

L'ESSENTIEL

> Depuis les années 1950, plusieurs milliards de tonnes de plastiques se sont accumulées dans l'environnement, où ils persistent sous la forme de fragments de différentes tailles allant jusqu'à l'échelle nanométrique.

> Cette pollution en cache une autre : celle des multiples additifs, impuretés, produits secondaires et monomères qui, outre les polymères issus du pétrole, interviennent dans la composition des plastiques.

> De telles substances entrent aussi dans la composition des bioplastiques. Libérées au fil du temps, elles contaminent les liquides, les solides et l'air environnants.

> Les scientifiques développent de nouvelles méthodes pour évaluer leurs effets sur la santé et l'environnement.

L'AUTEUR



JEAN-BAPTISTE FINI
professeur et biologiste spécialiste des perturbateurs endocriniens au sein du laboratoire Physiologie moléculaire et adaptation, au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris

La pollution invisible des plastiques

Contenants, vêtements, pneus, meubles, masques... Quelle que soit leur utilisation, les plastiques contiennent de multiples substances qui diffusent dans l'environnement. On commence à mesurer l'ampleur du phénomène.

Chaque année, les humains déversent plus de 100 millions de tonnes de déchets plastiques dans la nature. De fait, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, le plastique a envahi nos sphères professionnelles et privées et fait partie intégrante de notre vie quotidienne. Dans cette ère du « Plastocène », l'humanité a produit 8,3 milliards de tonnes de plastiques entre 1950 et 2015, selon les estimations de Roland Geyer, de l'université de Californie à Santa Barbara, Jenna Jambeck, de l'université de Géorgie, aux États-Unis, et leurs collègues. Et la production ne cesse de croître : à hauteur de 2 millions de tonnes en 1950, elle atteignait près de 400 millions de tonnes en 2015, dont près de 40 % d'emballages.

Aujourd'hui, quelque 6 milliards de tonnes de plastiques se seraient accumulées dans la nature, dont une part non négligeable dans les océans – le tristement célèbre septième

continent. Selon la même équipe, durant la seule année 2015, entre 5 et 14 millions de tonnes de déchets plastiques auraient atteint la mer. En effet, que ce soit sur terre ou en mer, ces déchets ne se décomposent pas. Qu'ils soient ingérés ou non, ils se fragmentent peu à peu jusqu'à devenir des microplastiques, voire des nanoplastiques (voir l'encadré page 57).

Or cette pollution bien visible, à l'œil nu ou au microscope, cache une pollution plus insidieuse : celle des multiples composés entrant dans la fabrication des plastiques aux côtés des polymères qui les constituent. En effet, on s'est aperçu ces dernières années qu'au fil du temps, ces composés se détachent peu à peu des polymères plastiques et diffusent dans l'environnement. Un phénomène dont on commence à saisir l'ampleur et les effets potentiels sur la santé et l'environnement.

Les plastiques sont des matériaux abordables et peu coûteux à produire, légers, résistants et polyvalents. Les principaux polymères



utilisés pour les fabriquer sont classés en sept familles repérées par un numéro et une icône qui indique qu'en théorie ces plastiques sont recyclables (voir la figure ci-dessus). En pratique, c'est loin d'être le cas (voir l'article de Nathalie Gontard page 46). À côté de ces sept familles, notamment très utilisées pour les contenants alimentaires, les industriels développent constamment de nouvelles formulations fondées sur des mélanges complexes de monomères différents. Mais, quel que soit le plastique considéré, d'un point de vue chimique, ses composés principaux – les monomères qui s'assemblent pour former les polymères – ne sont pas ses seuls composants. Les industriels utilisent de multiples additifs en quantités variables dans leurs formulations.

DE MULTIPLES ADDITIFS

Ces additifs tels que des plastifiants, des retardateurs de flamme, des stabilisateurs, des antioxydants ou des pigments permettent de modifier l'aspect du plastique ou d'améliorer sa fonctionnalité. Outre ces additifs, on trouve aussi dans les plastiques des monomères non polymérisés et des substances ajoutées non intentionnellement (ou *Nias*, pour *Non-intentionally added substances* dans la réglementation européenne), comme des impuretés et produits secondaires ou de dégradation. Or la plupart de ces éléments ne sont pas chimiquement liés de manière covalente au polymère. Ils peuvent donc être libérés lors du cycle de vie des plastiques soit par migration vers des liquides ou des solides soit par volatilisation. Il en résulte un transfert de ces substances

dans les produits alimentaires emballés ainsi que dans les environnements humains (air intérieur, poussières domestiques) et naturels (les rivières et les mers).

Plus de 1200 études scientifiques démontrent clairement la migration de plusieurs molécules à partir de matériaux plastiques en contact avec les aliments. Cette migration est augmentée par la température, la durée de stockage et la composition chimique de l'article en contact. Pour les aliments, l'épaisseur de la couche en contact avec les aliments et la taille de l'emballage sont aussi des paramètres aggravants, la migration étant proportionnellement plus élevée dans les emballages de petite taille en raison de l'augmentation du rapport surface/volume. Du simple fait de leur abondance, les matières plastiques constituent donc une source importante d'exposition humaine à ces substances. Avec quels effets sur la santé et l'environnement? C'est toute la question.

Un exemple édifiant des effets potentiels de ces molécules sur la santé humaine est venu des travaux d'Ana Soto et Carlos Sonnenschein, de l'université Tufts, à Boston, et leurs collègues, en 1991. Ces chercheurs avaient développé un test fondé sur la prolifération de cellules humaines de cancer du sein sous l'action d'œstrogènes, les hormones féminines. Ce test permettait d'évaluer le pouvoir anticancéreux de médicaments potentiels. De façon fortuite, ces biologistes se sont aperçus que le *p*-nonylphénol, un tensioactif utilisé dans une nouvelle formulation de tubes en plastique (et toujours utilisé dans de multiples formulations), faisait proliférer

LES SEPT PRINCIPALES FAMILLES DE PLASTIQUES

Dans le paysage des plastiques, ces quelques familles sont surreprésentées pour raisons économiques. Elles interviennent dans la fabrication de nombreux contenants et emballages destinés à être en contact avec des aliments et des boissons.

les cellules cancéreuses de leur test de manière similaire à l'hormone naturelle 17β-œstradiol, et ce à des quantités auxquelles nous pouvons être exposés.

Un autre exemple bien connu est celui du bisphénol A, monomère utilisé pour fabriquer les plastiques en polycarbonate et reconnu comme perturbateur endocrinien – c'est-à-dire comme agent exogène qui perturbe le fonctionnement des hormones et induit des effets délétères sur un individu ou sa descendance. En France, jusqu'en 2010, il est entré dans la composition des biberons et, jusqu'en 2015, dans celle de nombreux contenants alimentaires, avant d'être interdit. Même si le bisphénol A n'est pas censé migrer du plastique vers le contenu, de faibles quantités non polymérisées sont susceptibles d'être libérées et absorbées. En 2017, l'Agence européenne des produits chimiques (Echa) a reconnu le bisphénol A comme substance très préoccupante, mais la plupart des pays européens l'utilisent encore.

Pour autant, les molécules de substitution promues – les bisphénols F et S – ne sont pas inertes. Cela est d'autant plus inquiétant que nous sommes tous exposés à ces molécules et imprégnés, comme l'a montré Santé publique France en 2019 avec l'étude Esteban. Menée sur 897 adultes et 500 enfants de France continentale, cette étude a révélé la présence de bisphénols A, S et F chez la quasi-totalité des personnes de la cohorte.

D'autres molécules particulièrement préoccupantes sont les phtalates, utilisés comme plastifiants pour assouplir les plastiques ou les rendre non coupants. Ces molécules ne sont

EN CHIFFRES

4,9 milliards de tonnes

Sur les 8,3 milliards de tonnes de plastiques produites entre 1950 et 2015, 4,9 milliards de tonnes, soit 60 %, n'ont été ni recyclées ni incinérées et se sont accumulées dans la nature. Ces déchets plastiques pourraient atteindre 12 milliards de tonnes en 2050.

640 000 à 1 500 000

C'est le nombre de microfibres plastiques libérées durant le lavage en machine de 1 kilogramme de vêtements synthétiques, selon les caractéristiques du textile lavé. La majorité de ces microfibres sont assez petites pour traverser les filtres des stations d'épuration.

12 000

Environ 12 000 additifs intervenant dans la composition de contenants en plastique et entre 30 000 et 100 000 substances ajoutées non intentionnellement sont susceptibles de migrer vers des aliments par contact.

Sources des chiffres : R. Geyer et al., *Science Advances*, vol. 3, e1700782, 2017 ; F. De Falco et al., *Sci. Rep.*, vol. 9, 6633, 2019 ; J. Muncke et al., *Environ. Health*, vol. 19, 25, 2020.

pas liées de manière covalente aux plastiques et diverses études ont montré que certains composés à courte chaîne (le diéthylhexylphthalate ou DEHP, notamment) peuvent empêcher l'action des hormones masculines et perturber le fonctionnement des hormones thyroïdiennes. Or leurs métabolites ont été détectés dans 80 à 99 % des échantillons d'adultes et d'enfants de l'étude Esteban, ainsi que chez 92 % à 98 % de la population générale des États-Unis, selon une autre étude menée en 2014 sur quelque 11 000 participants.

Ainsi, diverses molécules entrant dans la composition des plastiques sont susceptibles de s'en détacher et de prendre la place d'hormones naturelles ou de bloquer leurs actions. Mais la législation avance lentement. Pas simple en effet de démontrer l'effet délétère d'une substance contenue dans des plastiques, surtout s'il apparaît plusieurs décennies après l'exposition, par exemple quand celle-ci concerne de futurs parents durant la vie fœtale de l'enfant ou même avant.

5300 FORMULATIONS DE POLYMÈRES

D'autant que le nombre de molécules autorisées pour la formulation des plastiques est vertigineux – et celui des formulations l'est tout autant ! Aujourd'hui, plus de 5300 formulations de polymères sont disponibles dans le commerce et plus de 4000 substances connues sont associées aux seuls emballages plastiques. Or selon une récente analyse de Jane Muncke, de la fondation suisse Food Packaging Forum, et ses collègues, environ 12000 substances sont

Les principales catégories d'additifs entrant dans la composition des plastiques

Catégories	Exemples de substances	Informations supplémentaires
Plastifiants	Phtalates, paraffines chlorées	Environ 80 % sont utilisés dans les plastiques en PVC, 20 % dans ceux en cellulose.
Retardateurs de flamme	Paraffines chlorées, tétrabromobisphénol A	
Antioxydants et stabilisants aux UV	Bisphénol A, composés en cadmium et en plomb, phénols, phosphites	Leur quantité dépend de leur structure et de celle du polymère plastique.
Stabilisants thermiques	Composés en cadmium et en plomb, nonylphénol	Utilisés principalement dans le PVC
Biocides	Composés à l'arsenic, triclosan	Utilisés principalement dans le PVC mou et les mousses de polyuréthanes
Pigments	Composés de cadmium, chrome, plomb, dioxyde de titane	
Solvants, catalyseurs	Antimoine dans le PET	Permettent la production