

Les microplastiques dans les denrées alimentaires et l'environnement

Auteur : McLachlan, Laura

Promoteur(s) : Scippo, Marie-Louise

Faculté : Faculté de Médecine Vétérinaire

Diplôme : Master en médecine vétérinaire

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/7025>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

LES MICROPLASTIQUES DANS LES DENREES ALIMENTAIRES ET L'ENVIRONNEMENT

***MICROPLASTICS IN FOOD AND IN THE
ENVIRONMENT***

Laura McLACHLAN

Travail de fin d'études

présenté en vue de l'obtention du grade

de Médecin Vétérinaire

ANNEE ACADEMIQUE 2018-2019

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur

LES MICROPLASTIQUES DANS LES DENRÉES ALIMENTAIRES ET L'ENVIRONNEMENT

***MICROPLASTICS IN FOOD AND IN THE
ENVIRONMENT***

Laura McLACHLAN

Tuteur: Marie-Louise Scippo, Département des Sciences des Denrées alimentaires

Travail de fin d'études

présenté en vue de l'obtention du grade

de Médecin Vétérinaire

ANNEE ACADEMIQUE 2018-2019

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur

LES MICROPLASTIQUES DANS LES DENREES ALIMENTAIRES ET L'ENVIRONNEMENT

OBJECTIF DU TRAVAIL

L'objectif de ce travail est de comprendre l'origine des microplastiques et dans quelle mesure l'environnement et l'Homme y sont exposés. Leur présence dans les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine est étudiée en particulier. Ce travail expose les méthodes utilisées pour les détecter dans la chaîne alimentaire et évaluer l'exposition des êtres humains. De plus, des solutions pour réduire leur présence dans l'environnement sont apportées.

RESUME

Les microplastiques sont de petites particules de plastique de diamètre inférieur à 5 mm. Ils sont soit d'origine primaire, c'est-à-dire produits intentionnellement à cette taille, soit d'origine secondaire, provenant de la dégradation des macroplastiques. Les microplastiques primaires se retrouvent dans les produits cosmétiques, les vêtements synthétiques, les pneus de voiture et de nombreuses autres fabrications humaines. Les microplastiques secondaires vont principalement se retrouver dans le milieu aquatique, après la dégradation des plastiques de grande taille par les forces du vent, des vagues ou sous l'effet des rayons UV. Les microplastiques sont omniprésents. En effet, on en retrouve partout dans le monde, même dans les endroits inoccupés par l'Homme. Il existe des méthodes de détection qui ont permis de découvrir la présence de ces microparticules de plastiques dans les mammifères marins mais également dans l'eau que nous buvons et les denrées alimentaires que nous consommons. De nombreuses études recherchent les problèmes potentiels de santé auxquels les animaux ainsi que les humains sont confrontés. Des solutions doivent rapidement être mises en place car la quantité de microplastiques présents dans l'environnement ne cesse d'augmenter chaque

jour. Avec la technologie actuelle, il n'est pas possible de se débarrasser des microparticules déjà présentes dans l'environnement. Il est donc nécessaire d'agir à d'autres niveaux, que ce soit par la suppression des microplastiques primaires, des macroplastiques à usage unique, par l'action d'informer la population sur l'urgence de réduire la consommation de plastique, ou l'importance du recyclage et de la réutilisation. Des recherches sont également menées actuellement pour trouver des bio-alternatives au plastique telles que des algues ou du maïs.

MICROPLASTICS IN FOOD AND IN THE ENVIRONMENT

AIM OF THE WORK

The aim of this work is to understand the origin of microplastics and their degree of exposure to the environment and humans. Their presence in food intended for human consumption is studied in particular. This work describes the methods used to detect them in the food chain and evaluate human exposure. In addition, studies are trying to find solutions to reduce their presence in the environment.

SUMMARY

Microplastics are plastic particles smaller than 5 mm in diameter. Their sources are either primary issued from products intentionally manufactured in such sizes, or of secondary nature, resulting from the breakdown of macroplastics into smaller pieces. Primary microplastics are found in cosmetics, synthetic clothes, car tires and many other human products. Secondary microplastics are mainly found in the marine environment, formed from the breakdown of larger plastics by the mechanical forces of wind, waves or due to the degradation by ultraviolet radiation. Microplastics are ubiquitous. Indeed, we find them everywhere around the world, even in places unoccupied by humans. Detection methods have enabled us to discover the presence of these microparticles of plastics in marine mammals as well as in the water that we drink and the food that we eat. At present there are many studies that are researching the potential health problems facing both animals and humans associated with microplastics. The concentration of microplastics in the environment is increasing daily. Solutions must quickly be put in place. With current technology it is not possible to get rid of microparticles already present in the environment. It is therefore necessary to act at other levels, whether by the suppression of primary microplastics, single use macroplastics, by informing the population of the urgency to reduce the consumption of plastic, or by increasing the participation of the general population in recycling and reuse. Research is also being conducted to find bio-alternatives to plastic such as seaweed or corn.

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Madame Scippo pour son aide et ses conseils avisés tout au long de l'année. Je tiens également à remercier ma famille de m'avoir aidée à garder ma motivation quelles que soient les difficultés survenues.

Table des matières

1.	Introduction	8
2.	Microplastiques	8
2.1.	Microplastiques primaires	9
2.2.	Microplastiques secondaires.....	10
3.	Répartition environnementale	11
4.	Détection des microplastiques.....	14
5.	Microplastiques dans les denrées alimentaires.....	16
5.1.	L'eau minérale	16
5.2.	Le miel.....	17
5.3.	Les animaux aquatiques consommés.....	18
6.	Effets néfastes des microplastiques	19
6.1.	Macro- et microplastiques en tant que dangers physiques	19
6.2.	Microplastiques en tant que dangers chimiques	20
6.2.1.	Composés chimiques utilisés comme monomères pour la synthèse de polymères de plastique	20
6.2.2.	Additifs.....	22
6.2.3.	Libération de POP's (polluants organiques persistants)	23
6.3.	Evaluation du risque chez l'homme	24
7.	Solutions	26
7.1.	Nettoyage des macroplastiques dans l'océan	26
7.2.	Supprimer le plastique à usage unique	28
7.3.	Le Recyclage	28
7.4.	Alternatives au plastique	29
8.	Conclusion.....	30
9.	Bibliographie	31

1. Introduction

Depuis les années 1950, la production de plastique ne cesse d'augmenter. Selon PlasticsEurope, la production mondiale de plastique en 1950 était de 1.7 million de tonnes/an contre plus de 348 millions de tonnes en 2017 (PlasticsEurope & EPRO, 2018).

Leur première découverte date du début des années 1970 (GESAMP, 2015) mais peu de scientifiques s'y sont intéressés à cette époque. Aujourd'hui, les scientifiques s'inquiètent à leur sujet. En effet, la surconsommation mondiale et la résistance à la dégradation mène à une accumulation importante de plastique dans l'environnement. De plus, nos ressources sont limitées quant au retrait de ces particules une fois présentes dans l'environnement. Les microplastiques peuvent également causer des effets néfastes aux organismes, ce qui indique l'urgence de la nécessité d'agir à leur sujet (European Chemicals Agency, 2019). Il existe différentes méthodes de détection des microplastiques pour évaluer leur présence dans l'environnement ainsi que dans les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine. Des études révèlent la contamination de l'eau minérale ainsi que de la bière et du miel. Cependant, les microplastiques auraient potentiellement des effets chimiques en relarguant aussi bien des substances chimiques entrant dans leur composition que des substances adsorbées dans l'environnement. Cela engendrerait-il un risque pour la santé humaine? Quelles solutions peut-on apporter?

2. Microplastiques

Il n'existe à ce jour aucune définition internationalement reconnue des microplastiques. On les définit souvent comme des petites particules de plastique allant de 0.1 μm à 5 mm de diamètre (GESAMP, 2015; EFSA, 2016; European Chemicals Agency, 2019). Un classement du plastique se fait par taille (Tableau 1).

Tableau 1: Classement par taille des particules de plastique (De Witte et al, 2017).

	Diamètre des particules
Macroplastique	> 25 mm
Mesoplastique	5-25 mm
Microplastique	0.1 μm -5 mm
Nanoplastique	0.001-0.1 μm

Les microplastiques peuvent se présenter sous différentes formes telles que des fibres, fragments, sphéroïdes, granules, pellets, perles (EFSA, 2016). Ces microplastiques peuvent être d'origine primaire, c'est-à-dire intentionnellement produits à cette taille, ou secondaire, c'est-à-dire issus de la dégradation de macro-ou mesoplastiques.

2.1. Microplastiques primaires

Les microplastiques primaires d'un diamètre inférieur à 5 mm sont fabriqués intentionnellement par les industries de plastique (Auta et al., 2017). Cette petite taille permet entre autre de contrôler la viscosité, la stabilité et l'aspect physique du produit ou encore d'avoir un effet abrasif (European Chemicals Agency, 2017). Les microplastiques primaires se retrouvent dans de nombreux produits cosmétiques, produits de nettoyage, dans le gazon artificiel, les filets de pêches,... (European Comission, 2017). Les figures 1 à 6 en illustrent des exemples.

Il se peut que des microplastiques primaires se retrouvent dans des produits industriels mais de manière non-intentionnelle. Malgré cela, le résultat reste le même: les microplastiques se retrouvent dans l'environnement. Les quatre sources principales de ces derniers sont par ordre décroissant: les pneus de voiture, les marquages à base de peinture, les résines de plastique et les vêtements synthétiques sous forme de fibres synthétiques (Hann et al., 2018). En effet, avec l'effet de friction des pneus contre la route lors d'accélération, de freinage ou encore lorsque les routes sont fortement abrasives, les pneus vont s'user. Des microplastiques entrant dans la composition du pneu se détachent et se retrouvent sur la route. Ils peuvent ensuite être entraînés avec l'eau de pluie dans les systèmes d'épuration (Hann et al., 2018). Ces derniers ne sont pas retenus par le système d'épuration car il n'est pas prévu pour retenir des particules aussi petites. Par conséquent, ils sont relargués dans les eaux (SAPEA, 2019). Il en va de même pour les microplastiques sous forme de fibres synthétiques retrouvés dans les vêtements synthétiques. Dans l'étude réalisée par Brown et collaborateurs (2011), les auteurs ont découvert que les vêtements synthétiques sont une source majeure de microplastiques dans le milieu marin. Ces fibres sont principalement constituées de polyester (78%) et de fibres acrylique (22%). La majorité de fibres synthétiques trouvées dans les sédiments marins et les effluents des eaux usées ressemblait fortement aux fibres utilisées dans les vêtements synthétiques. Ils ont donc analysé les effluents de machines à laver avec et sans vêtements et ont découvert que plus de 100 fibres étaient relarguées par litre d'effluent. Un seul vêtement synthétique pouvait relarguer jusqu'à 1900 fibres synthétiques en une seule machine (Brown et al., 2011).

Figures 1 à 6: Exemples de microplastiques primaires

	
<p>Figure 1: Gazon artificiel (Hann et al., 2018)</p>	<p>Figure 2: Peinture de route (https://pixabay.com/en/road-marking-road-roads-462621/)</p>
	
<p>Figure 3: Produits cosmétiques (European Commission, 2017)</p>	<p>Figure 4: fibres de vêtements synthétiques (http://www.juniorwaterprize.fr/pollution-cours-deau-oceans-fibres-synthetiques/)</p>
	
<p>Figure 5: Pellets de plastique (European Comission, 2017)</p>	<p>Figure 6: Microplastiques provenant de l'usure de pneus (https://www.boomerangalliance.org.au/)</p>

2.2. Microplastiques secondaires

Dans l'environnement, en particulier dans l'océan, le plastique est confronté à des forces mécaniques, physiques et biologiques. En effet, suite à l'oxydation par les rayons UV, les faibles températures ainsi que l'abrasion mécanique des vagues et du sable, le plastique se dégrade et est réduit à des débris. Les microplastiques secondaires sont ainsi issus de la fragmentation des macroplastiques (Andrade, 2011; Auta et al., 2017). En 2015, il a été estimé que plus de 150 millions de tonnes de plastique étaient accumulées dans les océans et

que 4.6-12.7 millions de tonnes étaient ajoutées chaque année (Jambeck et al., 2015). Tous ces déchets constituent une source majeure pour la formation de microplastiques secondaires.

3. Répartition environnementale

Les microparticules de plastique peuvent être retrouvées partout dans l'environnement. En réalité, on en retrouve aussi bien dans les océans, lacs, rivières que dans l'eau que nous buvons, les denrées alimentaires que nous consommons et même l'air que nous respirons. Ils sont omniprésents. Les stations d'épurations ne sont pas adaptées pour filtrer des particules aussi petites et participent ainsi à leur relargage dans l'environnement (Toussaint et al., 2019). Leur transport va dépendre de la taille, la forme mais aussi de la densité du polymère.

La densité du polymère va déterminer si celui-ci flotte ou non à la surface de l'eau de mer. La densité est la relation entre la masse du corps et son volume: $\rho = m / V$. Elle est exprimée en g/cm^3 suivant le Système International (S.I) (Zuccarello et al., 2019). La densité de l'eau de mer étant de 1.02 g/cm^3 , les polymères qui ont une densité plus faible flotteront à la surface et ceux ayant une densité plus élevée couleront. Ces derniers sédimeront au fond des océans, lacs et cours d'eau, et rejoindront la faune et la flore benthique. Parmi les polymères les plus communs, seuls le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) et le polystyrène (PS) flotteront, comme le montrent le tableau 3 et la figure 7. Au contraire, le polyvinyl chloride (PVC), le polyamide (PA) et le polyethylene terephthalate (PET) couleront (Andrady, 2011).

Tableau 2: Classification des polymères selon leur densité (Andrady, 2011).

Categories or classes	Common applications	Specific gravity
Polyethylene (PE)	Plastic bags, six-pack rings, gear	0.91-0.94
Polypropylene (PP)	Rope, bottle caps, gear, strapping	0.90-0.92
Polystyrene (expanded) (PS)	Bait boxes, floats, cups	0.01-1.05
Seawater		~ 1.02
Polystyrene (PS)	Utensils, containers	1.04-1.09
Polyvinyl chloride (PVC)	Film, pipe, containers	1.16-1.30
Polyamide or nylon	Gear, rope	1.13-1.15
Polyethylene terephthalate (PET)	Bottles, strapping, gear	1.34-1.39
Polyester resin + glass fibres	Textiles	>1.35
Cellulose acetate	Cigarette filters	1.22-1.24



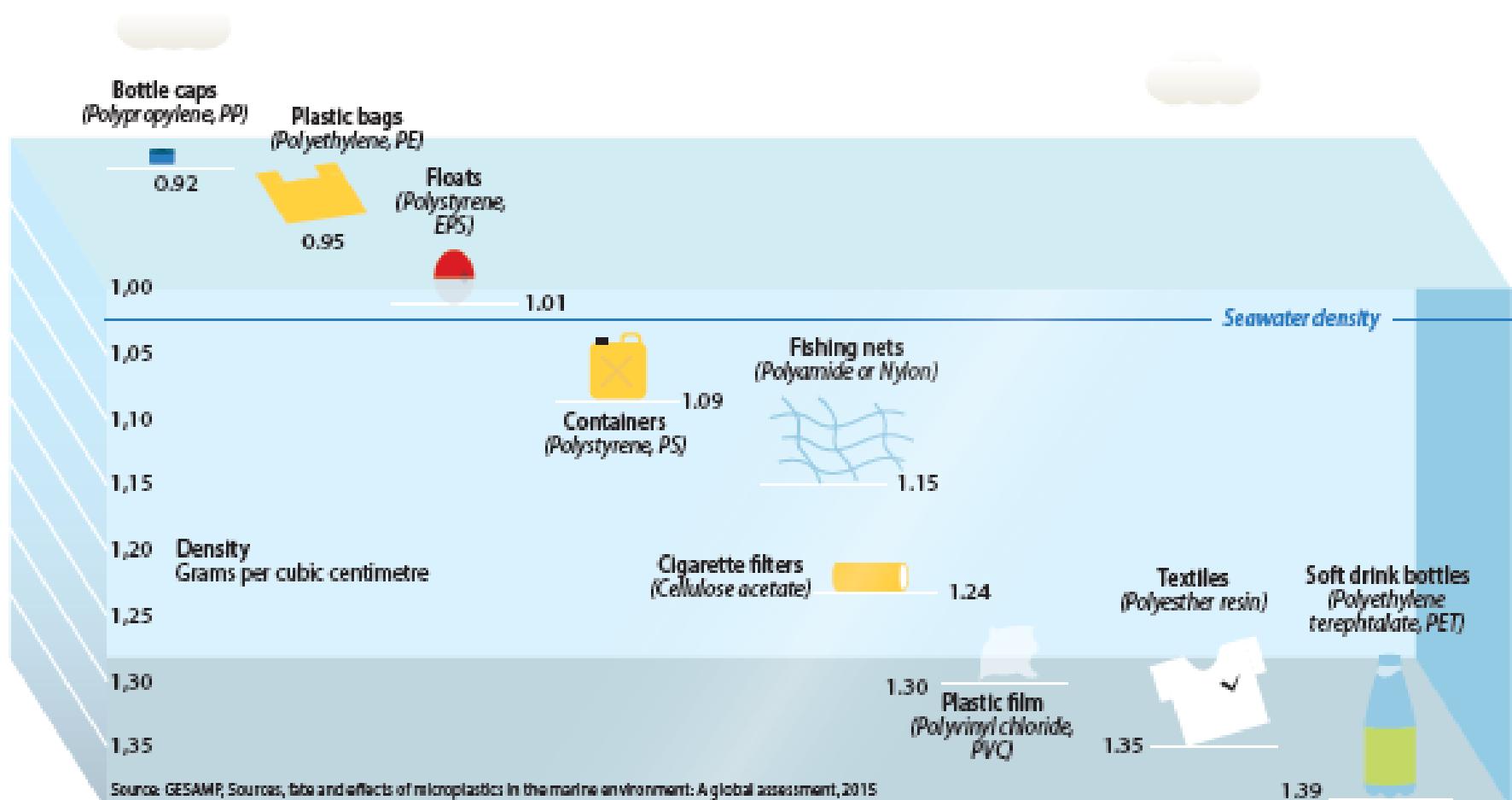


Figure 7: La répartition des polymères dans l'eau selon leur densité (GESAMP, 2015).

Les vagues, le vent et les courants marins peuvent transporter ces plastiques de faible densité et par conséquent, participer à leur dispersion dans les océans (UNEP & GRID-Arendal, 2016).

Des microplastiques ont également été retrouvés dans l'Océan Arctique (Lusher et al., 2015; Briggs, 2018). En 2015, Lusher et collaborateurs ont analysé l'eau de l'Océan Arctique. Des échantillons de la surface (16 cm sous la surface de l'eau) et de la sous-surface (6 m en-dessous de la surface de l'eau) ont été récoltés et analysés. A la surface, 20 / 21 échantillons étaient contaminés avec une moyenne de 1.31 particules / m³, soit 1310 particules / litre. Dans la sous-surface, 70 / 75 échantillons contenaient des microplastiques, avec des concentrations allant de 0 à 11.5 particules / m³. La moyenne pour la sous-surface revenait donc à 2.68 particules / m³, soit 2680 particules / litre. Les types de plastique retrouvés étaient majoritairement des fibres (95%). La spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) a permis de différencier les différents polymères constituant ces fibres. Ils ont identifié du polyester, du nylon, des fibres acryliques, du chlorure de polyvinyl ainsi que des microplastiques d'origine inconnue (Lusher et al., 2015). Ces polymères sont de densité élevée donc ils devraient couler et sédimenter dans les fonds marins en temps normal. Leur présence à la surface de l'eau pourrait provenir des turbulences causées par les vents et les orages, redistribuant les particules dans les colonnes d'eau. Une contamination par des microplastiques d'origine locale ne peut pas être exclue (Lusher et al., 2015).

En 2018, des scientifiques de l'Institut Alfred Wegener ont analysé des échantillons de glace provenant de cinq régions de l'Océan Arctique (Figure 8). Ils ont découvert une concentration de plus de 12 000 particules / litre de glacier. En 3 ans, la concentration a radicalement augmenté. Les microparticules identifiées étaient de 17 types de plastique différents. On y retrouve le polyéthylène et le polypropylène utilisés dans les emballages. Ils pourraient donc potentiellement provenir du vortex de déchets, illustré dans la figure 9, formé par un amas de débris plastique situé dans l'Océan Pacifique. Du nylon est également identifié, entrant dans la fabrication des filets de pêches. De plus, ils retrouvent du polyester et de la cellulose acétate, qui compose les filtres de cigarettes (Briggs, 2018).

Bref, les microplastiques sont retrouvés même dans les endroits isolés des activités humaines.



Figure 8: Echantillon de glace de l'Océan Arctique (Briggs, 2018).



Figure 9: Le Vortex de déchets
(<https://www.gurumed.org/2018/03/23/le-grand-vortex-de-dchets-plastique-du-pacifique-nord-est-beaucoup-plus-importante-que-prvu/>)

4. Détection des microplastiques

Différentes méthodes sont utilisées pour la détection des microplastiques. Examiner les échantillons à l'œil nu pour les particules de 1 à 5 mm, ou au microscope après échantillonnage de l'eau, des sédiments ou des biotes. Cela reste la méthode la plus simple et accessible. Cependant, de nouvelles techniques plus précises existent: la spectroscopie Raman ou la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF).

La détection des microplastiques fait intervenir certaines difficultés: capturer les particules de plastiques, séparer les fragments de plastiques des autres particules de l'échantillon et enfin, identifier le type de plastique (Eerkes-Medrano et al., 2015; EFSA, 2016). Les différentes étapes de détection sont illustrées dans la figure 10.

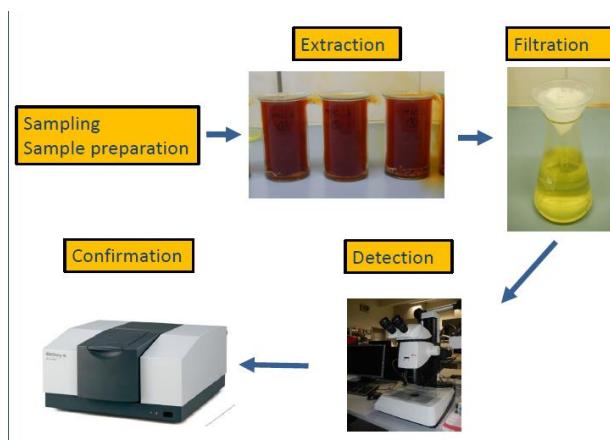


Figure 10: Etapes de détection des microplastiques (De Witte, 2017).

Lors de l'échantillonage des sédiments, les particules de plastique sont tout d'abord triées par taille. Cela se fait par tamisage et filtration. Les pores des filtres mesurent généralement entre

1-1.6 μm tandis que ceux des tamis varient entre 0.038 et 4.75 mm (Bouwmeester et al., 2015). Ensuite, les différences de densité sont utilisées pour séparer les particules provenant des sédiments de ceux provenant de l'eau. Celles de faible densité flottent à la surface de l'eau douce et l'eau de mer. Il s'agit de polystyrène, polyéthylène et polypropylène. Inversément, celles de densité élevée proviennent des sédiments tapissant les fonds marins. On y retrouve du polyvinyl chloride (PVC), le nylon ou polyamide (PA) et le polyéthylène terephthalate (PET) (Andrady, 2011; Bouwmeester et al., 2015). Après avoir séparé les particules en fonction de leur taille, on les trie visuellement, à l'oeil nu ou au microscope. Cette étape est essentielle pour les séparer d'autres matériaux tels que les débris organiques mais également pour les séparer selon leur type (Bouwmeester, 2015). Le typage des particules se fait en fonction de leur forme, couleur, stade de dégradation, et leur source (Eerkes-Medrano et al., 2015).

Outre cela, la spectroscopie Raman ou la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) sont les techniques les plus fréquemment utilisées dans les études pour une identification précise des microplastiques(GESAMP, 2015; EFSA, 2016; Welle et al., 2018; Kniggendorf et al., 2019). Elles détectent une taille limite d'environ 10 μm (GESAMP, 2016). La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier envoie des rayons infrarouge aux microplastiques et analyse les radiations renvoyées. Les particules vont absorber et réfléchir différentes longueurs d'ondes selon leur composition (Peeken, 2018). Ensuite, elle compare le spectre infrarouge de l'échantillon avec le spectre de polymères connus (GESAMP, 2016). La IRTF permet également de déterminer la composition chimique des particules (Bouwmeester et al., 2015; Eerkes-Medrano et al., 2015). Il s'agit d'une méthode d'identification précise et fiable de polymères. La spectroscopie Raman est une technique qui expose les échantillons à un laser. La lumière du laser irradie les molécules puis est diffusée dans différentes directions. Elle renseigne ainsi sur la structure du polymère (GESAMP, 2016). Il s'agit d'une technique non-invasive pouvant être appliquée directement au niveau du filtre contenant les particules (Kniggendorf et al., 2019). Cela permet d'éviter les différentes étapes d'échantillonage qui peuvent être source de contamination croisée. Il existe d'autres méthodes de détection mais celles détaillées ci-dessus sont les plus couramment utilisées.

Parmi toutes ces techniques pour détecter les microplastiques, une chose importante est à prendre en compte: minimiser la contamination croisée. Effectivement, des microplastiques sont présents dans l'air ambiant ou dans les matériaux utilisés et peuvent ainsi contaminer les échantillons lors de leur préparation. Cela peut mener à des résultats faussement positifs

(Welle et al., 2018). Par conséquent, il est important de prévoir un environnement propre pour la manipulation des échantillons de même que d'éviter l'utilisation de plastique lors de la procédure d'analyse (Kniggendorf et al., 2019). Par exemple, certains scientifiques portent des tabliers de laboratoires fabriqués à partir de matières naturelles et de coton. Une désinfection des surfaces des laboratoires à l'éthanol 30% est également recommandée (Mintenig et al., 2019). Il est de plus préconisé de réaliser des blancs de procédure pour chaque étape de traitement de l'échantillon (Kniggendorf et al., 2019). Dans l'étude entreprise par Mintenig et collaborateurs (2019), des procédures à blanc ont effectuées au moyen de 150 L d'eau potable pré-filtrée sur filtres de 3 µm. Des particules ont été détectées au moyen de la méthode 'IRTF dans 2 échantillons sur 4. Pour la suite de l'étude, les scientifiques ont donc tenu compte de la moyenne de contamination des blancs de procédures lors de l'analyse des échantillons (Mintenig et al., 2019). Il est donc important de réaliser ces blancs de procédure et de tenir compte de la contamination croisée pour ne pas fausser les résultats d'analyse.

5. Microplastiques dans les denrées alimentaires

De nombreuses études démontrent la présence de microplastiques dans les denrées alimentaires et l'eau minérale. Mais cette contamination a-t-elle lieu avant ou pendant le processus d'emballage ou la préparation de l'aliment? Il en va de même pour l'eau. Les microplastiques qui y sont proviendraient-ils de la bouteille en plastique? (Toussaint et al., 2019).

5.1. L'eau minérale

Très récemment, des microplastiques ont été détectés dans l'eau minérale contenue dans des bouteilles en plastique (Welle et al., 2018).

Une étude quantitative a estimé la concentration et le nombre de microplastiques inférieur à 10 µm contenus dans les bouteilles en plastiques de 500 mL. Ces bouteilles sont fabriquées à partir de polyéthylène terephthalate (PET). Les scientifiques ont analysé des bouteilles d'eau en plastique de 10 marques différentes. Pour chaque marque, 3 bouteilles ont été sélectionnées. Soit un total de 30 bouteilles analysées. En parallèle, 3 blancs de procédure ont été réalisés. Les résultats montrent la présence de microplastiques dans tous les échantillons. La concentration varie entre 3.16×10^7 particules/L et 1.1×10^8 particules/L. Il semblerait que les bouteilles de plastique dérangereraient des fragments de taille plus élevée mais en moins grand nombre

contrairement aux bouteilles facilement déformables avec un pH alcalin qui relarguerait des microplastiques de plus petite taille mais en plus grand nombre. L'eau minérale la plus contaminée est celle provenant de bouteilles constituées de plastique de mauvaise qualité, c'est-à-dire de faible épaisseur et facilement déformable (Zuccarello et al., 2019).

5.2. Le miel

Des études ont été réalisées pour mettre en évidence la présence de particules de plastique dans le miel.

Liebezeit et Liebezeit (2013) ont analysé du miel de grandes surfaces et de producteurs de plusieurs pays différents. Ils ont détecté des fibres et particules de couleur et transparentes. Pour différencier les fibres naturelles telles que les fibres de cellulose ou de chitine des fibres synthétiques, ils les ont oxydées. De plus, ils ont coloré les échantillons à la fuchine et au rose Bengal. Les fibres et fragments n'ayant pas été détruits ou décolorés par l'oxydation et n'ayant pas été colorés par la fuchine et le rose Bengal étaient considérés comme des polymères synthétiques. Aucune spectroscopie n'a été réalisée pour le typage des polymères sur base de leur composition chimique. Le comptage s'est fait à partir d'un microscope révélant une moyenne de 166 +- 147 fibres / kg de miel et 9 +- 9 fragments /kg de miel. Les hypothèses concernant l'origine des fibres synthétiques comprenaient une contamination par le traitement du miel ou des microplastiques dans l'air se déposant sur les fleurs pour ensuite être transportés jusqu'à la ruche par les abeilles. Pour les fragments, les chercheurs ont supposé qu'ils provenaient des sacs plastiques utilisés pour fournir du sucre aux abeilles (Liebezeit et Liebezeit, 2013).

En 2017, Mühlischlegel et collaborateurs (2017) ont analysé 5 échantillons de miel provenant de Suisse, suivant un protocole standardisé. Dans cette étude, ils ont utilisé le microscope pour séparer les fibres et fragments selon leur couleur ou transparence. Toutefois, pour identifier plus précisément la présence de microplastique, ils ont également utilisé la spectroscopie Raman et la méthode IRTF. Ils ont réalisé des blanc de procédure et ont minimisé les risques de contamination croisée des échantillons. La majorité des fibres détectées ont été identifiées comme de la cellulose, qui est une fibre naturelle, ou du polyethylene terephthalate (PET). L'origine la plus probable proviendrait de textiles (Mühlischlegel et al., 2017; Toussaint et al., 2019).

5.3. Les animaux aquatiques consommés

Il a été démontré que plus de 659 espèces marines sont contaminées par des microplastiques. En effet, de nombreuses études ont détecté la présence de microplastiques dans le tractus digestif de poissons, crustacés, mollusques ou encore de tortues (Toussaint et al., 2019). Parmi ces espèces, 200 sont comestibles et peuvent donc présenter un risque d'exposition pour l'homme.

La contamination des animaux marins par ces particules de plastique peut se faire par ingestion directe ou par transfert trophique (Bouwmeester et al., 2015; EFSA, 2016; Auta et al., 2017; Toussaint et al., 2019). Par exemple, lorsque l'homme consomme des bivalves ou des petits poissons, il les consomme en entier, y compris les intestins dans lesquels sont trouvés les microplastiques. Il y a donc ici contamination par ingestion directe. Par contre, le transfert trophique, également connu sous le nom de bioaccumulation, expose l'homme aux substances chimiques relarguées par les microplastiques de manière indirecte. Plus précisément, ces substances chimiques sont des composés chimiques entrant dans la composition des microplastiques ou des polluants organiques persistants adsorbés par ceux-ci. Ces substances chimiques s'accumulent dans un organisme à partir de sources multiples. Imaginons un crustacé contaminé par ingestion directe de microplastiques. Ce dernier est ensuite ingéré par un prédateur qui se contamine de manière indirecte. Si ce prédateur ingère plusieurs crustacés contaminés, les substances chimiques issues de crustacés différents vont s'accumuler dans son tractus digestif. Cela se dénomme phénomène de bioaccumulation (Figure 11) (Koelmans, 2016; UNEP et GRID-Arendal, 2016; Auta et al., 2017; Toussaint et al., 2019). L'humain peut donc être confronté à une exposition plus importante lorsqu'il consomme une espèce marine dont il consomme le tube digestif, qui a accumulé une grande concentration de ces composés chimiques.

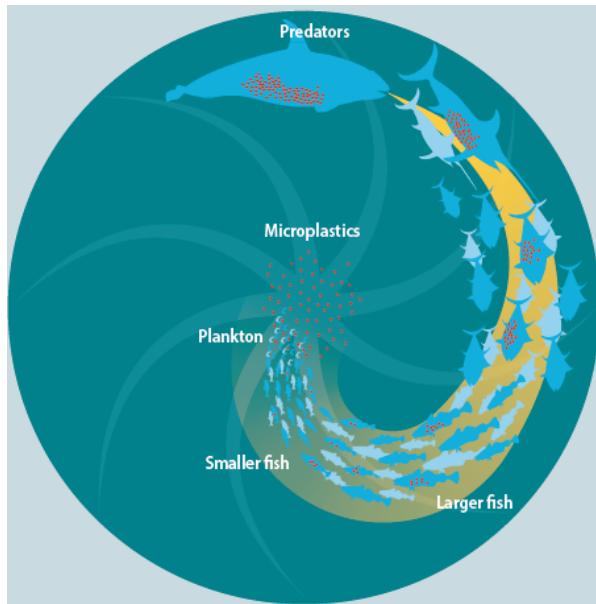


Figure 11: Bioaccumulation chez les espèces marines (UNEP et GRID-Arendal, 2016).

Dans les études qui analysent la contamination de poissons par les microplastiques dans des laboratoires, il ne faut toutefois pas négliger le fait que ces poissons ingèrent généralement des concentrations plus élevées que celles présentes dans l'environnement naturel. De plus, la plupart des expériences sont réalisées avec des microplastiques de forme sphérique d'une taille prédéfinie. Or, dans l'environnement, les microplastiques se présentent sous une variété de formes et de tailles (Wright et Kelly, 2017, Hann et al., 2018).

6. Effets néfastes des microplastiques

6.1. Macro- et microplastiques en tant que dangers physiques

Le monde actuel parle principalement des effets physiques causés par les débris de plastique chez les animaux marins. En effet, ces animaux peuvent être étranglés par de vieux filets de poissons ou des sacs en plastiques. Par conséquent, ils ne savent plus bouger pour se nourrir ou éviter les prédateurs et parfois même remonter à la surface pour respirer. D'autres peuvent être tellement exténués qu'ils coulent ou se coupent, ce qui engendre un processus infectieux par la suite (UNEP & GRID-Arendal, 2016).

De nombreuses études rapportent qu'une grande quantité d'animaux marins ingèrent des macroplastiques. Une étude récente révèle que 100% des tortues marines

présentent des déchets plastiques dans leur système digestif. Il en va de même pour 59% des baleines, 36% d'otaries et 40% d'oiseaux (Kuhn et al., 2015). Cela peut causer un effet de satiété alors que l'apport nutritif n'est pas suffisant. D'autre part, les morceaux de plastique peuvent obstruer le tractus intestinal. Tout cela peut mener à la mort de l'animal par malnutrition et chute de l'état de santé.

Les effets physiques causés par les microplastiques sont moins étudiés. Toutefois, il est prouvé que les particules de petite taille peuvent s'attacher à la surface interne ou externe d'organismes marins. Cela peut conduire à des lésions physiques engendrant du stress ou de l'inflammation ou même aller jusqu'à bloquer la surface d'absorption telle que la muqueuse intestinale. Par conséquent, ces organismes subissent une baisse d'apports énergétiques (SAPEA, 2019). Toutefois, aucune étude ne rapporte que ces informations peuvent être transposées chez l'homme.

6.2. Microplastiques en tant que dangers chimiques

Contrairement aux macro- et mesoplastiques qui ont principalement des effets physiques sur la faune sauvage, les microplastiques auraient pour leur part potentiellement des effets chimiques. Ils seraient considérés comme vecteurs de dangers chimiques (GESAMP, 2015; Koelmans et al., 2016; Auta et al., 2017; Wright et al., 2017). Les substances chimiques ajoutées lors de la fabrication du plastique, dénommées additifs, ou adsorbées par les plastiques dans l'eau peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé des animaux. Il en va de même pour les substances chimiques entrant dans la composition des plastiques (Bouwmeester et al., 2015; GESAMP, 2016; Koelmans et al., 2016; Kunh et al., 2016; Welle et al., 2018).

6.2.1. Composés chimiques utilisés comme monomères pour la synthèse de polymères de plastique

Le plastique est composé en grande majorité de polymères synthétiques. Ceux-ci sont formés à partir d'une chaîne de monomères. Il existe une grande variété de polymères synthétiques et celui utilisé en majorité est le polyéthylène. Il constitue plus de 40% des plastiques produits (Bouwmeester et al., 2015). Le polyéthylène de faible densité (LDPE) compose les films alimentaires, les sacs plastiques, les films agricoles et de nombreux autres matériaux et emballages. Le polyéthylène à densité élevée (HDPE) est plus dur

et opaque, résiste mieux à la tension et à des températures plus élevées (120°C) que le LDPE. Il est utilisé pour la fabrication de jouets, de caisses et boîtes, de bouteilles pour produits alimentaires, détergents, cosmétiques,... Le deuxième polymère le plus utilisé mondialement est le polypropylène (PP). Il est moins résistant chimiquement mais comporte de meilleures propriétés thermiques et mécaniques. (PlasticsEurope & EPRO, 2018). Les bouteilles en plastique sont constituées principalement du polymère polyéthylène terephthalate (PET). Les fibres des vêtements synthétiques pour leur part sont surtout fabriquées à partir de polyester mais également des fibres acryliques (Bouwmeester et al., 2015). La figure 12 décrit de nombreux autres polymères, leurs caractéristiques et utilisations.

TYPE OF PLASTIC	CHARACTERISTICS	COMMON APPLICATIONS
 PET Polyethylene Terephthalate PET	Clear, tough, solvent resistant, often used as a fibre	Carbonated soft drink bottles, pillow and sleeping bag filling, textile fibres.
 HDPE High Density Polyethylene HDPE	Hard to semi-flexible, waxy surface, opaque, melts at 135°C	Bottles especially for milk, food & detergent, containers, toys, fuel tanks, industrial wrapping & film, sheets, pipes for gas, waste, and general use.
 UPVC Unplasticised Polyvinyl Chloride UPVC PPVC Plasticised Polyvinyl Chloride PPVC	Hard rigid, can be clear, can be solvent welded Flexible, clear, elastic, can be solvent welded	Electrical conduit, plumbing pipes and fittings, blister packs, clear cordial and fruit juice bottles. Garden hose, shoe soles, cable sheathing, blood bags and tubing, watch straps.
 LDPE Low Density Polyethylene LDPE	Soft, flexible, waxy surface, translucent, withstands solvents	Cling film, bags, bin liners, toys, coatings, flexible containers, irrigation pipes, general film, wire & cable sheathing.
 PP Polypropylene PP	Hard but still flexible, waxy surface, melts at 165°C, translucent, withstands solvents. Very versatile material with many applications	Confectionery, snack & biscuit wrapping, microwave & housewares, ice-cream containers, outdoor furniture, car bumper bars & battery cases, synthetic carpet, most bottle & jar tops.
 PS Polystyrene PS EPS Expanded Polystyrene EPS	Clear, glassy, rigid, brittle, opaque, semi-tough, melts at 95°C. Affected by fats and solvent Foamed, light weight, energy absorbing, heat insulating	Rigid dairy containers, CD cases & cassettes, refrigerator shelves & liners, appliances, single use cups. Panel insulation, produce boxes, protective packaging for fragile items, foam trays.

Figure 12: Exemples de polymères selon leur caractéristiques et utilisation (Quinn and Crawford, 2016).

Tous ces polymères entrent dans la composition des microplastiques. Lors de la dégradation de ces microplastiques, les monomères résiduels et non-réactionnels peuvent être relargués. Ils constituent un danger connu pour la santé humaine. Par exemple, les polyuréthanes et le chlorure de polyvinyle ont des effets cancérogènes et mutagènes chez les humains (Wright et al., 2017; Smith et al., 2018).

6.2.2. Additifs

Lors de la production du plastique, des additifs sont généralement ajoutés. Ils constituaient en moyenne 4% du plastique (Bouwmeester, 2015; EFSA, 2016). Ces additifs peuvent être des antioxydants, des pigments, des stabilisateurs, des retardateurs de flammes,... (Hann et al., 2018). Ils remplissent différentes fonctions telles qu'augmenter la flexibilité, la durabilité et la transparence du plastique (UNEP and GRID-Arendal, 2016). Parmi les additifs, on peut citer les phtalates, le bisphénol A et les PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons) (EFSA, 2016). Le bisphénol A est également le monomère utilisé pour fabriquer le polycarbonate.

Lors de la fragmentation des microplastiques, les additifs peuvent plus facilement migrer du centre du polymère vers la surface. Il y a donc un plus grand risque de relargage des additifs (Wright et al., 2017; Smith et al., 2018). La taille du microplastique peut donc jouer un rôle important dans la libération de substances chimiques (Bouwmeester et al., 2015).

Ce relargage d'additifs dans l'environnement marin inquiète les scientifiques. En effet, ces substances chimiques peuvent causer des effets néfastes pour la santé des animaux marins et des humains. Certains additifs tels que les phtalates et le bisphénol A sont des perturbateurs endocriniens. (Koelmans et al., 2013; Wright et al., 2017, Smith et al., 2018). Ces perturbateurs endocriniens agissent via différents modes d'action, comme par exemple en se fixant sur les récepteurs des hormones naturelles. Par exemple, le bisphénol A est un oestrogéno-mimétique, c'est-à-dire qu'il se lie sur les récepteurs alpha et bêta des œstrogènes. Cela peut mener à des troubles de la reproduction. L'EFSA a établi la dose journalière tolérable du bisphénol A: 0.004 mg/kg de poids corporel/j. Il faudrait donc que l'homme soit exposé à une dose inférieure à celle-ci pour éviter des troubles néfastes pour sa santé. Les perturbateurs endocriniens peuvent également agir d'autres façons, soit en imitant l'action d'une hormone naturelle ou en antagonisant le mécanisme de production ou régulation des hormones ou des récepteurs (Département Cancer et Environnement, 2018). Tout cela mène à des troubles au niveau de l'organisme qui peut ensuite subir des conséquences néfastes pour sa santé.

6.2.3. Libération de POP's (polluants organiques persistants)

Les microplastiques dont la surface est hydrophobe peuvent adsorber des polluants organiques persistants (POP's). La surface de certains microplastiques est hydrophobe. Or, les polluants organiques persistants sont également hydrophobes. Par conséquent, ils sont adsorbés par ces microplastiques et s'y accumulent. Les POP's les plus fréquemment rencontrés sont les pesticides organochlorés, les PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons) et les PCB (Polychlorobiphényles) et dioxines (Koelmans et al., 2016; Wright et al., 2017; Auta et al., 2017). Ces POP's peuvent être fortement toxiques. Ils peuvent être carcinogènes, mutagènes, provoquer des effets immuno-toxiques ou des troubles endocriniens (Wright et al., 2017).

En raison de leur surface hydrophobe et de leur rapport surface / volume élevé, les microplastiques lient fortement les POP's. Ils peuvent ainsi participer à leur transport et dispersion dans les océans (Koelmans et al., 2016; Wright et al., 2017).

La libération des POP's à partir des microplastiques dépend de nombreux facteurs: le type de polymère (hydrophobe / hydrophile), la taille de la particule de microplastique, la taille de la substance chimique, le pH,... (Bouwmeester et al., 2015). La gradient de concentration des POP's joue également un rôle important de leur relargage. En effet, si la concentration en POP's dans la particule de plastique est supérieure à la concentration dans l'eau ou dans les tissus de l'organisme, les POP's seront relargués. Par contre, si elle est inférieure au milieu avoisinant, elle restera liée au microplastique. Cela pourrait avoir un effet bénéfique pour l'environnement. S'il y a une grande quantité de POP's polluant l'environnement aquatique, les microplastiques pourraient les adsorber et diminuer ainsi la concentration dans l'eau (Koelmans et al., 2015; Wright et al., 2017).

Les études qui analysent l'absorption des POP's par les microplastiques ne tiennent en général pas compte de tout le biote et les structures naturelles présentes dans le milieu aquatique. Or, celui absorbe une quantité beaucoup plus élevée de POP's que ces microplastiques. Si ces études se rapportent donc à l'environnement aquatique et non pas aux conditions de laboratoires, ils verraien que l'absorption de ces POP's par les microplastiques s'avère

négligeable (Koelmans et al., 2016). Toutefois, d'autres études doivent être menées avant d'affirmer quoi que ce soit.

6.3. Evaluation du risque chez l'homme

Les microplastiques sont omniprésents et représentent un risque potentiel pour la santé de l'homme. De plus, il existe plusieurs voies d'exposition auxquelles l'homme est confronté. Dans ce travail, on aborde principalement l'ingestion de microplastiques via l'eau et les denrées alimentaires mais ils peuvent également être absorbés topiquement par voie intradermique ou inhalés. En effet, ces fines particules de plastique se trouvent dans l'air, transportées par le vent. Elles proviennent entre autres de vêtements synthétiques mis à sécher dehors, des effluents contaminés utilisés comme fertilisant ou de la désintégration du plastique utilisé en agriculture pour protéger par exemple les ballots de paille (Bouwmeester et al., 2015).

De nombreuses études prouvent la présence de microplastiques dans les denrées alimentaires et l'eau minérale (Welle et al., 2018; Zuccarello et al., 2019; Kniggendorf et al., 2019). Chez les poissons, on retrouve des microplastiques dans leur tube digestif. Cela pourrait être une source de contamination pour l'Homme lors de la consommation de ces animaux. Toutefois, en général, le tube digestif n'est pas consommé (EFSA, 2016; Wright et Kelly, 2017). Une exposition du consommateur est donc potentiellement négligeable par rapport à la quantité de microplastiques présents dans la portion consommée (GESAMP, 2016).

Après ingestion, le réel soucis est de savoir si ces microplastiques sont confinés à la lumière intestinale et ensuite excrétés ou bien s'ils traversent l'épithélium intestinal et contaminent les organes et tissus internes. Pour cela, il est important de considérer la forme, surface et la taille des microplastiques (Hann et al., 2018). Les particules de taille inférieure à 1.5 μm pourraient subir un transport transcellulaire et par conséquent exposer les organes et tissus internes (Figure 13). La taille des pores des membranes cellulaires ne permet pas le passage des particules plus grandes (Welle et al., 2018; Hann et al., 2018).

Microplastics (0.1 – 5000 µm)	
> 150 µm	- no absorption
< 150 µm	- in lymph (absorption $\leq 0.3\%$)
= 110 µm	- in portal vein
< 1.5 µm	- access into organs

Figure 13: Absorption intestinale des MP en fonction de leur taille chez l'homme (Hann et al., 2018).

Toutefois, ces particules pourraient être absorbées au niveau du tube digestif par d'autres mécanismes de transport. Dans l'étude réalisée par Wright et Kelly (2017), deux hypothèses sont émises: l'absorption par endocytose et par persorption. L'endocytose se ferait par les cellules M des plaques de Peyer, principalement au niveau de l'iléon. Les microplastiques entre 0.1-10 µm seraient donc transportés de la lumière intestinale vers les tissus lymphoïdes du tractus digestif. La persorption consisterait en un transport paracellulaire, c'est-à-dire l'absorption de particules inférieures à 130 µm entre deux cellules. Cela aurait principalement lieu au niveau des épithéliums unistratifiés et là où il y a une faiblesse jonctionnelle entre les cellules. Ensuite, les cellules dendritiques phagocyteraient les particules et les transporterait vers les vaisseaux lymphatiques et la veine porte. Par conséquent, il y aurait une distribution possible vers les tissus tels que le foie, les muscles et l'encéphale (Wright et Kelly, 2017).

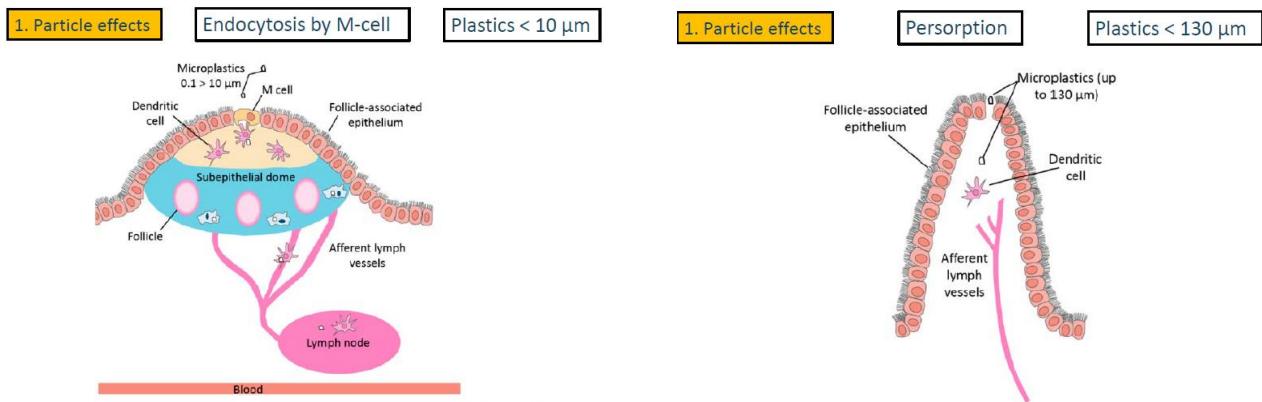


Figure 15: Endocytose (Wright et Kelly, 2017).

Figure 14: Persorption (Wright et Kelly, 2017).

Au final, le problème majeur réside dans l'évaluation des risques pour la santé humaine. Aucune étude n'a encore été réalisée au sujet des possibles effets d'accumulation et toxicologiques des microplastiques après ingestion de ces denrées alimentaires. Aucun seuil n'a été établi, permettant d'assurer qu'il n'y ait pas de risque pour l'homme. (EFSA, 2016; Wright et Kelly, 2017; Hann et al., 2018; Toussaint et al., 2019).

7. Solutions

Avec les moyens technologiques d'aujourd'hui, il est impossible de se débarrasser des microplastiques présents dans l'environnement. Par conséquent, il est nécessaire d'agir plutôt à d'autres niveaux, c'est-à-dire au niveau des macro- et mesoplastiques.

7.1. Nettoyage des macroplastiques dans les océans

En 2013, Boyan Slat, un jeune ingénieur néerlandophone de 18 ans lance le projet "The Ocean Cleanup". Aujourd'hui, l'équipe regroupe 80 ingénieurs, chercheurs et scientifiques. Ils ont pour but de ramasser 50% des macroplastiques présents dans l'océan d'ici une dizaine d'années et jusqu'à 90% d'ici 2040. Selon Boyan Slat, 3% du plastique dans l'océan correspond à des microplastiques. Il est donc nécessaire de nettoyer au plus vite les macroplastiques avant que ces derniers ne soient réduits en microplastiques.

L'idée repose sur un système passif, constitué d'un flotteur de 600 m de long à la surface et d'un écran en-dessous plongeant jusque 3 m de profondeur (Figure 16).



Figure 16: Le système d'OceanCleanup

Comme le plastique, le système se laisse emporté par le courant. Cependant, le flotteur est poussé en plus par le vent et la vagues, lui permettant d'aller plus vite que le

plastique situé sous la surface de l'eau. Le système peut donc capturer le plastique. Les différentes étapes de ce système consistent à, dans l'ordre: capturer le plastique; l'accumuler, l'extraire via un bateau venant ramasser les déchets et pour finir les ramener sur terre pour qu'ils soient recyclés et vendus à des compagnies B2C ("Business to Consumer"). Ces étapes sont illustrées dans les figures 17, 18 et 19.

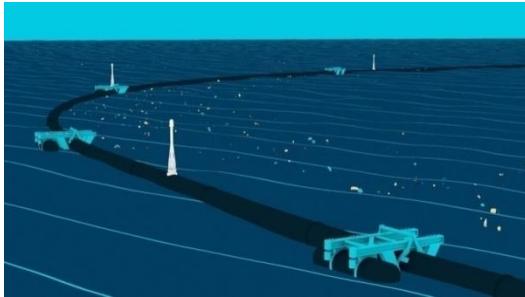


Figure 17: Capturer le plastique (The Ocean Cleanup, 2019)

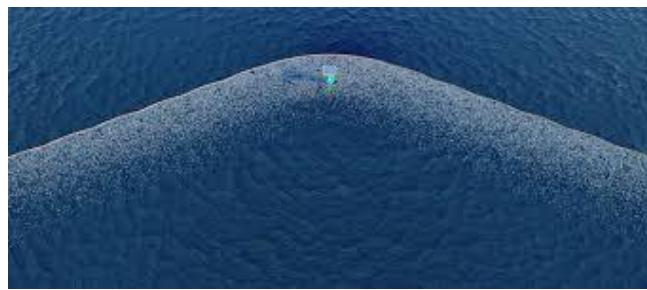


Figure 18: Accumulation des déchets plastiques (The Ocean Cleanup, 2019)

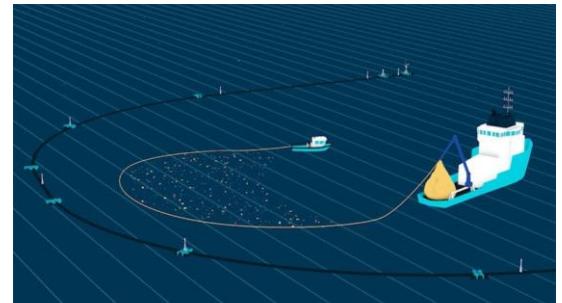


Figure 19: Extraire + Rapporter déchets (The Ocean Cleanup, 2019).

Le 8 septembre 2018, le premier système a été lancé à partir de San Francisco pour rejoindre le vortex de déchets situé dans l'Océan Pacifique. Cependant, différents problèmes sont survenus. Une partie de 18 m de long s'est détachée et ils ont également remarqué que les déchets ne s'accumulaient pas assez longtemps suite à une vitesse insuffisante du système. Des améliorations sont donc à réaliser. Ils ont pour projet de remettre le système à l'eau durant l'été 2019 (The Ocean Cleanup, 2019).

7.2. Supprimer le plastique à usage unique

Interdire la production et l'utilisation du plastique aujourd'hui est impossible. Le plastique est partout autour de nous dans la vie de tous les jours. On ne peut plus s'en passer. Cependant, certains plastiques sont utilisés une seule et unique fois puis sont jetés et polluent l'environnement pendant des années. Ne serait-il pas possible d'éviter cela?

Le 19 décembre 2018, l'Union Européenne a annoncé la mise en place de nouvelles lois pour supprimer une dizaine de produits en plastique à usage unique à partir de 2021. Ces produits constituent 70 % des déchets marins. Parmi ces produits, on peut citer les pailles, les bâtonnets de coton-tige, les couverts et assiettes en plastiques, les ballons de baudruche. Pour palier l'interdiction de ces plastiques à usage unique, des alternatives seront proposées. Par exemple, les pailles en plastique peuvent être remplacées par des pailles en carton, en bambou ou en métal (Commission Européenne, 2018).

7.3. Le Recyclage

Chaque année, les Européens produisent 25 millions de tonnes de déchets plastiques dont seulement 30% sont recyclés (Mr Mondialisation, 2017; PlasticsEurope et EPRO., 2018; Commission Européenne, 2018). L'avantage du recyclage est qu'il réduit la quantité de nouveau plastique produit. La Commission Européenne a pour projet une transition vers une économie plus circulaire. Il s'agit de recycler et réutiliser les déchets plastiques de manière plus stricte, permettant également d'apporter un intérêt économique important pour les entreprises. La Commission Européenne cite: " Grâce à cette nouvelle stratégie, tous les emballages en plastique sur le marché de l'UE seront recyclables d'ici à 2030, la consommation de plastiques à usage unique sera réduite, et l'utilisation intentionnelle de microplastiques sera limitée." (Commission Européenne, 2018).

Cependant, le recyclage peut présenter certaines difficultés. Par exemple, les produits fabriqués à partir de ces plastiques recyclés sont de moins bonne qualité et par conséquent peuvent se fragmenter plus facilement (UNEP and GRID-Arendal, 2016). Le recyclage n'est donc pas la seule solution à la réduction de la pollution plastique (UNEP and GRID-Arendal, 2016; Mr Mondialisation, 2017; Commission Européenne, 2018).

7.4. Alternatives au plastique

Des alternatives au plastique sont en cours de recherche. En 2017, deux hollandais, Eric Klarenbeek et Maartje Dros, ont développé un "bioplastique" à partir d'algues. Ces algues sont formées de polymères naturelles. Après avoir séché, elles peuvent subir une procédure permettant de les moduler en une variété de formes. Les deux chercheurs utilisent pour cela une imprimante 3D. Ils espèrent utiliser ce polymère naturel pour fabriquer une multitude de matériaux tels que des bouteilles de shampoing, des couverts et assiettes, des poubelles,... Des exemples sont illustrés dans la figure



Figure 20: Exemples de matériaux fabriqués à partir d'algues (Moris, 2017).

Il existe également une autre caractéristique des algues à considérer. En effet, ces algues, comme toutes les plantes, utilisent la photosynthèse. Elles absorbent donc le CO₂ pour produire de l'énergie. Contrairement aux plastiques, cela réduiraient l'emprunte carbone (Moris, 2017).

D'autres chercheurs cherchent également à remplacer le plastique par des matériaux naturels et biodégradables tels que le maïs, le bambou, la pomme de terre ou encore de la banane (Belhache, 2018).

8. Conclusion

Les microplastiques sont de petites particules de plastique de diamètre allant de 0.1 μm à 5 mm. Ils peuvent être d'origine primaire ou secondaire. Ils sont omniprésents et atteignent par conséquent aussi bien la faune sauvage que les humains. Ils ont été détecté dans de nombreuses espèces marines mais également dans l'eau que nous buvons ainsi que les denrées alimentaires que nous consommons tels que le miel. Nous sommes même exposés aux microplastiques par l'air que nous inhalons. Suite à leur résistance importante à la dégradation, ils persistent des années dans l'environnement. Aucune solution pour les extraire de l'environnement n'a encore été trouvée à ce jour et la surconsommation mondiale de plastique aggrave l'accumulation de ces particules dans ces milieux naturels. Les substances chimiques entrant dans leur composition ainsi que les polluants adsorbés puis relargués par les microplastiques engendrent des effets éco-toxicologiques néfastes pour la santé des animaux et des humains. Cependant, il y a un manque de données expérimentales pour évaluer la toxicité chez les humains et aucun seuil n'a été à ce jour établi pour assurer qu'il n'y ait pas de risque. Avant de pouvoir certifier que les microplastiques engendrent un danger pour les biotes et les humains, il faut améliorer la qualité et standardiser internationalement les méthodes utilisées pour évaluer leur exposition, risques et effets (SAPEA, 2019). En attendant, il est vivement conseillé de réduire l'accumulation de ces microplastiques dans l'environnement. Pour cela, des solutions pour réduire l'accumulation de macroplastiques dans les océans sont en route, des lois sont mises en place pour diminuer la consommation de plastique et des recherches sur des alternatives au plastique sont lancées. L'avenir est entre nos mains.

9. Bibliographie

Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* , 62 (8), 159-1605.

Auta, H.S., Emenike, C.U., & Fauziah, S.H., 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165-176.

Bouwmeester, H., Hollman, P.C.H., Peters, R.J.B, 2015. Potential Health Impact of Environmentally Released Micro-and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. American Chemical Society. *Environmental Science Technology*, 49, 8932-8947.

Belhache, J., 2018. 8 alternatives au plastique. Consulté le 12 mai 2019. <https://alternativisme.com/8-alternatives-au-plastique/15>.

Briggs, H., 2018. Record concentration of microplastics found in the Arctic. BBC News (British Broadcasting Corporation). Alfred Wegener Institute. Science & Environment. <https://www.bbc.com/news/science-environment-43879389>, Consulté le 9 juin 2019.

Brown, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45, 21, 9175-9179.

Commission Européenne, 2018. Plastique à usage unique. Bruxelles, Belgique. https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28_fr. Consulté le 12 mai 2019.

Commission Européenne, 2018. Déchets plastiques: une stratégie européenne pour protéger la planète, défendre nos citoyens et soutenir nos entreprises. Strasbourg. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_fr.htm. Consulté le 12 mai.

Département Cancer et Environnement 2018. Centre Léon Berard, Centre de lutte contre le cancer. Consulté le 11 juin 2019, <https://www.cancer-environnement.fr/274-Perturbateurs-endocriniens.ce.aspx>

De Witte, B., 2017. Microplastics in the food chain: risk characterization for human health and prevalence, 13th Symposium of the Scientific Committee of the Belgian Federal Agency for Safety of the Food Chain, Brussels, Belgium.

EFSA CONTAM Panel (European Food Safety Authority Panel on Contaminants in the Food Chain), 2016. Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Journal 2016;14(6):4501, 30 pp.

Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C., Aldridge, D.C., 2015. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. Water Research. 75:63-82.

European Comission. (2017). *Sources Explanation list*. Consulté le 2019, sur EuropeanComission: http://ec.europa.eu/euinfo/sites/infofiles/sources_explanation_list.pdf

European Chemicals Agency (ECHA), 2019. *Annex VI Restriction report: Proposal for a restriction. Intentionnally added microplastics*. Finland. https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/rest_formaldehyde_axvreport_en.pdf/2c798a08-591c-eed9-8180-a3c5a0362e37, Consulté le 20 mars 2019.

European Chemicals Agency. (2017). *Call for evidence and information on the intentional uses of microplastic particles in products of any kind*. https://echa.europa.eu/documents/10162/22286145/rest_microplastics_cfe_background_note_v2_en.pdf/11e12346-fbdd-0929-c8e0-30d5181aa44f, Consulté le 10 décembre.

GESAMP (2015). “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment” (Kershaw, P.J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.

GESAMP (2016). “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment” (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 p.

Hann, S., Sherrington, C., Jamieson, O., Hickman, M., Kershaw P., Bapasola, A., Cole, G., 2018. *Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionnally added in) products*. UK: Eunomia. Report for DG

Environment of the European Comission. <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/investigating-options-for-reducing-releases-in-the-aquatic-environment-of-microplastics-emitted-by-products/>, Consulté le 15 mars 2019.

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*, Vol. 347, Issue 6223, pp. 768-771.

Koelmans, A.A., Besseling, E., Foekema, E.M., 2013. Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environ. Sci. Technol.*, 187, 49-54.

Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A., & Janssen, C.R., 2016. Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies. *Environ. Sci. Technol.*, 50, 3315-3326.

Kniggendorf, A.K., Wetzel, C., Roth, B., 2019. Microplastics detection in streaming tap water with Raman spectroscopy. Hannover Centre for Optical Technologies, Leibniz University Hannover, Germany. *Sensors*, 19(8):1839.

Kunh S., Bravo Rebollo E.L, van Franeker, J.A, 2015. Deterious Effects of Litter on Marine Life. *Marine Anthropogenic Litter*, pp. 75-116.

Liebezeit, G., Liebezeit, E., 2013. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 32(12):2136–2140.

Liebezeit, G., Liebezeit, E., 2015. Origin of synthetic particles in honeys. *Pol J Food Nutr Sci.* 65(2):143–147.

Lusher, A.L., Tirelli, V., O'Connor, I., Officer, R., 2015. Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific Reports* volume 5, Article number: 14947.

Mintenig, S.M., Löder, M.G.J., Primpke, S., Gerdts, G., 2019. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment*, 648, 631–635.

Moris, A., 2017. Dutch designers convert algae into bioplastic for 3D printing. Dezeen. Consulté le 13 mai 2019. <https://www.dezeen.com/2017/12/04/dutch-designers-eric-klarenbeek-maartje-dros-convert-algae-biopolymer-3d-printing-good-design-bad-world/>

Mr Mondialisation, 2017. Pourquoi le plastique n'a pas d'avenir, même avec le recyclage. Consulté le 12 mai 2019. <https://mrmondialisation.org/pourquoi-le-plastique-na-pas-davenir-meme-avec-le-recyclage/>

Mühlischlegel, P., Hauk, A., Walter, U., Sieber, R., 2017. Lack of evidence for microplastic contamination in honey, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(11):1982-1989.

Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Gütermann, J., Katlein, C., Krumpen, T., Bergmann, M., Hehemann, L., Gerdts, G., 2018. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nature Communications*, 9 (1). Original Story from the Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research.

PlasticsEurope, & EPRO., 2018. *The Facts 2018: An analysis of European plastics production, demand and waste data.* https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf, Consulté le 15 décembre 2018.

Rochman, C., M., 2015. The Complex Mixture, Fate and Toxicity of Chemicals Associated with Plastic Debris in the Marine Environment. *Marine Anthropogenic Litter*, Chapter 5, p. 117-140.

SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies, 2019. *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society*. Berlin: SAPEA. Evidence Review Report No 4.

Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M., Neff, R.A., 2018. Microplastics in Seafood and the Implications fo Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5:375–386.

The Ocean Cleanup, 2019. <https://theoceancleanup.com/technology/>. Consulté le 10 mai 2019.

Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., Rio-Echevarria I., Van den Eede, G., 2019. Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(5):639-673.

UNEP and GRID-Arendal, 2016. *Marine Litter Vital Graphics*. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Nairobi and Arendal. www.unep.org, www.grida.no, Consulté le 12 février 2019.

Quinn, B., Crawford, C.B., 2016. Microplastic Pollutants. 1st Edition, Elsevier Science, pp.336.

Welle, F., Franz, R., 2018. Microplastic in bottled natural mineral water – literature review and considerations on exposure and risk assessment, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35:12, 2482-2492.

Wright, S.L., & Kelly, F.J., 2017. Plastic and human health: a micro issue? *Environ. Sci. Technol.* , 51, 6634-6647.

Zuccarello, P., Ferrante, M., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A., Sangregorio, D., Fiore, M., Oliveri Conti, G., 2019. Exposure to Microplastics associated to plastic bottles mineral water consumption: the first quantitative study., *Water Research. Environmental and Food Hygiene Laboratories, Departmen "G.F. Ingrassia", University of Catania*.