Publié dans "Revue de l'Institut Veolia", 2019, no 19, pp. 68-75, a citer pour faire référence à ce travail.

LES DIFFICULTÉS INHÉRENTES À LA MESURE DE LA POLLUTION PLASTIQUE

Guillaume Billard et Julien Boucher
Environmental Action (EA)

Julien Boucher est Directeur fondateur d'EA – Shaping Environmental Action (shaping-ea.com), entité basée en Suisse spécialisée dans l'innovation et l'écoconception ; il est également chercheur au sein de la Haute École Spécialisée de Suisse Occidentale (HES-SO, HEIG-VD).

Guillaume Billard est titulaire d'une maîtrise en sciences avec spécialisation dans le conseil environnemental maritime international obtenue, à l'Université de Newcastle (Royaume-Uni).

Depuis 2014, l'équipe EA travaille à une meilleure intégration de la pollution par le plastique dans les méthodologies de détermination de l'empreinte environnementale et d'évaluation du cycle de vie.

MOTS-CLÉS

- EMPREINTE DU PLASTIQUE
- POLLUTION MARINE
- ÉVALUATION DU CYCLE DE VIE
- ÉCOCONCEPTION

Le terme « plastique » est un mot générique désignant un large éventail de polymères et d'additifs ayant des propriétés chimiques et physiques variées. Une fois manufacturés, ils deviennent entre autres sacs plastique à usage unique, emballages alimentaires et bouteilles, lignes de pêche ou encore fibres synthétiques utilisées dans l'industrie textile par exemple.

Si le plastique est omniprésent dans nos vies, la pollution par le plastique ne l'est guère moins. Chaque année, on estime à 10 millions de tonnes la quantité de plastique déversée dans les océans, contribuant à créer une crise environnementale sans précédents. Or, la mesure ou la prédiction de ce phénomène s'avère particulièrement complexe en raison d'un certain nombre de contraintes techniques et de l'absence de coordination dans les campagnes d'évaluation. Pour y faire face, il convient de se doter d'indicateurs adéquats permettant d'orienter et de hiérarchiser l'action à différents niveaux, allant de la conception de produits précis à la mise en place d'une infrastructure régionale efficace, en passant par l'instauration de politiques et de mesures d'application appropriées.

INTRODUCTION

Il n'y a pas qu'avec nos pieds que nous laissons une trace sur les plages de sable. En effet, notre forte dépendance à l'égard du plastique donne lieu à une empreinte de plus en plus visible dans l'environnement. Ce recours croissant au plastique génère des volumes considérables de déchets, dont une partie termine sa vie dans le milieu marin. Considérée comme une menace majeure pour la faune sauvage et pour le bien-être humain, cette pollution est désormais une réalité dans l'océan mondial (UN Environment, 2018). Il s'agit bel et bien d'une crise environnementale sans précédent, alimentée chaque année par le déversement dans l'environnement marin de quelque 10 millions de tonnes de déchets (Boucher et Friot, 2017).

Soumis aux courants marins et à la houle, entre autres phénomènes, les déchets plastiques peuvent se concentrer à plusieurs niveaux de la colonne d'eau, avant de se décomposer en débris de taille submillimétrique susceptibles d'être ingérés par les organismes marins.

Cette hausse de l'utilisation de plastique n'a rien d'étonnant quand on connaît les nombreux avantages que procure ce matériau en termes de malléabilité, de durabilité, de légèreté et de coût de production. Le plastique offre même une empreinte carbone inférieure à celle d'autres matériaux pour nombre d'applications (Boucher et Friot, 2017).

Depuis les années 1950, la production annuelle de plastique est passée de zéro à plus de 335 millions de tonnes (2017), avec une prévision de croissance annuelle de 4 % pour les années à venir (Geyer, Jambeck et Law, 2017 ; PlasticsEurope, 2017). Cette crise du plastique souligne la nécessité de recourir à des indicateurs de prédiction plus performants pour gérer les équilibres environnementaux, ainsi que pour amener les industriels et les gouvernements à miser sur une conception plus saine des produits et sur des infrastructures de gestion des déchets.

À l'heure actuelle, les méthodes d'évaluation du cycle de vie et de l'empreinte environnementale privilégiées par les industriels et les concepteurs ne tiennent pas compte de la pollution plastique.

Cette analyse vise tout d'abord à offrir un aperçu global de la situation de la pollution plastique, en insistant sur les quantités de plastique déversées dans les océans (ci-après, « les déversements »). Ensuite, elle s'efforce d'évaluer les lacunes actuelles dans les connaissances ainsi que les défis qui sous-tendent l'évaluation des plastiques en mer et les prévisions concernant les déversements de plastique (ci-après, « l'empreinte »). Enfin, la conclusion insiste sur la nécessité d'agir au plus vite, tant dans le développement d'indicateurs pertinents pour la prise de décision que pour la mise en œuvre d'actions concrètes.

ÉTAT DES CONNAISSANCES EN MATIÈRE DE POLLUTION PAR LE PLASTIQUE

QUEL EST LE VOLUME DES DÉVERSEMENTS ?

Plusieurs études ont cherché à inventorier et à quantifier les différentes sources de déversements aux échelles nationale et mondiale (Lassen et al. 2015 ; Essel et al. 2015 ; Magnusson et al. 2016). Le terme « déversements » désigne les volumes de plastique rejetés dans les cours d'eau, puis en mer. Les déversements mondiaux sont estimés à une dizaine de millions de tonnes de plastique par an (Mt/a), avec des ordres de grandeur variant selon plusieurs études :

- de 4,8 Mt/a à 12,7 Mt/a (Jambeck et al. 2015)
- 8,28 Mt/a (UN Environment, 2018)
- 12,2 Mt/a (EUNOMIA, 2016)
- 10 Mt/a (Boucher et Friot, 2017)

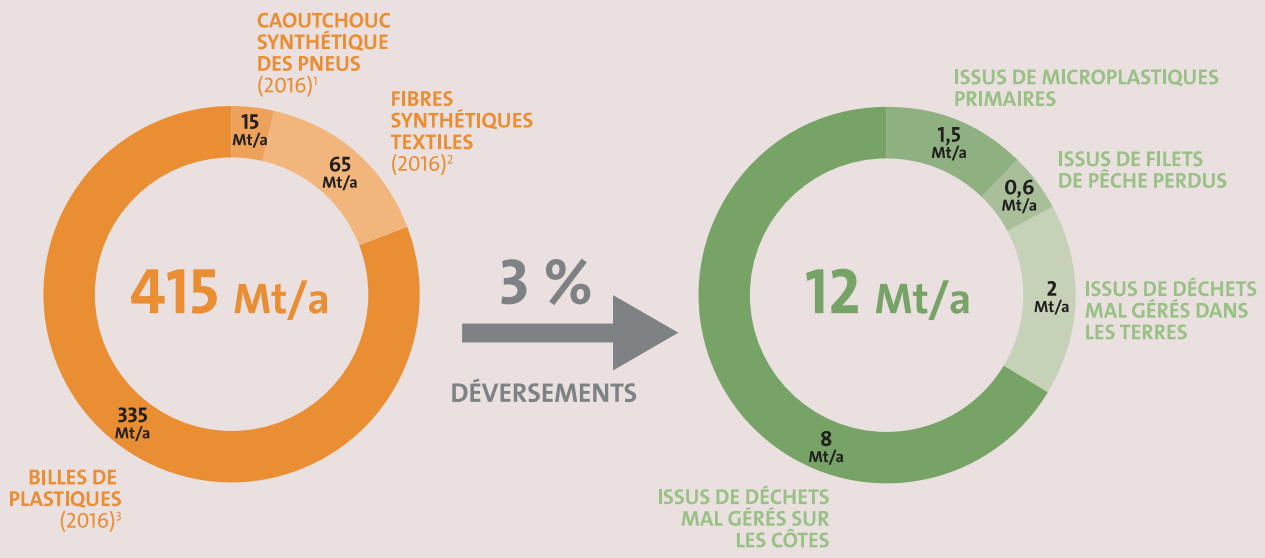
On trouve le plastique sous deux formes différentes : des déchets plastiques de grande dimension appelés macroplastiques, généralement présents dans l'environnement marin tels qu'ils ont été produits, et de petits fragments de plastique de moins de 5 mm appelés microplastiques. Ces derniers se décomposent ensuite en deux types :

- **les microplastiques primaires**, directement libérés dans l'environnement sous la forme de petites particules. Il peut s'agir d'additifs tels que des agents exfoliants dans les articles de toilette et les cosmétiques (par exemple, les gels douche). Ils peuvent également résulter de l'abrasion de grands objets en plastique en cours de fabrication, d'utilisation ou de maintenance, par exemple l'usure des pneus pendant les déplacements en voiture ou des textiles synthétiques lors du lavage ;
- **les microplastiques secondaires**, résultent de la dégradation d'objets en plastique de plus grande dimension en fragments plus petits lors de l'exposition à l'environnement marin. Cela se produit par photodégradation ou encore par d'autres processus d'altération des déchets mal gérés.

QUELLE EST LA CONTRIBUTION DES DIFFÉRENTES SOURCES ?

Cette question reste sujette à débat. Le schéma 1 présente les sources principales et indique les quantités les plus fréquemment citées (vert) par rapport aux volumes globaux de plastique produits (orange). Cette comparaison permet

Déversements annuels de plastique dans l'environnement marin, d'après les données sur la pollution mondiale par le plastique



1 https://www.statista.com/statistics/271651/global-production-of-the-chemical-fiber-industry/ & http://www.rubberstudy.com/documents/WebSiteData_Feb2018.pdf
2 https://www.statista.com/statistics/271651/global-production-of-the-chemical-fiber-industry/
3 https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf

Source : Boucher et al. in press ; UICN – The marine plastic footprint

Schéma 1

d'identifier un taux de déversement de 3 %, ce qui signifie que 3 % des plastiques commercialisés chaque année finissent dans le milieu marin.

Le Forum Économique Mondial a abouti à une estimation plus élevée, selon laquelle 32 % des emballages à usage unique échappent aux systèmes de collecte (FEM, 2016).

La section ci-dessous décrit les déversements de quatre sources principales et estime les volumes rejetés dans l'environnement marin, selon la littérature scientifique :

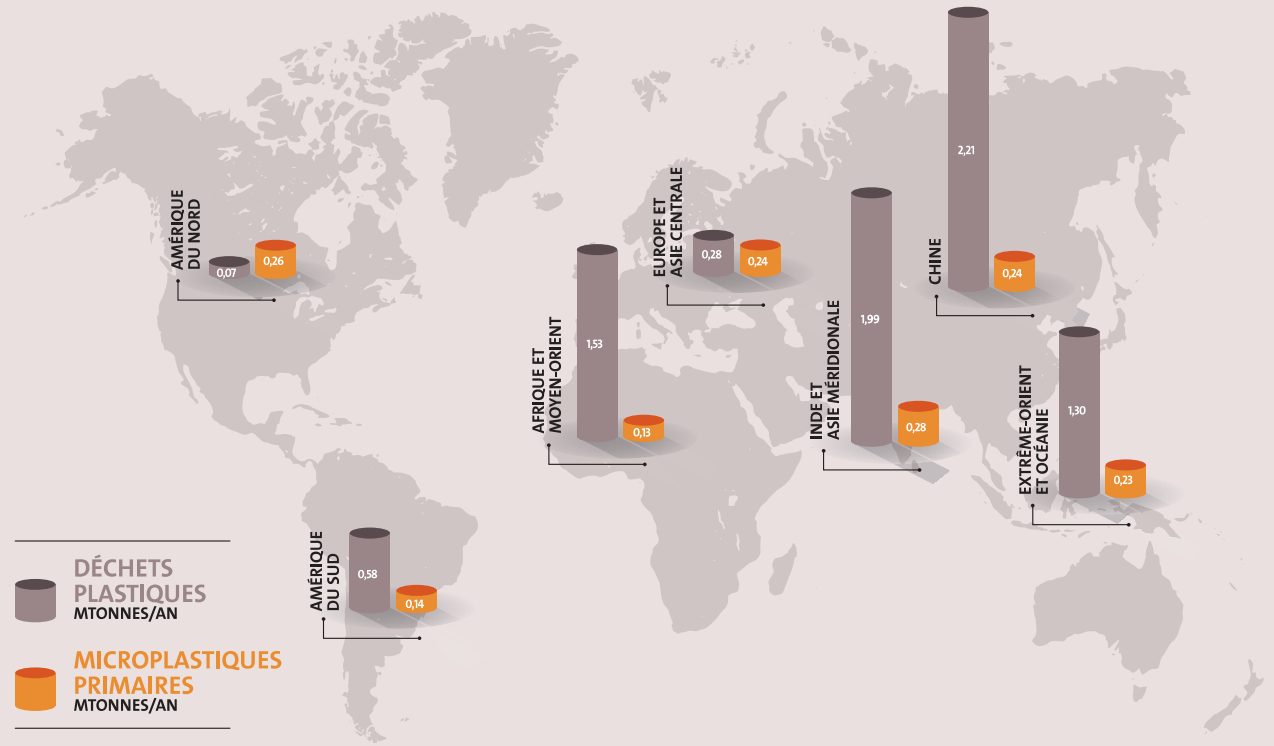
i. **Déchets plastiques mal gérés sur le littoral : 8 Mt/a**
Les ordres de grandeur les plus communément cités ont été publiés par Jambeck et al. en 2015. Cette étude s'est intéressée au volume de déchets plastiques mal gérés susceptible d'être généré par les populations côtières de 192 pays vivant à moins de 50 km du rivage. Les calculs se basent sur la quantité de déchets générés par habitant et par an, sur le pourcentage de matériaux plastiques dans les déchets ainsi que sur le pourcentage de déchets plastiques mal gérés susceptible de s'écouler dans les océans sous forme de débris (ce qui inclut la part des déchets mal gérés par pays et un taux moyen de « littering » par défaut de 2 %).
Cette étude conclut que les déversements annuels de déchets plastiques mal gérés dans l'environnement marin se situent entre 4,8 et 12,7 Mt/a. D'autres estimations de déchets plastiques mal gérés ont été publiées, faisant état de volumes allant de 3,87 Mt/a (UN Environment, 2018) à 9 Mt/a (EUNOMIA, 2016) sur un total de déversements mondiaux de plastique de 8,28 Mt/a et de 12,2 Mt/a, respectivement.

ii. **Déchets plastiques continentaux mal gérés : 2 Mt/a**
La contribution des cours d'eau aux déversements varie en fonction de la saison et de la situation géographique. Globalement, les cours d'eau seraient responsables d'un flux de déchets plastiques oscillant entre 1,15 Mt/a et 2,41 Mt/a, sachant que 67 % de ces émissions se produisent en Asie (Lebreton et al. 2017).
Cette étude s'appuie sur des mesures de terrain montrant une bonne corrélation entre les densités démographiques, les données sur la gestion des déchets et les résultats des prélèvements de débris plastiques dans les cours d'eau.
Une autre étude a estimé l'apport des cours d'eau entre 0,41 Mt/a et 4 Mt/a (Schmidt, Krauth et Wagner, 2017). Les divergences entre ces deux études sont liées à l'utilisation de paramètres différents, notamment le nombre de pays côtiers retenus.

iii. **Matériel de pêche perdu : 0,6 Mt/a**
Les secteurs de la pêche et de l'aquaculture émettent de grandes quantités de déchets (par exemple, les filets

Rejets mondiaux de microplastiques primaires et de déchets plastiques dans l'océan mondial

Comparaison avec les plastiques issus de déchets mal gérés



Source : Boucher, J. et Friot D. 2017

Schéma 2

abandonnés). Les pertes microplastiques liées à l'industrie de la pêche sont estimées à 0,6 Mt/a (Boucher et Friot, 2017). Une grande prévalence de fibres bleues (nylon), spécifiques aux filets, est souvent retrouvée en mer lors d'études de terrain. Concernant ces filets, il est estimé qu'environ 1,15 Mt sont perdues en mer chaque année (EUNOMIA, 2016). Toutefois, les sources sont assez peu nombreuses et les contributions précises, difficiles à définir. De plus, les déchets jetés par-dessus bord, une pratique pourtant interdite, contribuent également à la pollution plastique, à hauteur de 600 Kt/a (EUNOMIA, 2016).

iv. **Microplastiques primaires : 1,5 Mt/a**
Dans cette étude, nous partons du principe que 1,5 Mt/a sont rejetées dans l'environnement marin sous la forme de microplastiques primaires. Toutefois, les sources diffèrent quant à la contribution des microplastiques primaires à la perte globale de plastique. Ces pertes sont estimées à :
- 3,01 Mt sur une perte totale de plastique de 8,28 Mt/a (UN Environment, 2018)
- 1.5 Mt/a sur une perte totale de plastique de 8 Mt/a (Boucher et Friot, 2017)
- 0,95 Mt sur une perte totale de plastique de 12,2 Mt/a (EUNOMIA, 2016)

En pourcentage, cela équivaut à environ 36 %, 15 % et 8 % des déversements (UN Environment, 2018 ; Boucher et Friot, 2017 ; EUNOMIA, 2016). Par sources, les déversements dus à l'abrasion des pneus sont estimés à 1400 / 420 / 270 kt/a (UN Environment, 2018 ; Boucher et Friot, 2017 ; EUNOMIA, 2016). Les déversements dus au marquage des routes sont estimés à 590 / 105 / 80 kt/a et les déversements dus aux pertes de microfibres pendant le lavage à 260 / 525 / 190 kt/a, selon les mêmes sources.

Le déversement de macroplastiques issus de déchets mal gérés prévaut dans les pays côtiers, notamment dans ceux où les installations de gestion des déchets sont les moins performantes (Boucher et Friot, 2017). Le schéma 2 présente la contribution des microplastiques primaires et des déchets mal gérés à la pollution par le plastique à l'échelle mondiale.

Ces divergences régionales sont le reflet de modèles et de choix différents, qui dépendent de caractéristiques telles que la densité démographique, le PIB, les habitudes culturelles et l'efficacité des infrastructures locales en matière de rétention des déchets. Cela confirme également la théorie IPAT [Impact = taille de la Population x richesse de la population (Affluence, en anglais) x Technologie] (Ehrlich et Holdren, 1971).

Ces disparités régionales et sectorielles sont illustrées dans le schéma 3, qui porte sur les différentes sources de microplastiques. Avant de définir des actions, il faut pouvoir identifier les principales zones d'émission, ce qui impose le développement urgent d'une méthodologie de détermination de l'empreinte propre à chaque filière et adaptée à chaque région.

Ces approches en matière de détermination de l'empreinte pourraient s'appuyer d'abord sur l'inventaire des quantités de plastique qui fuient dans l'environnement mais aussi à terme intégrer l'évaluation des impacts sur l'environnement et la santé humaine :

i. Macro-débris : ils influent sur la faune sauvage et le bien-être humain. Des pièces de grande dimension peuvent être ingérées par la mégafaune marine (Stephanis et al. 2013), bloquant les trachées gastro-intestinales ou estomacs, menant vers une mort prématurée. La capture accidentelle d'animaux marins dans des filets abandonnés (« pêche

Déversements globaux dans l'océan mondial par secteur géographique et par sources

Sources principales par région (pour un total de 100 %)

	Textiles synthétiques	Pneus	Marquage des routes	Peintures marines	Produits de toilette personnelle	Billes de plastique
INDE ET ASIE MÉRIDIONALE	15,9	1,1	0,3	0,1	0,8	0
AMÉRIQUE DU NORD	2,6	11,5	1,9	1	0,1	0,1
EUROPE ET ASIE CENTRALE	4	8,6	2,4	0,6	0,2	0,1
CHINE	10,3	2,5	1,3	1,2	0,5	0
EXTRÊME-ORIENT ET OCÉANIE	6,3	5,3	1,6	1,5	0,3	0
AMÉRIQUE DU SUD	2,9	5,1	0,9	0	0,2	0
AFRIQUE ET MOYEN-ORIENT	4	3,2	0,6	0,4	0,5	0

Légende: 15 12 9 6 3 0

Source : Boucher, J. et Friot D. 2017

Schéma 3

fantôme ») fait également partie des préoccupations croissantes. La pollution plastique affecte les communautés humaines côtières, avec quelque 18 millions d'euros consacrés chaque année par le seul Royaume-Uni au ramassage des ordures accumulés sur les côtes (Lee, 2015.).

ii. *Méso-micro-débris :* La présence d'organismes tels que des bryozoaires ou d'algues incrustés sur des débris plastiques a été reportée. Ce phénomène constitue un vecteur pour les espèces envahissantes (Gregory, 2009). Il s'agit d'une menace considérable pour les zones où l'endémisme est important, comme les îles subantarctiques par exemple. En outre, on pressent des impacts sur l'écosystème via l'accumulation de microplastiques dans la chaîne alimentaire, ce qui peut entraîner un transfert aux êtres humains via la consommation directe de fruits de mer. La seule et unique étude consacrée à l'évaluation des risques liés aux microplastiques dans l'environnement prévoit une multiplication par 50 des concentrations de microplastiques en surface d'ici à 2100 (de 0,2-0,9 particules par m^3 en 2010 à 9,6-48,8 particules par m^3 en 2100) (Everaert et al. 2018). Toutefois, on ne s'attend à aucun effet direct lié à des microparticules flottantes (à l'exclusion des polluants chimiques adsorbés à la surface des particules de plastiques – p. ex. pesticides) dans des conditions normales, même si les zones affichant une concentration plus élevée que la moyenne pourraient potentiellement être en danger (Everaert et al. 2018). Une estimation précise des différents impacts potentiels des débris plastiques nécessitera encore plusieurs années de recherche.

Une évaluation détaillée de ces impacts à l'échelle du cycle de vie pourrait permettre (i) de comparer l'impact des différents déversements (par exemple, pour les différents polymères, les différentes formes) et (ii) de faire des arbitrages entre les impacts liés au plastique et les autres problèmes environnementaux potentiellement graves.

Même si le cadre théorique et les voies d'impact semblent relativement clairs, les données pratiques (c'est-à-dire les taux de devenir, les facteurs de caractérisation ou les données écotoxicologiques) ne sont pas encore disponibles. En raison de ces lacunes, il convient de recourir à un indicateur d'inventaire des déversements pour orienter les prises de décisions à court terme (FSLCI, 2018).

La première partie de cet article a décrit l'état actuel des connaissances sur la pollution plastique dans l'environnement marin en vue d'exposer les principaux enjeux et conclusions. La partie suivante offre un aperçu des défis entourant l'utilisation de modèles de prévision des déversements ainsi que des contraintes inhérentes à l'échantillonage du plastique en mer.

LES DIFFICULTÉS INHÉRENTES À LA PRÉVISION DE LA POLLUTION PLASTIQUE

Prévoir la pollution plastique constitue un défi de taille. Tel que nous avons pu le constater ci-dessus, les nombreuses incertitudes existant à l'échelle mondiale sont à l'origine de divergences quantitatives non négligeables. Ces incertitudes peuvent être structurelles (liées à la compréhension des mécanismes et des voies de rejet) ou bien liées aux données (notamment à la disponibilité d'ensembles de données fiables, ce qui s'avère particulièrement difficile à obtenir dans certains pays).

L'élaboration d'une méthodologie simplifiée, standardisée et facilement applicable implique le dépassement de certaines de ces incertitudes. Dans les sections ci-dessous, nous énumérons les principaux défis à relever pour aboutir à une méthode fiable de prévision de l'empreinte.

Le Schéma 4 propose un cadre méthodologique pour l'évaluation de l'empreinte plastique, intégrant pour différentes sources de plastique, des étapes de pertes dans l'environnement, puis de rejet final dans les eaux de surface et les océans.

MODÉLISATION DES DÉVERSEMENTS DE DÉCHETS MAL GÉRÉS ET DES ORDURES

Les déchets mal gérés sont communément définis comme étant des déchets plastiques gérés de telle façon qu'une part finisse dans l'environnement marin. Cela concerne les déchets mis en décharges non-contrôlées, les dépotoirs et les décharges sauvages.

Les limites actuelles de cette approche sont les suivantes :

i. Absence d'une formule ou d'un ensemble normalisé de données permettant de calculer le volume de déchets mal gérés, ce qui aboutit à des résultats différents selon les diverses approches.

ii. Les estimations sur les dépôts sauvages sont, par nature, très difficiles à établir. Ces déchets peuvent être identifiés à partir des statistiques des opérateurs de nettoyage municipaux, mais il n'existe pas de chiffres concernant la part qui « passe entre les mailles du filet » (c'est-à-dire, celle qui correspond aux déversements). Par définition, c'est un volume qui n'est pas mesuré et qui s'avère très difficile à estimer / deviner. Jambeck et al. (2015) ont avancé un pourcentage approximatif de 2 % dans tous les pays pour ces dépôts sauvages.

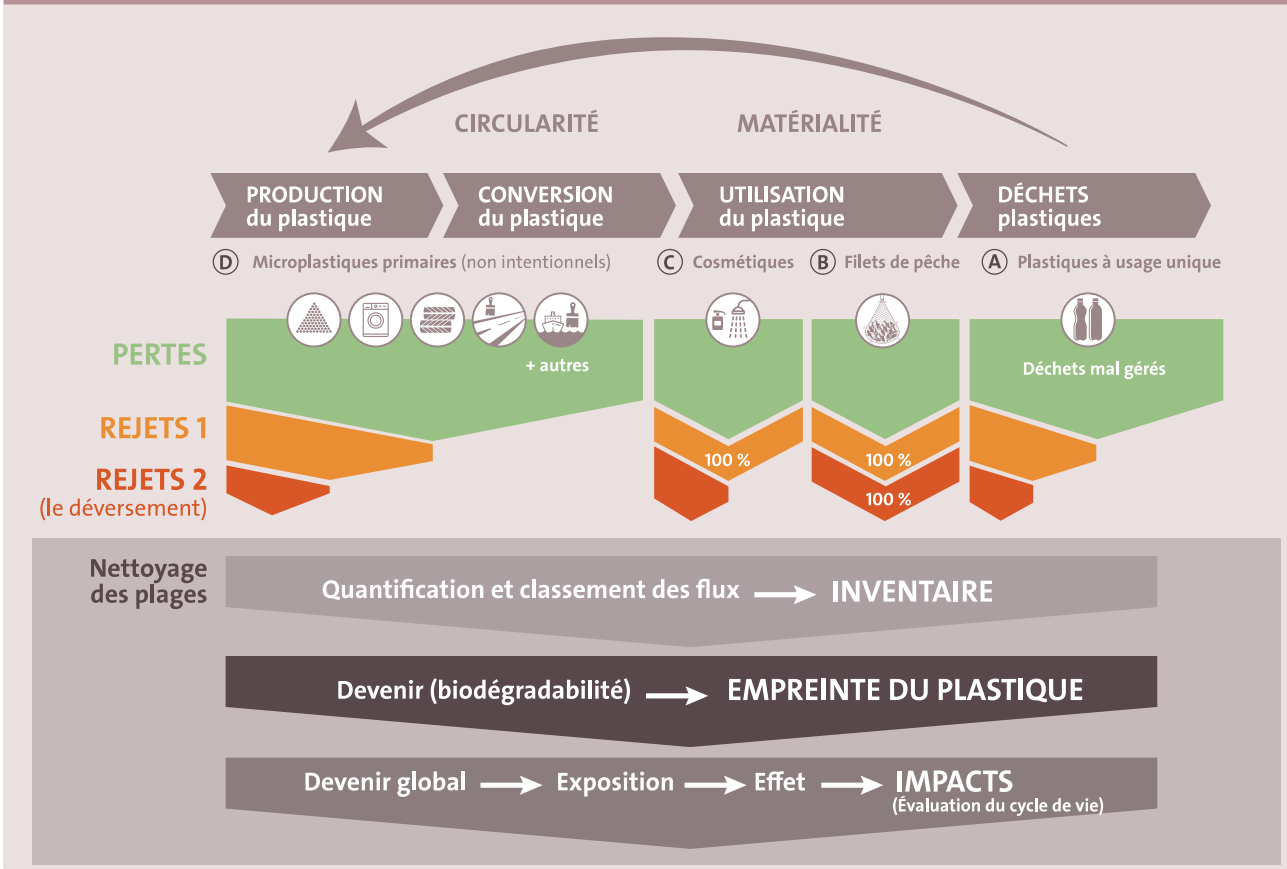
iii. Les taux de rejet des déchets mal gérés sont rarement calculés à partir d'éléments tangibles, donc hautement hypothétiques. Les voies de transport du plastique dans l'environnement sont mal comprises et les taux de rejet constituent davantage des approximations que des indications précises. Ces taux sont généralement évalués entre 10 % et 40 % (Jambeck et al. 2015 ; UN Environment 2018) et il n'y a pas de variations régionales. Pourtant, des facteurs tels que les habitudes culturelles (par exemple, le comportement vis-à-vis des ordures), les conditions climatiques (par exemple, l'effet de la pluie ou du vent dans la dispersion des déchets) et les spécificités géographiques (par exemple, la distance par rapport à un cours d'eau ou au rivage) sont suspectés d'avoir une influence considérable.

Toutefois, les incertitudes fortes de la modélisation ne doivent pas dissuader les parties prenantes d'adopter des actions prioritaires. Le recours à des indicateurs de circularité peut être une bonne option à court terme, du moins le temps de définir des modèles permettant de mieux déterminer les voies de déversement.

SOURCES DES MICROPLASTIQUES ET VOIES DE DÉVERSEMENT

Le déversement de microplastiques primaires se mesure en fonction du taux de perte et du taux de rejet. Le taux de

Cadre de l'empreinte du plastique



Source : Boucher et al. in press ; UICN – The marine plastic footprint

Schéma 4

perte mesure la quantité de plastique perdue par une activité spécifique (par exemple, la circulation automobile, les lessives). Le taux de rejet mesure la part de cette perte qui finit dans l'océan, c'est-à-dire celle qui n'est retenue ni par les installations de traitement des déchets, ni par les autres infrastructures.

Des estimations de taux de perte sont disponibles dans la littérature scientifique, ce qui autorise des calculs génériques de l'empreinte. Toutefois, comme les facteurs entraînant les fluctuations de ces taux demeurent flous, l'utilisation de ces indicateurs dans le cadre de l'éco-conception est encore impossible.

Le taux de rejet est entaché d'incertitudes car il résulte de voies de rejets (transfert dans les stations d'épuration, transport fluvial, sédimentation) encore mal comprises. L'abrasion des pneus des véhicules motorisés illustre bien la problématique. On estime la perte de caoutchouc à 100 mg/km (1 g/10 km) pour un véhicule particulier (Kole et al. 2017). Cependant, la part terminant dans l'environnement marin reste incertaine, puisqu'elle fluctue entre 2 % et 44 % selon les sources. En outre, très peu d'études empiriques ont été menées pour mesurer ces rejets dans l'environnement (Boucher et Friot, 2017 ; Wagner et al. 2018 ; Unice et al. 2018).

LA QUESTION DU DEVENIR ET DES IMPACTS

La modélisation du devenir semble constituer la première étape à franchir avant de passer à l'évaluation de l'impact. Il est indispensable de pouvoir répondre à des questions clés telles que le taux de dégradation de différents polymères dans l'environnement marin, le taux de fragmentation des macroplastiques en microplastiques secondaires, et la durée d'exposition potentielle des organismes. Étant donné la stratification de la colonne d'eau, il s'avère indispensable de mieux comprendre le comportement des débris dans cette dernière.

LES CONTRAINTES INHÉRENTES À LA MESURE DE LA POLLUTION PLASTIQUE SUR LE TERRAIN

L'efficacité des méthodes « top-down » (c.à.d. basée sur des modélisations) doit être validée par des études sur le terrain. Or, les résultats de la modélisation et des approches de terrain sont rarement concordants. Par exemple, la présence de 250 000 à 300 000 kt de débris a été signalée dans l'océan mondial (Eriksen et al. 2014 ; van Sebille et al. 2015).

L'ordre de grandeur de ce chiffre est quasiment vingt fois plus faible que celui des prévisions annuelles basées sur des modèles (4 à 12 Mt, Jambeck et al. 2015). Un débat oppose la communauté scientifique autour de la distribution spatiale et le devenir des plastiques dans la colonne d'eau. On ignore si le plastique coule et s'accumule sur le plancher océanique (auquel cas il ne peut être mesuré par échantillonnage en surface, Woodall et al. 2014 ; Koelmans et al. 2017), s'il se propage dans la chaîne alimentaire ou encore s'il se déplace dans la colonne d'eau (Kooi et al. 2017).

Il convient également de garder à l'esprit que les méthodes d'échantillonnage contemporaines ne sont peut-être pas adaptées à la détection de particules de très petite taille et que les modèles de correction sont parfois omis.

i. Certaines études axées sur la quantification en surface n'utilisent pas de modèles de correction pour les échantillonnages effectués dans des conditions venteuses. Or, les concentrations peuvent être largement sous-estimées en raison du vent et de la houle. Il s'agit d'un vrai désavantage pour ces tentatives d'évaluation de la pollution plastique quand on sait que les concentrations de plastique (principalement des meso – ≤1 cm-≥5 mm et micro plastiques – ≤5 mm) peuvent être 2,5 fois plus élevées quand on applique des modèles de correction du vent pour des vents supérieurs à 8 nœuds (Kukulka et al. 2012).

ii. Lors de l'échantillonnage des débris de surface, les chercheurs ont tendance à proposer les résultats sous la forme d'un nombre moyen de particules par surface (débris par km^2) et d'un nombre total de particules comptées. Le poids des débris est rarement indiqué, même en tant qu'information complémentaire.

iii. Les méthodologies d'échantillonnage (durée et vitesse, dimensions des filets et taille des mailles) varient considérablement d'une étude à l'autre, ce qui influe sur les quantités de débris retenues par les filets d'échantillonnage. Il n'existe pas d'approche standard de l'échantillonnage du plastique en mer et, en raison de différences méthodologiques dans l'élaboration des bases de données, les ensembles de données sont rarement comparables (Whitacre, 2012).

iv. L'abondance des microplastiques semble varier en fonction de la profondeur dans la colonne d'eau. Cela concerne principalement les débris de plus petite taille (10 µm, soit 0,01 mm), qui coulent au fond de la mer différemment comparés aux microplastiques de plus grande taille (Enders et al. 2015). On constate que l'abondance de débris de plus grande taille (par exemple, de 1 mm) décroît à mesure que l'on descend en profondeur, ce qui signifie qu'ils se concentrent à la surface. Les débris plus petits (10 µm) présentent une abondance relativement constante sur la tranche allant de 0 à 100 m de profondeur. Une autre étude a découvert que l'abondance de débris de moins de 300 µm augmentait avec la profondeur et que les fibres artificielles constituaient le principal représentant de la famille des plastiques dans la colonne d'eau (Dai et al. 2018).

v. Il demeure des incertitudes concernant les taux de sédimentation des microplastiques depuis la surface jusqu'au plancher océanique. Ce processus est fonction de deux facteurs principaux : le « biofouling » et la stratification des eaux.

Biofouling : on définit ce processus comme étant « l'accumulation d'organismes sur les surfaces immergées, susceptible d'influer sur l'hydrophobicité et la flottabilité du plastique » (Kooi et al. 2017). Une fois chargées en matière organique, les particules commencent à osciller en fonction des rythmes de la photosynthèse (Kooi et al. 2017).

Stratification et circulation des eaux : des masses d'eau de densité différente sont présentes dans les mers et les océans, notamment en Méditerranée. Par exemple, les masses d'eau de surface et les masses d'eaux profondes présentent des modèles de circulation indépendants, dont les effets sur le transfert de particules de plastiques vers le fond ne sont pas encore connus (El-Geziry et Bryden, 2010).

L'analyse des échantillons de plastique repose sur des procédures manuelles, ralentissant l'effort de collecte et d'analyse des données de terrain. Le développement de protocoles de mesure plus automatisés, basés par exemple sur le « machine learning », pourrait apporter des améliorations considérables dans ce domaine. En outre, le traçage de particules spécifiques telles que les poussières de pneu nécessiterait une validation des ordres de grandeur fournis par les modèles « top-down ».

CONCLUSION

Il n'existe pas de solution simple à ce problème mondial complexe. Aujourd'hui, les décideurs politiques et les industriels prennent des décisions dans un contexte des plus incertains. N'oublions pas que les matériaux plastiques offrent parfois plus d'avantages environnementaux que d'inconvénients, puisque leur légèreté permet de réduire les émissions de CO_2 pendant le transport.

Seul ce qui peut être mesuré peut être résolu. Il faut mettre en place des indicateurs efficaces de la pollution plastique afin d'encadrer les stratégies d'éco-conception et de gestion des déchets, tout en tenant compte des équilibres complexes en matière d'impact environnemental.

Malgré le besoin d'agir vite et de mettre en place des indicateurs efficaces, il ne faut pas oublier les solutions de bon sens, qui recommandent de bien gérer ses déchets et de ne pas surconsommer de plastique. Ces solutions doivent être mises en œuvre sans tarder. En outre, des stratégies rationnelles de gestion des déchets, associées à une campagne de sensibilisation publique, apporteraient des bienfaits dans un grand nombre de domaines. Il s'agit d'actions à petite échelle, mais elles sont réalisables et pourraient nous aider à effacer notre « empreinte plastique » sur le milieu marin.

RÉFÉRENCES

Boucher, Julien, et Damien Friot. 2017. "Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources." UICN.

Dai, Zhenfei, Haibo Zhang, Qian Zhou, Yuan Tian, Tao Chen, Chen Tu, Chuancheng Fu, et Yongming Luo. 2018. "Occurrence of Microplastics in the Water Column and Sediment in an Inland Sea Affected by Intensive Anthropogenic Activities." *Environmental Pollution* 242 (novembre) : 1557–65. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.131.

Ehrlich, Paul R., et John P. Holdren. 1971. "Impact of Population Growth." *Science* 171 (3977) : 1212–17.

El-Geziry, T. M., et I. G. Bryden. 2010. "The Circulation Pattern in the Mediterranean Sea: Issues for Modeller Consideration." *Journal of Operational Oceanography* 3 (2) : 39–46. https://doi.org/10.1080/1755876X.2010.11020116.

Enders, Kristina, Robin Lenz, Colin A. Stedmon, et Torkel G. Nielsen. 2015. "Abundance, Size and Polymer Composition of Marine Microplastics ≥ 10 mm in the Atlantic Ocean and Their Modelled Vertical Distribution." *Marine Pollution Bulletin* 100 (1) : 70–81. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.027.

Eriksen, Marcus, Laurent C. M. Lebreton, Henry S. Carson, Martin Thiel, Charles J. Moore, Jose C. Borerro, Francois Galgani, Peter G. Ryan, et Julia Reisser. 2014. "Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea." Édité par Hans G. Dam. *PLoS ONE* 9 (12) : e111913. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913.

Essel, Roland, Linda Engel, Michael Carus, et D. Ralph Heinrich Ahrens. n.d. "Sources of Microplastics Relevant to Marine Protection in Germany", 48.

EUNOMIA. 2016. "Plastics in the Marine Environment"

Everaert, Gert, Lisbeth Van Cauwenberghe, Maarten De Rijcke, Albert A. Koelmans, Jan Mees, Michiel Vandegehuchte, et Colin R. Janssen. 2018. "Risk Assessment of Microplastics in the Ocean: Modelling Approach and First Conclusions". *Environmental Pollution* 242 (novembre) : 1930–38. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.069.

FSLCI. 2018. "Workshop Report: Connecting Expert Communities to Address Marine Litter in Life Cycle Assessment – FSLCI e.V." 2018. https://fslci.org/marinelitter/.

Geyer, Roland, Jenna R. Jambeck, et Kara Lavender Law. 2017. "Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made." *Science Advances* 3 (7) : e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782.

Gregory, M. R. 2009. "Environmental Implications of Plastic Debris in Marine Settings–Entanglement, Ingestion, Smothering, Hangers-on, Hitch-Hiking and Alien Invasions." *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 364 (1526) : 2013–25. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265.

Jambeck, Jenna R, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, et Kara Lavender Law. n.d. "Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean", 4.

Koelmans, Albert A, Merel Kooi, Kara Lavender Law, et Erik van Sebille. 2017. "All Is Not Lost: Deriving a Top-down Mass Budget of Plastic at Sea". *Environmental Research Letters* 12 (11) : 114028. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9500.

Kole, Pieter Jan, Ansje J. Löhr, Frank G. A. J. Van Belleghem, et Ad M. J. Ragas. 2017. "Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment". *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14 (10) : 1265. https://doi.org/10.3390/ijerph14101265.

Kooi, Merel, Egbert H. van Nes, Marten Scheffer, et Albert A. Koelmans. 2017. "Ups and Downs in the Ocean: Effects of Biofouling on Vertical Transport of Microplastics". *Environmental Science & Technology* 51 (14) : 7963–71. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04702.

Kukulka, T., G. Proskurowski, S. Morét-Ferguson, D. W. Meyer, et K. L. Law. 2012. "The Effect of Wind Mixing on the Vertical Distribution of Buoyant Plastic Debris: WIND EFFECTS ON PLASTIC MARINE DEBRIS". *Geophysical Research Letters* 39 (7) : n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2012GL051116.

Lassen, Carsten, Steffen Foss Hansen, Kerstin Magnusson, Nanna B. Hartmann, Rehne Jensen Pernille, Torkel Gissel Nielsen, et Anna Brinch. 2015. "Microplastics - Occurrence, Effects and Sources of Releases to the Environment in Denmark". Copenhague : Agence danoise de protection de l'environnement.

Lebreton, Laurent C. M., Joost van der Zwet, Jan-Willem Damsteeg, Boyan Slat, Anthony Andrady, et Julia Reisser. 2017. "River Plastic Emissions to the World's Oceans". *Nature Communications* 8 (juin) : 15611. https://doi.org/10.1038/ncomms15611.

Lee, Jeo. n.d. "Economic Valuation of Marine Litter and Microplastic Pollution in the Marine Environment: An Initial Assessment of the Case of the United Kingdom", 17.

Magnusson, K., K. Eliasson, A. Fråne, K. Haikonen, J. Hultén, M. Olshammar, J. Stadmark, et A. Voisin. 2016. "Swedish Sources and Pathways for Microplastics to the Marine Environment". Stockholm, Suède : IVL Svenska Miljöinstitutet.

PlasticsEurope. 2017. "Plastics - the Facts 2017: PlasticsEurope". https://www.plasticseurope.org/fr/resources/publications/plastics-facts-2017.

Reisser, J., B. Slat, K. Noble, K. du Plessis, M. Epp, M. Proietti, J. de Sonneville, T. Becker, et C. Pattiaratchi. 2015. "The Vertical Distribution of Buoyant Plastics at Sea: An Observational Study in the North Atlantic Gyre". *Biogeosciences* 12 (4) : 1249–56. https://doi.org/10.5194/bg-12-1249-2015.

Schmidt, Christian, Tobias Krauth, et Stephan Wagner. 2017. "Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea". *Environmental Science & Technology* 51 (21) : 12246–53. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368.

Sebille, Erik van, Chris Wilcox, Laurent Lebreton, Nikolai Maximenko, Britta Denise Hardesty, Jan A van Franeker, Marcus Eriksen, David Siegel, Francois Galgani, et Kara Lavender Law. 2015. "A Global Inventory of Small Floating Plastic Debris". *Environmental Research Letters* 10 (12) : 124006. https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124006.

Stephanis, Renaud de, Joan Giménez, Eva Carpinelli, Carlos Gutierrez-Exposito, et Ana Cañadas. 2013. "As Main Meal for Sperm Whales: Plastics Debris". *Marine Pollution Bulletin* 69 (1–2) : 206–14. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.033.

UN Environment. 2018. "Mapping of Global Plastics Value Chain and Plastics Losses to the Environment (with a Particular Focus on Marine Environment)". Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Nairobi, Kenya.

Unice, K. M., M. P. Weeber, M. M. Abramson, R. C. D. Reid, J. A. G. van Gils, A. A. Markus, A. D. Vethaak, et J. M. Panko. 2018. "Characterizing Export of Land-Based Microplastics to the Estuary – Part II: Sensitivity Analysis of an Integrated Geospatial Microplastic Transport Modeling Assessment of Tire and Road Wear Particles". *Science of The Total Environment*, août. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.301.

Wagner, Stephan, Thorsten Hüffer, Philipp Klöckner, Maren Wehrhahn, Thilo Hofmann, et Thorsten Reemtsma. 2018. "Tire Wear Particles in the Aquatic Environment - A Review on Generation, Analysis, Occurrence, Fate and Effects". *Water Research* 139 (août) : 83–100. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.051.

WEF, 2016, The new plastic economy - rethinking the future of plastics. Available at: http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications

Whitacre, David M. 2012. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Volume 220*. New York : Springer.

Woodall, L. C., A.w Sanchez-Vidal, M. Canals, G. L. J. Paterson, R. Coppock, V. Sleight, A. Calafat, A. D. Rogers, B. E. Narayanaswamy, et R. C. Thompson. 2014. "The Deep Sea Is a Major Sink for Microplastic Debris". *Royal Society Open Science* 1 (4) : 140317–140317. https://doi.org/10.1098/rsos.140317.