblées délibérantes comme au sein des collectivités territoriales, confrontées sur le terrain à l'ampleur des problèmes posés par la pollution plastique.

En milieu urbain, où se concentrent les émissions de plastiques « mal gérés », qui peuvent transiter directement de la surface aux égouts ou au milieu récepteur, la signalétique constitue l'un des leviers susceptibles de susciter une prise de conscience des habitants (voir la photo page 86).

Le témoignage de l'exploitant du réseau d'assainissement de l'agglomération marseillaise (D. Laplace, Seram Métropole) a livré quelques pistes concrètes dans cette perspective, comme la mise en place de « nudges » pour visibiliser les avaloirs de caniveaux en y apposant le message « ici commence la plage ». Ceux-ci sont également dotés de barreaux empêchant le passage des macrodéchets, ainsi que de capteurs mesurant leur remplissage, pour permettre une intervention des services avant que ceux-ci ne soient colmatés, empêchant alors l'écoulement. La Seram teste également l'installation de filets retenant les déchets à la sortie des exutoires de crue (voir la photo introductive du chapitre 6) : ce dispositif permettrait un recueil de données utiles à la gestion du flux de déchet, notamment par l'identification des « avaloirs à problèmes ».



Photo 12. Ancienne décharge en érosion. Parc naturel régional du Vézain Français – 2018.

Décharges sauvages : sanctionner le mauvais geste

En contrepoint à ces initiatives, qui misent d'abord sur la sensibilisation et la pédagogie, l'action de police et la sanction demeurent dans certains cas des leviers nécessaires pour faire évoluer les comportements. Ainsi la ville de Paris, après avoir distribué gratuitement des milliers de cendriers de poche, sanctionne-t-elle depuis octobre 2015 tout fumeur surpris à jeter son mégot dans la rue d'une amende forfaitaire de 68 euros. Le cas des **décharges sauvages**, points d'entrée majeurs des déchets plastiques dans les bassins versants continentaux, a fait l'objet d'un éclairage juridique et pénal au cours des tables rondes (D. Mazabrad, association Amorce).

Le dispositif français distingue en la matière trois types d'infraction relevant de notions assez proches : « dépôt contraire au règlement de collecte » (dépôt localisé à un endroit prévu à cet effet, mais ne respectant pas le règlement de collecte) ; « dépôt sauvage » (abandon ponctuel d'un ou plusieurs objets ou produits, par des particuliers ou entreprises) ; et la « décharge illégale », ou « décharge brute » (apports réguliers ou conséquents de déchets sans autorisation). Ces infractions sur 2 colonnes sont passibles de différentes sanctions, en application du code pénal, du code de l'environnement ou du code de la santé (Tableau 2).

Tableau 2. Dépôts et décharges sauvages : les sanctions applicables en droit français (source : association Amorce)

Infractions	Sanctions	Textes
Dépôts en lieu public ou privé, à l'exception des emplacements prévus à cet effet, de déchets	Amende forfaitaire (68 euros) ou Contravention de 3 ^e classe (max 450 euros)	R. 633-6 code pénal
Dépôts en lieu public ou privé, à l'exception des emplacements prévus à cet effet, de déchets à l'aide d'un véhicule	Pas d'amende forfaitaire / Contravention de 5 ^e classe et confiscation du véhicule (1 500 euros ou 7 500 pour une personne morale)	R. 635-8 code pénal R. 541-77 ce
Dépôts dans des conditions contraires au code de l'environnement si le producteur ou le détenteur n'est pas un ménage	2 ans de prison et / ou 75 000 euros d'amende	L. 541-3 ce L. 541-46 ce
Brûlage de déchets ménagers – non respect du RSD	Amende forfaitaire (68 euros) ou Contravention de 3 ^e classe (max 450 euros)	L. 1311-2 code santé publique
Dépôt qui entrave ou diminue la liberté ou la sûreté sur la voie publique	Contravention de 4 ^e classe et confiscation du véhicule (max 750 euros)	R. 644-2 code pénal
Dépôt portant occupation non autorisée du domaine public routier	Contravention de 5 ^e classe (1 500 euros ou 7 500 pour une personne morale)	R. 166-2 code de la voirie routière

Malgré cet arsenal étendu, et la sévérité des sanctions prévues dans les cas graves, le dispositif pâtit cependant de difficultés de mise en œuvre qui minorent son potentiel de dissuasion. Les trois types d'infraction relèvent de trois autorités différentes, lesquelles peuvent se renvoyer la responsabilité de l'action : maire de la commune dans le cas des dépôts sauvages, préfet dans le cas des décharges illégales, et président de l'EPCI (Établissement public de coopération intercommunale) pour les dépôts contraires au règlement de collecte. Selon les contextes, il peut aussi s'avérer délicat pour un élu local

de sanctionner un administré. Dans tous les cas, la charge de la preuve constitue une difficulté de taille, le flagrant délit demeurant souvent la seule option pour les autorités car permettant de faire constater précisément le lieu, la date, l'identité des fautifs et les faits reprochés – idéalement photos à l'appui. L'association Amorce recommande, pour améliorer l'efficacité des actions, de préférer les procédures administratives aux procédures pénales ; plus largement elle appelle à une simplification de certaines procédures pour une mise en pratique plus rapide et efficace. ■

Ce qu'il faut retenir

- **La sensibilisation des citoyens à la problématique environnementale du plastique fait l'objet depuis plusieurs années de nombreuses initiatives de la part d'acteurs très variés : agences de l'eau, parcs naturels marins, collectivités territoriales, associations.**
- **Les actions bénévoles de dépollution et de ramassage de déchets plastiques se multiplient sur le territoire, en particulier sur les littoraux, émanant d'individus, de collectifs locaux ou de programmes structurés, à l'image des « bacs à marée » déployés sur les plages de la mer d'Iroise ou de Charente-Maritime.**
- **Dans les territoires urbains, un éventail de solutions (« nudges » et autres dispositifs de signalisation, adaptations des avaloirs et mise en place de filets en sortie des déversoirs d'orage...) peuvent être déployées pour contribuer à la sensibilisation des populations et réduire le flux polluant.**
- **Pour lutter contre les dépôts sauvages et décharges illégales, l'arsenal juridique français est complet et prévoit des sanctions dissuasives ; il pâtit cependant de la complexité des procédures, qui limite à ce jour ses possibilités d'application.**

10

CHAPITRE



© Greg Lecoeur – OFB

Ramassage des pneus par un scaphandrier.
Site Natura 2000 de la baie et du cap d'Antibes et des îles de Lérins, 2015.

Sortir de la société du déchet

Les quatre chapitres qui précèdent ont rendu compte de l'étendue des approches actuelles et des pistes d'action, mises en discussion lors des tables rondes « Plastiques et environnement », pour minorer les impacts environnementaux et sanitaires de la dissémination mondiale des matières plastiques.

Des moyens considérables sont aujourd'hui engagés pour intercepter le flux polluant, à la fois dans les STEU, au cours de leur transit dans les bassins versants ou sur le littoral. De réelles avancées politiques et industrielles ont été réalisées, et le seront plus encore demain, pour améliorer la collecte des déchets et la proportion de plastiques recyclés, ou pour promouvoir le développement de plastiques biosourcés et/ou biodégradables dans un nombre croissant d'applications. Une prise de conscience sans précédent s'opère, notamment en Europe, en lien avec des politiques publiques volontaristes, vers des comportements individuellement et collectivement plus responsables : de la généralisation du tri à la multiplication des initiatives de ramassage citoyen des déchets, du renforcement des sanctions visant les mauvais gestes à l'essor des sciences participatives.

Composantes nécessaires de la réponse de nos sociétés à cette problématique planétaire, ces **approches relevant principalement du curatif** doivent être saluées comme telles. Elles ne sauraient cependant suffire au regard de la situation : alors que les projections des acteurs économiques annoncent le maintien d'une croissance exponentielle de la production globale de plastiques dans les décennies à venir, les connaissances scientifiques actuelles, bien qu'encore lacunaires, font état d'une pollution généralisée des sols, des eaux et des organismes par les polymères et les substances chimiques

associées, augurant d'impacts multiples et potentiellement dévastateurs pour la biodiversité et la santé humaine. Face à de tels enjeux, au-delà des efforts curatifs, le véritable défi se situe désormais dans l'engagement d'un changement profond des modes de production et de consommation des matières plastiques. « Lorsque la baignoire déborde, l'urgence n'est pas d'éponger le sol mais de fermer le robinet » : la comparaison, formulée par l'un des orateurs des journées « Plastiques et environnement », traduisait une idée largement partagée par les participants.

Les sciences sociales contre la « fatalité du plastique »

Intervenant lors de la dernière session des Rencontres du GDR, le sociologue Baptiste Monsaingeon a ouvert la réflexion sur les conditions de réalisation d'une telle évolution, interrogeant le rapport de l'humain à ses « restes ». Après quelques exemples emblématiques sur la place du déchet dans les sociétés humaines – la butte Montmartre, à Paris, ou le Monte Testaccio de Rome, constitués au fil des ans par l'accumulation des déchets des habitants – l'exposé convoquait différents penseurs sur la question, d'Italo Calvino (« On est ce qu'on ne jette pas ») à Roland Barthes (*Le Plastique*, 1937), de Marcel Mauss (« En fouillant un tas d'ordures, on peut reconstituer toute la vie d'une société ») à l'urbaniste et prospectiviste Sabine Barles. Si le fait

de produire des déchets peut apparaître comme un « invariant anthropologique », Baptiste Monsaingeon souligne le caractère trompeur de cette assertion dans la situation présente, marquée par une dissémination sans précédent de déchets toxiques à longue durée de vie, après des décennies d'incitation à la consommation jetable. Il appelle ainsi à une critique des processus économiques et politiques qui ont mené à cette crise – jusqu'aux concepts de développement durable ou d'économie circulaire qui n'en seraient que les dernières mises à jour, autorisant un **maintien du paradigme de la production massive d'objets et de déchets** dans des sociétés basées sur la croissance. Un autre éclairage issu des sciences sociales est venu prolonger ce propos

Approche en modélisation : les meilleures stratégies combinent curatif ET préventif

Les idées évoquées ci-dessus s'inscrivent dans une critique de la croyance selon laquelle les solutions technologiques, la mise au point de plastiques « propres » ou l'avènement du « 100 % recyclé », seraient le levier prépondérant pour résoudre la crise présente.

C'est également ce que suggèrent, cette fois sous l'angle de la modélisation quantitative, les premiers résultats d'un projet de recherche présenté lors du GDR (Matteo Cordier, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines*) sous un titre provocateur : « À quel rythme faut-il développer les technologies pour préserver les océans des plastiques ? ». Cette approche originale, faisant le constat d'une corrélation étroite entre le PIB (produit intérieur brut) mondial et le stock de plastiques accumulés dans l'océan, cherche à **identifier comment les socio-écosystèmes pourraient être modifiés pour réduire la contamination** plastique des océans et parvenir à découpler le PIB mondial de celle-ci. La méthode repose sur un modèle dynamique de systèmes, construit sur les bases de données de Jambeck et al. (2015) et Geyer et al. (2017), pour simuler les effets dans le temps de 22 solutions identifiées sur le problème des plastiques. Ces solutions, d'ordres très divers, peuvent relever du préventif (inciter les ménages à réduire leur consommation, inciter les industries à développer des substituts au

plastique, mettre en place une consigne sur les bouteilles de plastique...) ou du curatif (multiplier les opérations de ramassage sur les plages, les barrages flottants sur les fleuves, etc.). L'étude, qui cherche également à préciser la faisabilité économique des différentes mesures, doit se poursuivre sur plusieurs années. Mais les résultats préliminaires livrent un premier enseignement : parmi les différents scénarios testés à ce stade, les plus efficaces sont ceux qui relèvent de stratégies combinées et diversifiées, associant mesures préventives et mesures curatives.

Comme le soulignent les auteurs, ce travail tend à confirmer qu'aucune inflexion véritable de la pollution environnementale par les plastiques ne sera réalisée sans un changement du système à l'amont, c'est-à-dire sans une **réduction des quantités de plastique produites à l'échelle globale**. Il plaide notamment pour une application ambitieuse des principes de Responsabilité étendue du producteur et de Responsabilité environnementale partagée (Cordier et al., 2018).

Du militantisme aux politiques publiques

Au-delà des efforts curatifs, au-delà des leviers techniques, c'est donc bien à une sortie de la « société du déchet » que doivent aujourd'hui s'atteler les politiques publiques comme les consommateurs. Ce diagnostic, largement partagé par les différents participants à l'issue du GDR et des journées « Plastiques et environnement » (chercheurs, gestionnaires de l'environnement, acteurs du territoire et des collectivités locales, associatifs...) est également posé par une part croissante de l'opinion publique, aiguillonnée par une minorité motrice de la population. À l'instar de l'ONG Zero Waste déjà évoquée, divers collectifs militent pour dénoncer les impasses des modes de consommation actuels et susciter la prise de conscience. Depuis plusieurs années, les activistes de Plastic Attack multiplient les opérations spectaculaires dans les supermarchés : ses membres remplissent leurs caddies, passent en caisse puis transfèrent les produits dans des contenants réutilisables (bocaux, sacs en papier...), laissant devant le magasin un tas d'emballages plastiques inutiles. L'objectif (F. Visnera, Plastic Attack France), en rendant ainsi visible le déchet, est d'agir sur le grand public pour avoir un impact sur les distributeurs – le collectif développe d'ailleurs un partenariat informel avec le groupe Carrefour, où il teste un programme « Ramène ton contenant ». Les perspectives d'évolution concrètes existent et sont connues ; certaines relèveraient de mesures « sans regret », réalisables à brève échéance. Un axe de progrès majeur concerne le suremballage

de la plupart des articles de consommation courante (alimentaire, cosmétiques, jouets, sports et loisirs, etc.). Un autre porte sur l'abandon de tous les objets plastiques à usage unique, dont la liste est longue : cotons-tiges, bâtons de sucettes, pailles, gobelets et couverts, touillettes, pots de yaourts... À moyen terme, **la substitution** de l'ensemble des contenants plastiques d'usage courant (bouteilles, bidons, boîtes) par d'autres matériaux (verre, carton...) ou la **généralisation de leur réutilisation** (impliquant notamment une standardisation de leurs formes et de leurs volumes) apparaissent également des ambitions réalistes. Dans cette optique, la **mise en place d'un système de consigne** pour la réutilisation des bouteilles plastiques (de lait, d'eau minérale ou de soda) est l'une des options à l'étude. De même l'essor des **commerces proposant les denrées en vrac**, aujourd'hui très minoritaires, doit être encouragé.

Ces avancées, agissant à la source sur certaines des applications du plastique les plus génératrices de déchets, seront favorisées par une évolution de la demande induite par la prise de conscience citoyenne. Mais face à l'opposition de puissants intérêts économiques, une action volontariste des politiques publiques reste une condition décisive pour réaliser le changement. Les précédents montrent que des **décisions fortes peuvent produire rapidement des effets** significatifs : l'Agence de l'eau Seine Normandie rapporte ainsi que l'interdiction de la distribution

de sacs plastiques gratuits en caisses, effective en France depuis le 1^{er} juillet 2016 dans le cadre de la loi de transition énergétique pour la croissance verte, s'est traduite en seulement deux ans par une réduction de 30 % du nombre de sacs plastiques dans les eaux de la Manche. Les conditions de mise en œuvre de telles politiques doivent ce-

pendant permettre de leur assurer une réelle efficacité : ainsi l'interdiction des gobelets plastiques jetables décidée en France en 2015 a-t-elle vu sa portée réduite par son décret d'application, qui intègre pour l'heure de nombreuses exceptions.

Les politiques publiques nationales : des avancées récentes

De fait, la mobilisation des pouvoirs publics s'est accélérée en France au cours des dernières années. Plusieurs dispositifs de politique publique s'articulent aujourd'hui pour définir et encadrer des actions de lutttes contre les déchets plastiques.

Le **Plan biodiversité** édicté en 2018 a ainsi fixé un objectif ambitieux de zéro plastique rejeté en mer d'ici 2025. Les axes promus à cet égard sont les suivants :

- la suppression de produits en plastique à usage unique ;
- le recyclage et les mesures de substitution aux plastiques ;
- l'expérimentation de la consigne ;
- la lutte contre les dépôts sauvages ;
- la récupération des macrodéchets et des particules de plastique avant qu'ils n'arrivent en mer ;
- l'amélioration de la filière de collecte et de valorisation des filets de pêche usagés.

Certains de ces axes ont été repris récemment dans le cadre de la nouvelle **loi anti-gaspillage et économie circulaire**, qui les complète en instaurant des dispositions en matière de responsabilité étendue du producteur pour certains produits (ex. textiles sanitaires, déchets du bâtiment), vers un objectif de couverture par les producteurs des coûts de nettoyage des déchets abandonnés. Cette loi inscrit également l'objectif d'interdiction progressive d'ici 2027 de produits contenant des microplastiques primaires : tous les cosmétiques, détergents et produits d'entretien, fertilisants, phytopharmaceutiques et biocides, dispositifs médicaux.

Ces évolutions réglementaires nationales se font en cohérence avec la **stratégie plastique dans une économie circulaire** présentée début 2018 par la Commission européenne, orientée notamment sur la réutilisation et le recyclage des matières (100 % des emballages recyclables en 2030), ou sur l'interdiction de certains produits

à usage unique. Une directive sur les plastiques à usage unique a d'ailleurs été adoptée en juin 2019.

La feuille de route du ministère de la Transition écologique et solidaire : zéro déchet plastique en mer en 2025

complète ces aspects avec des actions intéressant les mesures du 2nd cycle de la DCSMM pour 2022-2027, en particulier :

- la sensibilisation des citoyens ;
- la pêche aux déchets en mer ;
- la mise en place par les collectivités littorales d'une charte zéro plastique plages ;
- la prévention de la perte des granulés plastiques industriels ;
- la mise en œuvre de la démarche environnementale européenne ports propres.

À noter pour finir que la France coopère activement au sein des conventions marines internationales Oskar (Atlantique Nord) et de Barcelone (Méditerranée) qui ont déjà engagé de nombreuses actions d'évaluation et de réduction des pollutions plastiques, qu'elles soient d'origines terrestres ou maritimes.

Ainsi une véritable mise en mouvement politique semble-t-elle enfin s'engager, en France et en Europe, alors que l'ampleur des enjeux apparaît désormais au grand jour. Comme le montrent les éléments listés ci-avant, la prise de conscience se traduit en France par une accélération de la décision, particulièrement depuis 2018. Quelques mois après les journées « Plastiques et environnement », le débat national s'est ainsi cristallisé autour de l'un des amendements



© Laurent Colasse - SOS Mal de Seine

Photo 14. Fuite de granulés plastiques industriels. Plateforme logistique de matière plastique – 2013

du projet de loi sur l'économie circulaire. Le 9 décembre 2019, l'Assemblée nationale a voté en faveur d'un texte prévoyant **l'interdiction progressive de tous les emballages plastiques à usage unique, au moyen d'objectifs réajustés régulièrement, jusqu'à une élimination totale à l'horizon 2040.**

De nombreuses voix se sont élevées pour saluer cet objectif tout en déplorant la date retenue, qui revient à laisser des pratiques non soutenables et destructrices perdurer pour 20 années supplémentaires.

D'autres acteurs, à commencer par les producteurs d'emballages, se sont exprimés pour dénoncer une perspective irréaliste. Cet exemple est emblématique des défis politiques et économiques que nous devons désormais relever collectivement, sans attendre. La crise environnementale du plastique, qui porte une menace critique pour la préservation de la biodiversité et l'avenir des sociétés humaines, exige des réponses rapides, ambitieuses et déterminées : elle s'impose aujourd'hui comme **une priorité pour les pouvoirs publics.** ■

Ce qu'il faut retenir

- **Les approches curatives évoquées dans les chapitres précédents sont indispensables et doivent être encouragées. Cependant elles ne suffiront pas à résoudre la crise environnementale du plastique : l'enjeu décisif se situe aujourd'hui dans une réduction des quantités de plastique produites à l'échelle globale.**
- **Cette réduction n'est possible que par une profonde remise en cause des modes actuels de production et de consommation, vers une sortie de la « société du déchet ».**
- **Des pistes très concrètes permettraient d'avancer dans cette voie : la suppression des objets plastiques à usage unique (gobelets, assiettes, cotons tiges, pailles etc.) ainsi que des emballages à usage unique, le développement de vente de denrées en vrac ou de systèmes de consigne pour certains contenants.**
- **La sensibilisation des citoyens et l'évolution de la demande des consommateurs sont des moteurs puissants pour réussir ces évolutions indispensables. Mais elles doivent être rendues possibles sans délai par une action ambitieuse et déterminée des politiques publiques, pour lesquelles la problématique du plastique constitue aujourd'hui un enjeu prioritaire.**

Plastiques et environnement : quelques cham

À l'issue de tous les éléments ici réunis, les questions apparaissent plus nombreuses que les réponses quant à la synthèse, à l'usage, à la distribution, au devenir et aux impacts des plastiques dans les milieux naturels. La problématique environnementale du plastique pose à la science et à la société des défis complexes, et la mobilisation de la communauté demeure récente sur ces sujets. Du panorama dressé lors des premières rencontres du GDR Polymères et océans, et lors des Journées Plastiques et environnement, on peut faire ressortir quelques grandes questions ouvertes (liste non exhaustive !).

Du point de vue de la production de matériaux plastiques, plusieurs pistes sont à explorer, tant sous l'aspect de leur recyclabilité, que de celui du recours à des matières premières alternatives au pétrole, de leur biodégradabilité intégrale, de l'adaptation de leur durabilité à leurs usages, ou de la propension des produits à libérer des microplastiques. De nombreux défis sont posés en termes de prise en compte de la totalité du cycle de vie des produits, de disponibilité de filières de traitement adaptées aux matériaux innovants, de substitution d'additifs toxiques pour la santé des usagers comme pour celle des écosystèmes, et bien entendu en termes réglementaires afin que le déploiement des innovations se fasse en cohérence avec les priorités environnementales et sanitaires existantes.

S'agissant des travaux scientifiques visant à caractériser la pollution plastique et ses effets, il existe encore une très grande hétérogénéité quant aux matériaux étudiés ou aux méthodes employées. Cet état de fait empêche d'effectuer des comparaisons cohérentes et limite les possibilités de tirer des enseignements sur les sources des plastiques, leurs dynamiques dans l'environnement, leur devenir et leur impact.

Il reste notamment très difficile de fournir des estimations fiables sur les niveaux de fuites de plastiques dans l'environnement. Si l'impact des rejets de STEU est assez bien connu, la multiplicité des sources potentielles de microplastiques et le manque de connaissance quant aux quantités relarguées par l'usure des matériaux empêchent l'identification des contributeurs principaux. Pour les macroplastiques, plusieurs approches permettent des quantifications basées sur des campagnes de collecte ou sur la récupération de plastiques interceptés par des dispositifs placés à cet effet (dégrillages en réseaux d'assainissement, barrages visant à récupérer les flottants sur les cours d'eau, etc.).

Par conséquent il manque des informations sur le taux de plastiques qui échappent complètement à ces dispositifs... et constituent les fuites réelles. Entre la source et le milieu marin, un

Champs de connaissances prioritaires à explorer

débris plastique ne subit pas un transport direct et linéaire contrairement à ce que la plupart des premiers modèles avaient imaginé. Une meilleure connaissance des mécanismes régissant le transport de ces débris est nécessaire afin d'estimer le temps de résidence des plastiques dans différents milieux et environnement. De plus, le plastique va subir différents mécanismes de dégradation, de formation de biofilms, d'adsorption de polluants etc. De nombreux travaux sont encore à mener pour mieux comprendre le devenir d'un plastique lors de son séjour en rivière et/ou en estuaire avant son relargage potentiel en milieu marin.

Le milieu marin a été nettement plus étudié que les autres environnements. Pourtant, en raison de méthodologies encore en forte évolution, la répartition des plastiques dans l'environnement marin est encore mal connue. Si des tentatives de quantification du nombre et de la masse totale de plastiques présents dans les océans ont été effectuées, beaucoup de questions subsistent sur leur validité. Davantage de données comparables seront nécessaires et des modèles plus fiables doivent être développés.

Il existe en particulier une différence considérable entre les estimations de quantités de plastiques relarguées dans les océans et celles retrouvées *in situ*.

L'hypothèse actuelle est d'expliquer cet écart (la « masse manquante » de plastique) par une présence importante de plastiques dans les fonds marins. Des travaux doivent être effectués pour valider ces hypothèses et estimer les quantités de plastiques dans ce compartiment.

Les études écotoxicologiques donnent aussi souvent des résultats contradictoires sur l'impact potentiel des microplastiques sur les organismes. Un réel débat scientifique reste prégnant depuis le début de la décennie passée sur le réel niveau d'impact des plastiques. Une amélioration des pratiques et la production de données comparables apparaissent indispensables afin de répondre à la question cruciale des effets et des méfaits de la pollution plastique sur la faune et la flore, mais aussi sur la santé humaine.

Les nanoplastiques représentent aussi une zone d'ombre de la pollution plastique. Ces particules sont beaucoup trop petites pour être détectées avec certitude par les méthodes actuellement disponibles, et leur quantité dans l'environnement demeure donc complètement inconnue : elles nécessitent donc le développement et la validation de méthodes analytiques spécifiques. De plus, il est suspecté que leur faible taille leur permette de pénétrer facilement à travers les barrières

biologiques, induisant ainsi un risque écotoxicologique accru. Leur détection, leur quantification et l'étude de leurs impacts sanitaires constituent donc des questions de recherches majeures.

Enfin les sciences humaines et sociales jouent un rôle déterminant de révélatrices de nos contradictions, de nos inhibitions et de nos aveuglements au regard des pollutions plastiques, et de notre rapport aux déchets de façon plus large. Au-delà de cela, on peut espérer qu'elles puissent à l'avenir nous aider à « prendre le problème par le bon bout », qui en vérité se situe non pas dans l'océan, mais bien en amont, dans notre insistance (qu'il s'agit bien d'interroger psycho-sociologiquement) à privilégier ou à accepter passivement le mythe des solutions « clefs en main ». Solu-

tions jetables dont le prix bas incite à une consommation renouvelée, quand il ne fait en réalité que refléter la non prise en compte du véritable coût (environnemental) qu'auront à supporter les générations futures. Les sciences humaines posent ici clairement que la responsabilité politique est engagée, transitions écologique et démocratique allant de pair.

Aujourd'hui le groupement de recherche Polymères et océan constitue l'instance la plus représentative de la communauté scientifique française sur ces questions et sur d'autres relatives au lien entre plastiques et environnement. Pour en savoir plus sur les perspectives de recherche : <https://www.gdr-polymeresetoceans.fr/> ■



Photo 15. Fragments et granulés plastiques industriels, Côtes des Basques, Biarritz, 2017.

Conclusion générale

Le XX^e siècle aura vu le triomphe du plastique. En quelques décennies seulement, une marée de nouveaux matériaux issus de la chimie du pétrole, alliant des propriétés extraordinaires à de faibles coûts de mise en œuvre, a déferlé sur le monde de la production et de la consommation, s'imposant dans d'innombrables applications quotidiennes, transformant profondément les modes de vie et le rapport aux objets. Entre 1964 et 2017, la production globale de plastiques s'est accrue d'un facteur 23 ; elle se chiffre aujourd'hui en centaines de millions de tonnes annuelles. Cette croissance exponentielle a désormais laissé apparaître son corollaire : la dissémination à la surface du globe terrestre d'innombrables déchets à longue durée de vie, induisant au fur et à mesure de leur fragmentation dans les milieux naturels une pollution généralisée, sous forme de microplastiques, des sols, des eaux et même de l'air. On estime en outre que 4 à 8 % du pétrole mondial est transformé pour la production de matière

plastique (en cumulant la matière première et le coût énergétique de la production), soit autant que la consommation du trafic aérien mondial. Après le temps de l'insouciance est venu, au tournant du millénaire, celui d'une inquiétude croissante quant aux effets environnementaux et sanitaires de cette contamination, sur une planète aux ressources finies, en proie au changement global et à l'érosion de la biodiversité. Au cours des dix dernières années, alors que la production de plastique continue de s'accroître, cette inquiétude s'est muée en urgence. La problématique environnementale du plastique est désormais un défi vital : pour la communauté scientifique, dont sont attendues des connaissances sur le devenir environnemental des déchets plastiques et leurs impacts sur le monde vivant ; pour les politiques publiques qui doivent s'en saisir pour bâtir des réponses opérationnelles ; et pour l'ensemble des citoyens à qui il revient d'ajuster sans attendre leurs modes de consommation et leur rapport aux déchets.

En France, la mobilisation sur cette question cruciale s'est accélérée en 2019, à la faveur de deux événements majeurs au niveau national.

Du 24 au 26 juin, les premières Rencontres du groupement de recherches « Polymères et océans », à Créteil, ont amorcé la structuration d'une communauté scientifique transdisciplinaire, centrée sur la problématique environnementale du plastique. Les 27 et 28 juin, à Champs-sur-Marne, les premières journées « Plastiques et environnement » ont suscité, en une série de tables rondes thématiques nourries de retours d'expériences et d'éclairages variés, une concertation inédite entre scientifiques, instances nationales, acteurs des collectivités territoriales, industriels et monde associatif.

De cette semaine fondatrice il ressort d'abord un état des lieux transverse de l'action scientifique sur la pollution plastique et ses conséquences. En trois journées de conférences expertes, dont la première partie de cet ouvrage s'est fait l'écho, les contributeurs du GDR ont apporté des éléments chiffrés et des connaissances nouvelles sur les flux de plastiques au sein des bassins versants et le cheminement complexe

des déchets dans les cours d'eau ; leur distribution spatiale en mer et leur dynamique d'accumulation au sein des gyres subtropicales. Ils ont précisé la cinétique de dégradation de différents polymères, dans différentes conditions environnementales ; ils ont caractérisé les effets toxiques de l'exposition à différents plastiques, sur un certain nombre d'organismes vivants. Pour autant, cette action scientifique n'est encore qu'au milieu du gué : au-delà des résultats de recherche, un apport essentiel des Rencontres du GDR a ainsi été d'en identifier certaines difficultés et limites : des lacunes actuelles des approches en modélisation au manque de représentativité des travaux de laboratoire en écotoxicologie ; de la question de la « masse manquante » du plastique à la focalisation des recherches sur le milieu océanique (l'aval) au détriment des milieux terrestres (l'amont).

Demain plus encore qu'aujourd'hui, les connaissances issues de la recherche constitueront un apport précieux pour orienter les décisions de gestion, identifier les usages du plastique les plus impactants et prioriser les réponses curatives et préventives de la société. Les éléments disponibles suffisent

cependant à établir l'urgence d'agir. Les tables rondes « Plastiques et environnement », et les débats très riches qu'elles ont suscités, ont rendu compte de l'étendue des efforts engagés dès aujourd'hui, par une grande variété d'acteurs publics ou privés, institutionnels ou militants.

La seconde partie de cet ouvrage a dressé un panorama de ces initiatives, de leurs réussites ou de leurs lacunes, et des questions qu'elles peuvent soulever : des différentes approches visant l'interception du flux polluant aux perspectives de développement des « bioplastiques » ; des filières de tri et de recyclage aux campagnes de mobilisation citoyenne et de ramassage bénévole. Leviers indispensables face à la crise actuelle, ces approches relevant pour l'essentiel du curatif sont appelées à jouer un rôle majeur dans la limitation du flux polluant et de ses conséquences. Soutenues par les pouvoirs publics, elles livrent dès à présent des résultats probants. Elles ne constituent pourtant que l'un des deux piliers sur lesquels pourra s'appuyer une réponse concertée et effective de la société : le véritable enjeu se situe maintenant dans une

évolution profonde de nos modes de consommation, notamment des objets plastiques, vers une sortie de ce qui a été nommé au cours des tables rondes comme la « société du déchet ».

Dans cette perspective, les politiques publiques auront là aussi un rôle crucial à jouer, pour accompagner une évolution déjà engagée dans une partie de la population. À la suite des premières mesures déjà prises, comme la suppression des sacs plastiques gratuits aux caisses de la grande distribution, les leviers d'action prioritaires, évoqués dans le dernier chapitre de cet ouvrage, portent sur l'élimination volontariste des objets plastiques à usage unique ou « jetables », et sur la lutte contre le suremballage. Il appartient désormais à l'intelligence collective de se saisir pleinement et sans attendre de ces enjeux pour les traduire légalement, en les dotant de conditions d'application et de calendriers aussi ambitieux que possible. Dans vingt ans, en sera-t-il encore temps ? ■

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S., Galop, D. ; 2019. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geosciences*

Cordier M., Uehara T. ; 2019. How much innovation is needed to protect the ocean from plastic contamination? *Science of the total environment* 670,789–799

Cózar,A., Echevarría, F., González-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, A.T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M.L.,and Duarte, C.M. ; 2014. Plastic debris in the open ocean *Proceedings of the National Academy of Sciences*

Blair Crawford, C., Quinn, B. ; 2017, *Microplastic Pollutants*, Elsevier Science

Deroine, M., Guy, C., Le Duigou,A., Davies, P., Bruzaud S. ; 2015. Natural Degradation and Biodegradation of Poly (3-Hydroxybutyrate-co-3-Hydroxyvalerate) in Liquid and Solid Marine Environments. *Journal of Polymers and the Environment*

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande-Bret, C., Tassin, B. ; 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment ? *Marine Pollution Bulletin* 104, 290–293.

Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L.; 2017. Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made ; *Sciences Advances*. 3(7)

Jambeck, J.R.,Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. ; 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771.

Lebreton, L.C.M, van der Zwet, J., Damsteeg, J.W., Slat,B., Andrady, A., Reisser, J.; 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8, 15611.

Pellini, G., Gomiero, A., Fortibuoni, T., Ferrà, C., Grati, F., Tasseti, A.N., Polidori, P., Fabi, G., Scarcella, G.; 2018. Characterization of microplastic litter in the gastrointestinal tract of *Solea solea* from the Adriatic Sea. *Environmental Pollution*. 234, 943-952.

Schmidt, C., Krauth, T., Wagner, S. ; 2018. Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental Science and Technology*,

Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B.D., Van Franeker, J.A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F., Law, K.,L. ; 2015. A Global Inventory of Small Floating Plastic Debris. *Environ. Res. Lett.*10 124006

Bibliographie

Pour mémoire, les contributions scientifiques présentées lors des premières journées du GdR Polymères et océans qui ont été rappelées dans le présent volume sont marquées d'un « * » dans le texte. L'ensemble des présentations et les résumés des interventions des journées de juin 2019 sont disponibles sur <https://po2019.sciencesconf.org/>

Ce GdR (<https://www.gdr-polymeresetocceans.fr/>) regroupe 215 chercheurs et 45 laboratoires, avec des travaux axés sur l'entrée et le devenir des plastiques dans l'environnement, les impacts et risques à long terme des déchets plastiques, et enfin les solutions d'avenir pour limiter ces risques.



© Benjamin Guichard - OFB

Photo 16. Ballon rouge flottant à la surface de l'eau. Golfe de Gascogne, 2018.

Rédaction

Laurent Basilico (journaliste),
Pierre-François Staub (OFB),
Rachid Dris (ENPC)

Contribution

Johnny Gasperi (Univ. G.Eiffel)
Guillaume Gay (MTES/CGDD)
Bruno Tassin (ENPC)

Validation des contenus

Pierre Amato, Sam Azimi,
Juan Baztan, Lénaïk Belec,
Denis Blot, Antoine Bruge,
Stéphane Bruzaud, Amélie Chatel,
Mel Constant, Xavier Cousin,
Quentin Deshoules,
Mathieu Delahaye, Marc Dumontier,
Fabrice Faure, Fabienne Fay,
Mathieu George, Emmanuel Jestin,
Nicola Humez, Arnaud Huvet,
Fanon Julienne, Amina Khaled,
Camille Lacroix, Dominique Laplace,
Franck Lartaud, Christophe Maes,
Delphine Mazabrard,
Baptiste Monsaingeon,
Pauline Pannetier, Ika Paul-Pont,
Patrick Pouline, Florian Rognard,
Kevin Tallec, Bruno Tassin,
Alexandra Ter Halle,
Romain Tramoy, Lisa Weiss

Illustrations photographiques

Soline Alligant, Fanny Cautain,
Laurent Colasse, Andres Cozar,
Marine Dedeken, Valentin Foulon,
Benjamin Guichard, Greg Lecoeur,
Florence Moulin, Pierre-François Staub,
Bruno Tassin, Line Viera.

Et aussi

European Bioplastic
Citeo
Heinrich-Böll-Stiftung
Plastics Europe

Édition

Béatrice Gentil-Salasc
et Véronique Barre (OFB)

Création et mise en page graphique

Parimage

Citation

Basilico L., Staub P.-F. et Dris R. 2020.
La pollution plastique. De nouvelles
connaissances et des pistes pour
l'action publique. Office français
de la biodiversité. Collection
Rencontres-Synthèse. 112 pages.

La collection Rencontres-synthèse, destinée à un public technique ou intéressé, présente les principaux résultats de séminaires organisés, ou co-organisés, par l'OFB.

Plan de sauvegarde de l'anguille. Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages (novembre 2012)

Mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau. Quand les services écosystémiques entrent en jeu (février 2013)

Bioindication : des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques (avril 2013)

Biodiversité aquatique : du diagnostic à la restauration (septembre 2013)

Les invasions d'écrevisses exotiques. Impacts écologiques et pistes pour la gestion (octobre 2013)

Comment améliorer le flux de la connaissance pour relever les défis de la DCE ? (mars 2014)

La contamination chimique des milieux aquatiques. Outils et méthodes pour le diagnostic et l'action (mars 2014)

La bioindication en outre-mer Situation et perspectives dans le contexte de la directive cadre sur l'eau (janvier 2016)

Récifs coralliens et herbiers des outre-mer. Réflexions autour du développement d'outils de bioindication pour la directive cadre sur l'eau (août 2016)

Quels instruments pour une gestion collective des prélèvements individuels en eau pour l'irrigation ? (août 2016)

L'ADN environnemental pour l'étude de la biodiversité. État de l'art et perspectives pour la gestion (janvier 2019)

La pollution plastique. De nouvelles connaissances et des pistes pour l'action publique (Septembre 2020)

<https://professionnels.ofb.fr/fr/rencontres-synthese>

Gratuit

Dépôt légal à parution

ISBN web-pdf : 978-2-38170-070-0

ISBN print : 978-2-38170-071-7

Impression : Estimprim

Imprimé en France sur du papier issu de sources responsables

© OFB, Septembre 2020



ofb.gouv.fr

 [@OFBiodiversite](https://twitter.com/OFBiodiversite)

Office français de la biodiversité

12 Cours Lumière, 94300 Vincennes

Tél. : 01 45 14 36 00

Photo couverture : Pince à linge sur fond marin, Glénan, 2018.

©Benjamin Guichard – OFB