



**HAL**  
open science

## Microplastiques et santé environnementale: identification des dangers environnementaux en Haïti

Daphenide St-Louis, Ammcise Apply, Daphnée Michel, Evens Emmanuel

### ► To cite this version:

Daphenide St-Louis, Ammcise Apply, Daphnée Michel, Evens Emmanuel. Microplastiques et santé environnementale: identification des dangers environnementaux en Haïti. 2021. hal-03249147

**HAL Id: hal-03249147**

**<https://hal.science/hal-03249147>**

Submitted on 4 Jun 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Chapitre 11. Microplastiques et santé environnementale: identification des dangers environnementaux en Haïti

Daphenide St Louis<sup>1,2,3</sup>, Ammcise Apply<sup>1,2</sup>, Daphnée Michel<sup>1,2</sup>, Evens Emmanuel<sup>3</sup>

Corresponding author: [evens.emmanuel@univ.edu.ht](mailto:evens.emmanuel@univ.edu.ht)

<sup>1</sup>Université Quisqueya, Faculté des Sciences de la Santé, Programme de Maîtrise en Santé Publique, 218 Avenue Jean Paul II, Haut de Turgeau, Port-au-Prince, Haïti

<sup>2</sup>Association Haïtienne Femmes, Science et Technologie, 218 Avenue Jean Paul II, Haut de Turgeau, Port-au-Prince, Haïti

<sup>3</sup>Université Quisqueya, Laboratoire Santé-Environnement, 218 Avenue Jean Paul II, Haut de Turgeau, Port-au-Prince, Haïti

## Résumé

Les microplastiques (MP) désignent toutes les particules de plastique d'une taille inférieure à 5 mm. Au cours des dernières décennies, plusieurs études ont mis en évidence l'impact des microplastiques (MP) sur les organismes vivants. En plus d'être eux-mêmes polluants, ces polymères synthétiques agissent également comme vecteurs pour le transport de divers types de produits chimiques dans les écosystèmes naturels. Les MP ont été détectés partout dans un large éventail de formes, de polymères, de tailles et de concentrations dans l'eau de mer, l'eau douce, les agroécosystèmes, les environnements atmosphériques, alimentaires et aquatiques, eau potable, biote et autres endroits éloignés. Selon la Banque mondiale, plus de 80% des déchets marins dans le monde sont en plastique et la concentration de déchets sur les plages des Caraïbes est souvent élevée, avec une forte présence de plastiques à usage unique et de contenants alimentaires. Dans ses travaux, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) propose une évaluation approfondie des microplastiques présents dans l'environnement et de leurs conséquences potentielles sur la santé humaine, suite à la publication d'une analyse de l'état de la recherche sur les microplastiques dans l'eau potable. Il appelle également à réduire la pollution plastique pour protéger l'environnement et réduire l'exposition humaine.

En Haïti, la baie de Port-au-Prince est le réceptacle naturel de tous les effluents urbains générés par les activités humaines dans la zone métropolitaine. Ces eaux usées urbaines transportent les ordures ménagères, les boues des latrines à fosse et les eaux usées, les eaux usées industrielles qui contribuent largement à la pollution de la baie. Par ailleurs, 1 673 750 tonnes par an de déchets ménagers, dont 93 730 tonnes de déchets plastiques, ne sont pas collectées. Quels sont les dangers environnementaux représentés par les MP contenus dans ces déchets pour les organismes vivants dans les écosystèmes tropicaux exposés? Le but de cet article est: (i) de faire une revue bibliographique des propriétés physiques et chimiques, ainsi que du profil toxicologique des MP, (ii) d'identifier les dangers environnementaux associés aux MP contenus dans les déchets urbains dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince.

**Mots clés :** microplastiques, déchets, caractéristiques physiques et chimiques, écosystèmes naturels, devenir, risques environnementaux.

## Abstract

Microplastics (MP) refer to all plastic particles that are less than 5mm in size. Over the past decades, several studies have highlighted the impact of microplastics (MP) on living organisms. In addition to being pollutants themselves, these synthetic polymers also act as vectors for the transport of various types of chemicals in natural ecosystems. MP has been ubiquitously detected in a wide range of shapes, polymers, sizes and concentrations in marine water, freshwater, agroecosystems, atmospheric, food and water environments, drinking water, biota, and other remote places. According to the World Bank, over 80% of the world's marine litter is plastic and the concentration of litter on Caribbean beaches is often high, with a high presence of single-use plastics and food containers. In its work, the World Health Organization (WHO) suggests an in-depth assessment of microplastics present in the environment and their potential consequences on human health, following the publication of an analysis of the state of research on microplastics in drinking water. It also calls for reducing plastic pollution to protect the environment and reduce human exposure.

In Haiti, the bay of Port-au-Prince is the natural receptacle of all the urban effluents generated by human activities in the Metropolitan Zone. This urban wastewater carries household waste, sludge from pit latrines and sewage, industrial wastewater which largely contributes to the pollution of the bay. Furthermore, 1,673,750 tonnes per year of household waste, including 93,730 tonnes of plastic waste, are not collected. What are the environmental dangers represented by the PM contained in those wastes for living organisms in exposed tropical ecosystems? The purpose of this paper is: (i) to do a bibliographical review of the physical and chemical properties, as well as the toxicological profile of MP, (ii) to identify the environmental hazards associated with PM contained in urban waste in the metropolitan area of Port-au-Prince.

**Keywords:** microplastics, wastes, physical and chemical characteristics, natural ecosystems, fate, environmental hazards.

## 1. Introduction

Les polymères synthétiques sont apparus à la fin du dix-neuvième siècle vers les années 1860, mais ce n'est seulement qu'après la seconde guerre mondiale que "l'essor des plastiques" a vraiment commencé (Bissagou Koumba, 2018) [1]. Le plastique est devenu l'un des matériaux les plus omniprésents depuis sa création sous forme de résine phénol-formaldéhyde (c'est-à-dire bakélite) (American Chemical Society, 2013) [2]. A la base, le plastique a été conçu pour améliorer les conditions de vie de l'homme, mais aujourd'hui, il devient une véritable préoccupation environnementale (Bissagou Koumba, 2018) [1].

De nos jours, le plastique est omniprésent dans l'ensemble des compartiments de l'environnement (air, eau et sol) (Achouri, 2020 [3] ; Simonneau et al., 2019) [4]. On rapporte que les pluies et les neiges contiennent un nombre non négligeable de microplastiques, invisibles à l'œil nu et de moins de 5 mm de taille. La présence des microplastiques a été décelée dans les écosystèmes du sol (Lambert et al., 2014 [5]; Mougin, 2019 [6]). L'occurrence environnementale des microplastiques a été remarquée dans les eaux de surface (Faure et al., 2015) [7], les sédiments côtiers (Browne et al., 2011) [8], les sables de plage (Liebezeit et Dubaish, 2012) [9], les sédiments d'eau douce (Castañeda et al., 2014) [10] et les environnements en haute mer (Woodall et al., 2014) [11]. En effet, l'exploitation intensive du plastique associée à une faible performance des systèmes de gestion des déchets, incluant la collecte et captation en fin de vie, ont engendré une accumulation massive de déchets

plastiques dans l'environnement (Francois et al., 2020)[12]. Le rejet de matières plastiques dans l'environnement est reconnu comme un problème important lié à la pollution (Sutherland et al., 2010 [13], UNEP, 2011 [14], Lambert et Wagner, 2016 [15]).

La prolifération dans l'environnement des microplastiques entraîne une grave pollution partout dans le monde (Lambert et al., 2017) [16]. Suivant leurs caractéristiques, à savoir, des matériaux synthétiques à haute teneur en polymères, des particules solides, inférieures à 5 mm, insolubles dans l'eau, et non dégradables, ils sont facilement introduits dans l'environnement et y persistent en raison de leur faible solubilité (Verschoor, 2015) [17]. Les chaînes trophiques subissent une importante pollution dues aux émissions de substances chimiques organiques hydrophobes (Bakir et al., 2016 [18]; Ma et al., 2016 [19]; von Moos et al., 2012 [20]; Wang et al., 2017 [21]; Wardrop et al., 2016 [22]). Étant présents dans les différents écosystèmes aquatiques (eau de surface, océans, eaux estuariennes...), les organismes sont exposés directement ou indirectement aux microplastiques (Verschoor, 2015) [17]. La littérature scientifique rapporte les impacts négatifs des microplastiques sur les organismes benthiques (Besseling et al, 2012 [23]; Syberg et al, 2015 [24]). Les effets toxiques de ces polluants ont été étudiés sur les modes d'alimentation, la croissance et le systèmes de reproduction de plusieurs espèces aquatiques (Cole et al., 2011 [26]; Chua et al., 2014 [25]; Fossi et al., 2014 [27]; Besseling et al., 2014 [28]; Tanaka et al., 2013 [29]). L'être humain est donc exposé par la consommation des fruits de mer, poissons et crustacés, (Smith et al., 2018 [30]).

Le but de ce travail est: (i) de faire une revue bibliographique des propriétés physiques et chimiques, ainsi que du profil toxicologique des microplastiques, (ii) d'identifier les dangers environnementaux associés aux PM contenus dans les déchets urbains dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince.

## **2. Méthodologie**

Des informations scientifiques et techniques provenant de plusieurs bases de documentation mondiale ont été exploitées. Des réseaux sociaux académiques, des bases de données scientifiques telles Google Scholar, PubMed, academia.edu, researchgate.net, des presses académiques (springer.com, sciencedirect.com, Wiley Online Library, ACS Publications, etc.) ont été consultées ainsi que des données électroniques disponibles sur les sites de certaines universités de recherche. Les équations de recherche lancées sur les différents sites consultés ont été mis en oeuvre à partir du croisement des mots clés suivants: "Microplastiques", "Microplastiques (et) définition", "Microplastiques (et) plastiques", "Microplastiques (et) thermodynamiques", "Microplastiques (et) Épidémiologie", "Microplastiques ( et) propriétés physiques et chimiques", "Profil toxicologiques des microplastiques", "Microplastiques (et) Effets santé humaine", "Microplastiques (et) Environnement", "Microplastiques (et) coefficient de partage", " Microplastiques (et) Haïti", "Haïti (et) déchets solides", "Devenir et Microplastiques", "Microplastiques (et) Océan", etc. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'un examen critique. Chaque article lu, nous a référé pour la lecture d'un autre article cité dans la liste de ses références. Nous avons tenu compte des articles ayant été publiés de 2005 à 2021, le nombre de fois cités (citations analysis).

### 3. Définition, composition et caractéristiques physiques et chimiques des plastiques

Le terme plastique se réfère à «un matériau qui contient comme ingrédient essentiel un haut polymère et qui, à un certain stade de sa transformation en produits finis, peut être façonné par écoulement» (ISO, 2013) [31]. Cependant, les matériaux élastomères (également mis en forme par écoulement) ne sont généralement pas considérés comme des plastiques (AFWE, 2017 [32] ; Wu et al., 2017 [33]).

Les matières plastiques sont majoritairement produites à partir de substances non renouvelables, extraites du pétrole et du gaz naturel, (Asamany et al, 2017 [34] ; Thompson et al., 2009 [35] ; Bissagou Koumba, 2018 [1]), ou renouvelables comme la canne à sucre, l'amidon ou l'huile végétale ou même d'origine minérale comme le sel (Plastics Europe, 2019) [36]. L'évolution du plastique corrélée à ses atouts majeurs, font de lui un matériau de substitution, au détriment des métaux par exemple (Gilbert, 2017) [37]. Ainsi, l'accroissement du plastique, et ses multiples applications, le placent au premier rang des parts de marché, devant les matériaux traditionnels (Duval, 2009) [38].

La norme ISO 472 préconise l'utilisation du terme « macromolécule » pour des molécules individuelles, le terme « polymère » étant réservé pour une substance constituée de macromolécules. Elle stipule en outre que par « haut polymère » ou plus généralement « polymère », on désigne un produit constitué de molécules caractérisées par un grand nombre de répétitions d'une ou plusieurs espèces d'atomes ou de groupes d'atomes (motifs constitutionnels), reliés en quantité suffisante pour conduire à un ensemble de propriétés qui ne varient pratiquement pas avec l'addition ou l'élimination d'un seul ou d'un petit nombre de motifs constitutifs (ISO, 2013) [31]. La dénomination de "plastiques" et "matières plastiques" vient de la propriété de plasticité caractéristique de beaucoup de matériaux polymères qui peuvent être déformés à volonté sous l'effet de la température (la notion de température est ici relative : certaines matières plastiques sont déformables à température ambiante) (Hamaide, 2008) [39]. Ainsi, la plupart des matériaux plastiques mis sur le marché résultent d'étapes de formulations plus ou moins complexes destinées à donner aux macromolécules les propriétés d'usage recherchées. On fera appel à des adjuvants tels que stabilisants et additifs pour limiter la dégradation des chaînes sous l'effet de la chaleur, des rayonnements, de l'abrasion (antioxydants, charges minérales...) et leur conférer des propriétés particulières (plastifiants, colorants, ignifugeants, renforts ...) (Hamaide, 2008) [39].

Une classification principale des plastiques est basée sur la durabilité ou la non-durabilité de leurs formes, ou si elles sont thermodurcies ou thermoplastiques (Jiang et al, 2020) [40]. Selon Plastics Europe [36], les plastiques peuvent être classés en différents types. Une typologie des plastiques ainsi que leurs applications et avantages particuliers sont publiés sur le site Internet de cette institution, qui est une association de fabricants de plastiques en Europe (tableau 1).

**Tableau 1: Type de plastiques [Plastic Europe - En ligne]**

<b>Plastiques</b>	<b>Description</b>
<b><i>Plastiques biosourcés</i></b>	<i>Les plastiques biosourcés sont fabriqués en tout ou en partie à partir de ressources biologiques renouvelables. Par exemple, la canne à sucre est transformée pour produire de l'éthylène, qui peut ensuite être utilisé pour fabriquer du polyéthylène. L'amidon peut être traité pour produire de l'acide lactique et ensuite de l'acide polylactique (PLA).</i>

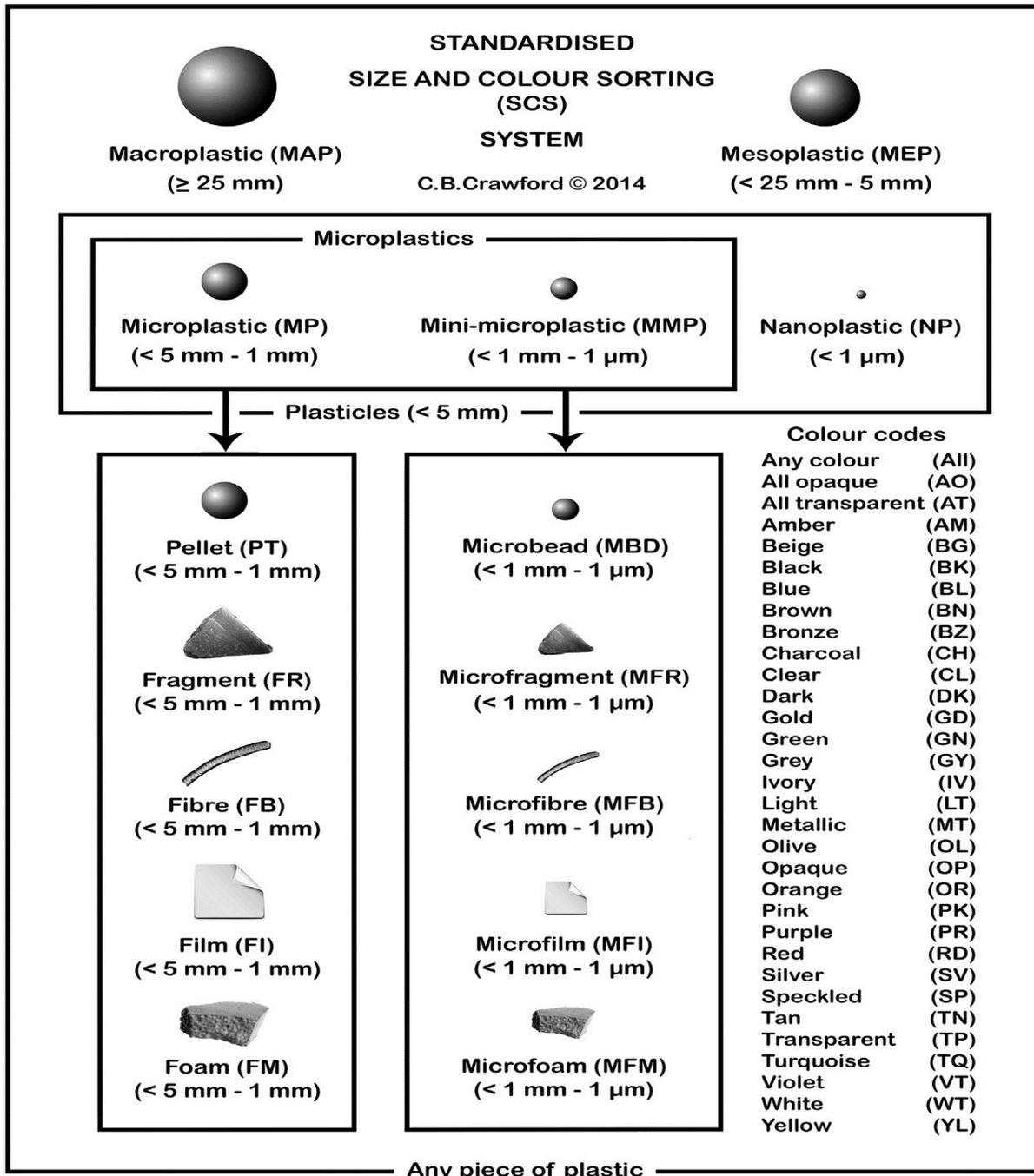
<b>Plastiques biodégradables</b>	<i>Les plastiques biodégradables sont des plastiques dégradés par des micro-organismes en eau, en dioxyde de carbone (ou méthane) et en biomasse dans des conditions spécifiées. Pour guider les consommateurs dans leur prise de décision et leur donner confiance dans la biodégradabilité d'un plastique, des normes universelles ont été mises en œuvre, de nouveaux matériaux ont été développés et un logo compostable a été introduit.</i>
<b>Plastiques techniques</b>	<i>Les plastiques techniques présentent des performances plus élevées que les matériaux standards, ce qui les rend idéaux pour les applications d'ingénierie difficiles. Ils ont progressivement remplacé les matériaux d'ingénierie traditionnels tels que le bois ou le métal dans de nombreuses applications car, non seulement ils les égalent ou les surpassent en termes de rapport poids / résistance et d'autres propriétés, mais ils sont également beaucoup plus faciles à fabriquer, en particulier dans les formes complexes.</i>
<b>Résines époxydes</b>	<i>Les résines époxy existent depuis plus de 50 ans et sont l'une des familles de plastiques les plus réussies. Leur état physique peut être changé d'un liquide à faible viscosité à un solide à point de fusion élevé, ce qui signifie qu'une large gamme de matériaux aux propriétés uniques peut être fabriquée. À la maison, vous les trouverez dans des canettes de boissons gazeuses et des emballages spéciaux, où ils sont utilisés comme doublure pour protéger le contenu et conserver la saveur. Ils sont également utilisés comme revêtement protecteur sur tout, des lits, jardin chaises, mobilier de bureau et d'hôpital, chariots de supermarché et vélos. Ils sont également utilisés dans des peintures spéciales pour protéger les surfaces des navires, des plates-formes pétrolières et des éoliennes des intempéries.</i>
<b>Polystyrène expansé</b>	<i>Le polystyrène expansé, ou EPS, est un polymère de base largement utilisé. C'est un matériau de choix depuis plus de 50 ans en raison de sa polyvalence, de ses performances et de sa rentabilité. Il est largement utilisé dans de nombreuses applications quotidiennes, telles que les boîtes à poisson, les casques de vélo et les matériaux isolants.</i>
<b>Fluoropolymères</b>	<i>Les fluoropolymères sont réputés pour leurs propriétés antiadhésives supérieures associées à leur utilisation comme revêtement sur les ustensiles de cuisine et comme antitache et anti-salissures pour les tissus et les produits textiles. Ils contribuent également à des avancées significatives dans des domaines tels que l'aérospatiale, l'électronique, l'automobile, les procédés industriels (secteurs de la chimie et de l'énergie, y compris les énergies renouvelables), l'architecture, l'agroalimentaire et les applications pharmaceutiques et médicales. Le membre le plus connu des fluoropolymères est le PTFE (polytétrafluoroéthylène).</i>
<b>Polyoléfines</b>	<i>Les polyoléfines sont une famille de thermoplastiques polyéthylène et polypropylène. Ils sont produits principalement à partir de pétrole et de gaz naturel par un procédé de polymérisation de l'éthylène et du propylène respectivement. Leur polyvalence en a fait l'un des plastiques les plus utilisés aujourd'hui.</i>
<b>Polystyrène</b>	<i>Le polystyrène est un polymère synthétique fabriqué à partir de monomère de styrène qui est un produit pétrochimique liquide. C'est un polymère thermoplastique qui se ramollit lorsqu'il est chauffé et peut être converti via des produits semi-finis tels que des films et des feuilles, en une large gamme d'articles finaux.</i>
<b>Polyuréthanes</b>	<i>Le polyuréthane (PUR) est un matériau manufacturé résilient, flexible et durable. Il existe différents types de polyuréthanes, qui ont un aspect et une sensation assez différents les uns des autres. Ils sont utilisés dans une large gamme de</i>

	<i>produits. En fait, nous sommes entourés de produits contenant du polyuréthane dans tous les aspects de notre vie quotidienne. Alors que la plupart des gens ne sont pas trop familiers avec les polyuréthanes parce qu'ils sont généralement «cachés» derrière des couvertures ou des surfaces faites d'autres matériaux, il serait difficile d'imaginer la vie sans eux.</i>
<b>Chlorure de polyvinyle</b>	<i>Le polychlorure de vinyle (PVC) a été l'un des premiers plastiques découverts et est également l'un des plus largement utilisés. Il est dérivé du sel (57%) et du pétrole ou du gaz (43%). C'est le troisième polymère plastique synthétique le plus produit au monde, après le polyéthylène et le polypropylène. Le PVC se présente sous deux formes de base: rigide (parfois abrégé en RPVC) et flexible.</i>
<b>Thermoplastiques</b>	<i>Les thermoplastiques sont définis comme des polymères qui peuvent être fondus et refondus presque indéfiniment. Ils fondent lorsqu'ils sont chauffés et durcissent lors du refroidissement. Lorsqu'il est congelé, cependant, un thermoplastique devient semblable au verre et sujet à la fracture. Ces caractéristiques, qui donnent son nom au matériau, sont réversibles, de sorte que le matériau peut être réchauffé, remodelé et congelé à plusieurs reprises. En conséquence, les thermoplastiques sont recyclables mécaniquement. Certains des types les plus courants de thermoplastique sont le polypropylène, le polyéthylène, le polychlorure de vinyle, le polystyrène, le polyéthylène étheraphtalate et le polycarbonate.</i>

### **3.1. Les microplastiques**

Jiang et al [40] notent que la dégradation des déchets plastiques génère des particules microplastiques (MP) ou nanoplastiques (MNP). Cette division se base sur le diamètre des fragments ou particules de plastique, les MP étant inférieurs à 5 mm de diamètre et les NP de 1 à 100 ou 1000 nm de diamètre [40]. La littérature scientifique sur le diamètre des particules de plastique fournit plusieurs informations et divisions des microplastiques. Arthur et al. (2009) [41] rapportent lorsqu'il a été signalé en 2004, le terme microplastiques a été utilisé pour décrire des fragments de plastique d'environ 20 µm de diamètre. Cependant, alors que ces premiers rapports faisaient référence à des particules véritablement microscopiques, ils ne donnaient pas de définition spécifique du microplastique. En 2008, l'Agence nationale océanographique et atmosphérique (NOAA) des États-Unis a accueilli le premier atelier international sur les microplastiques à Washington et, dans le cadre de cette réunion, a formulé une définition de travail plus large pour inclure toutes les particules de moins de 5 mm de diamètre (Arthur et al., 2009) [41]. D'autres auteurs considèrent que les particules >5 mm sont des macroplastiques, les mésoplastiques de 5 à > 1 mm, les microplastiques de 1 mm à > 0,1 µm et les nanoplastiques comme 0,1 µm (Lambert et al., 2014 ) [5].

Les échantillons de microplastiques sont généralement triés en différentes formes en fonction de la morphologie observée. GESAMP recommande cinq catégories générales, y compris les fragments, les mousses, les films, les lignes et les granulés (GESAMP, 2019) [42]. La figure 1 présente le système normalisé de tri par taille et couleur (SCS) pour la catégorisation des microplastiques (Crawford et al., 2017) [43]. Il est recommandé d'utiliser les données originales dans ces subdivisions plus fines en reconnaissant qu'elles peuvent être combinées pour faciliter l'harmonisation et la comparaison des données (GESAMP, 2019) [42].



**Figure 1: Le système normalisé de tri par taille et couleur (SCS) [43]**

Selon Crawford et al. [43], le système SCS génère des codes uniques pour traiter les données d'abondance des microplastiques, en exigeant un système de catégorisation efficace. Le tableau 2 présente une catégorisation du plastique en fonction de la taille, alors que le tableau donne la catégorisation des microplastiques en fonction de la morphologie.

**Tableau 2: Catégorisation des morceaux de plastique en fonction de leur taille [43].**

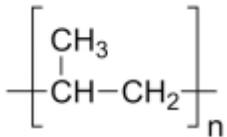
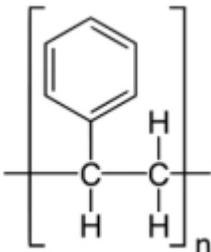
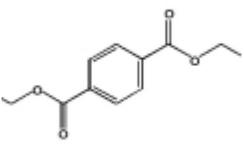
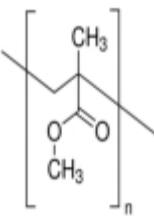
Catégorie	Abbréviation	Taille	Définition de taille
<b>Macroplastiques</b>	MAP	≥25 mm	Tout morceau de plastique d'une taille égale ou supérieure à 25 mm dans sa dimension la plus longue.
<b>Mésoplastiques</b>	MEP	<25 mm–5 mm	Tout morceau de plastique de moins de 25 mm à 5 mm dans sa dimension la plus longue.
<b>Plasticules</b>	PLT	<5 mm	Toutes les pièces de plastique de moins de 5 mm de diamètre de leur plus grande dimension.
<b>Microplastiques</b>	MP	<5 mm–1 mm	Tout morceau de plastique de moins de 5 mm à 1 mm dans sa dimension la plus longue.
<b>Mini-microplastiques</b>	MMP	<1 mm–1 µm	Tout morceau de plastique de moins de 1 mm – 1 µm dans sa dimension la plus longue.
<b>Nanoplastiques</b>	NP	<1 µm	Tout morceau de plastique de moins de 1 µm dans sa dimension la plus longue.

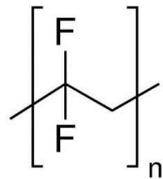
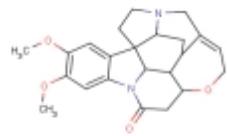
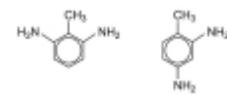
**Tableau 3: Catégorisation des microplastiques basée sur la morphologie [43].**

Abbréviation	Type	Taille	Définition
<b>PT</b>	Pastille	<5 mm–1 mm	Un petit morceau de plastique sphérique de moins de 5 mm à 1 mm de diamètre.
<b>MBD</b>	Microbille	<1 mm–1 µm	Un petit morceau de plastique sphérique de moins de 1 mm à 1 µm de diamètre.
<b>FR</b>	Fragment	<5 mm–1 mm	Un morceau de plastique de forme irrégulière de moins de 5 mm à 1 mm dans sa dimension la plus longue.
<b>MFR</b>	Microfragment	<1 mm–1 µm	Un morceau de plastique de forme irrégulière de moins de 1 mm à 1 µm dans sa plus grande dimension.
<b>FB</b>	Fibre	<5 mm–1 mm	Un toron ou un filament de plastique de moins de 5 mm à 1 mm dans sa dimension la plus longue.
<b>MFB</b>	Microfibre	<1 mm–1 µm	Un toron ou un filament de plastique d'une taille inférieure à 1 mm à 1 µm dans sa dimension la plus longue.
<b>FI</b>	Film	<5 mm–1 mm	Une feuille mince ou un morceau de plastique en forme de membrane de moins de 5 mm à 1 mm dans sa dimension la plus longue.
<b>MFI</b>	Microfilm	<1 mm–1 µm	Une feuille mince ou un morceau de plastique en forme de membrane de moins de 1 mm à 1 µm dans sa dimension la plus longue.
<b>FM</b>	Foam	<5 mm–1 mm	Un morceau d'éponge, de mousse ou de matière plastique semblable à de la mousse de moins de 5 mm à 1 mm dans sa dimension la plus longue.
<b>MFM</b>	Microfoam	<1 mm–1 µm	Un morceau d'éponge, de mousse ou de matière plastique semblable à de la mousse de moins de 1 mm à 1 µm dans sa dimension la plus longue.

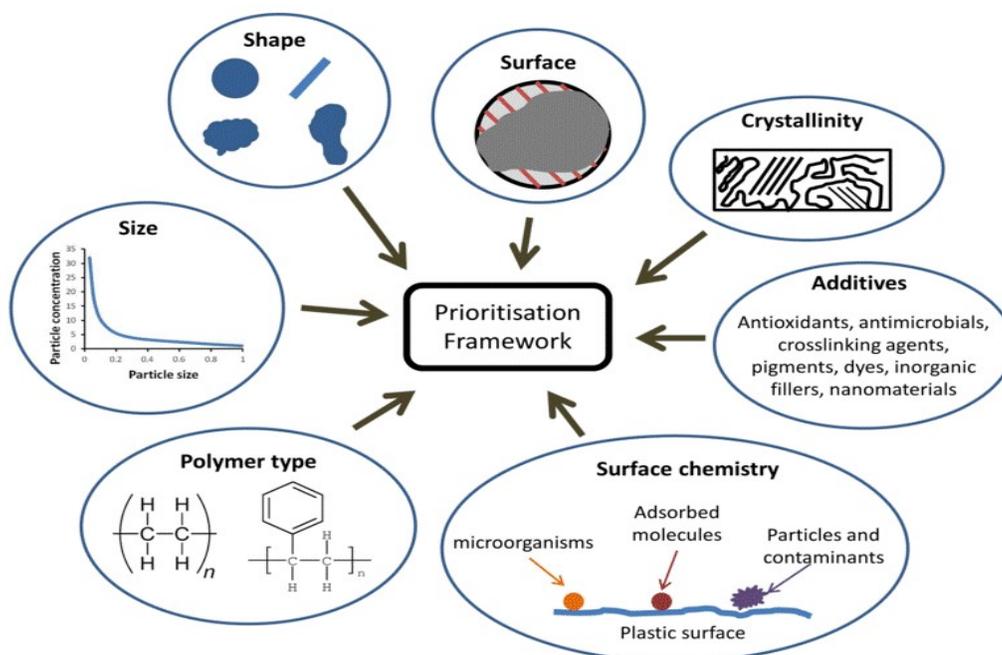
Il existe plusieurs centaines de types différents de polymères et de mélanges de polymères dans la production commerciale, mais le marché est dominé par: le polyéthylène (à la fois haute densité, HDPE et basse densité, LDPE), polypropylène (PP), polychlorure de vinyle (PVC), polyuréthane (PUR), polystyrène (PS) et polyéthylène téréphtalate (PET). Ces six polymères représentent environ 80% de la production de plastiques et sont susceptibles de former une grande partie de la plupart des déchets marins (GESAMP, 2019) [42]. Les polymères les plus couramment produits par l'homme et dérivés du pétrole trouvés dans les microplastiques sont énumérés dans le tableau 4.

**Tableau 4: Principaux polymères trouvés dans les microplastiques [32].**

Polymères	Abbréviation	CAS #	Formule Moléculaire	2D Structure
Polyéthylène	PE	9002-88-4	$(C_2H_4)_n$	 <p>polyethylene</p>
Polypropylène	PP	9003-07-0	$(C_3H_6)_n$	
Polystyrène expansé	EPS	9003-53-6	$(C_8H_8)_n$	
Polyéthylène Téréphtalate	PET	25038-59-9	$(C_{10}H_8O_4)_n$	
Polyméthylmétaacrylate	PMMA	9011-14-7	$[(CH_2C(CH_3)(CO_2CH_3))]_n$	

Polytétrafluoroéthylène	PTFE	9002-84-0	$(CF_2CF_2)_n$	
Polyamide (nylon)	PA	63428-84-2	$C_{23}H_{26}N_2O_4$	
Polyuréthane	PU	9009-54-5	$C_3H_8N_2O$	

Selon Lambert et al. [16], «Microplastique» est un terme générique qui couvre de nombreuses formes de particules, tailles et types de polymères, et en tant que tels, les propriétés physiques et chimiques des microplastiques environnementaux différeront des microbilles primaires couramment utilisées pour les tests d'écotoxicité. La figure 2 présente les propriétés physiques et chimiques des particules, en concentrant la taille des particules, la forme des particules, la surface et la cristallinité, ainsi que la composition chimique, tout en tenant compte du type de polymère, des composés additifs et des changements dans les propriétés de surface) (Lambert et al., 2017) [16].



**Figure 2: Différentes propriétés physiques et chimiques des microplastiques à prendre en compte dans un cadre de priorisation [16].**

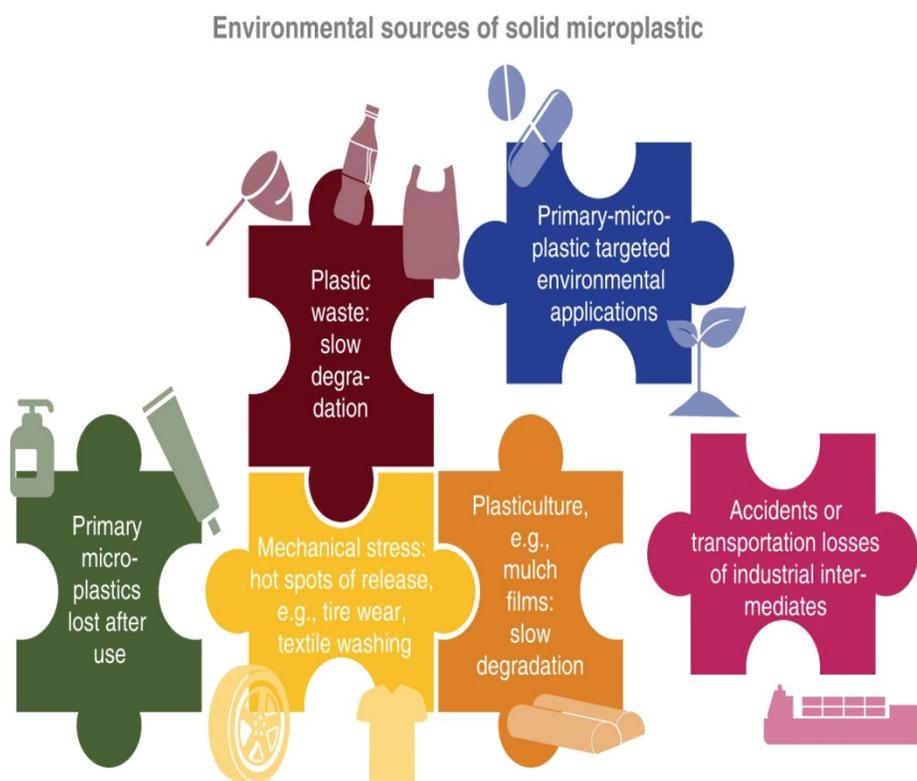
### **3.2. Cadre juridique et réglementaire sur les MP**

La dégradation des déchets plastiques génère des particules de plastique micro ou nanométriques qui sont définies comme des micro (diamètre inférieur à 5 mm) ou nanoplastiques (diamètre de 1 à 100 ou 1000 nm) (Jiang et al., 2020) [47].

Les microplastiques sont subdivisés en deux groupes: les microplastiques primaires et les microplastiques secondaires (Cole et al., 2011 [26]). La distinction entre les micro-plastiques primaires et secondaires est basée sur le fait que les particules ont été fabriquées à l'origine pour être de cette taille (primaire) ou si elles résultent de la décomposition d'articles plus volumineux (secondaires) (GESAMP, 2015) [44]. Il s'agit d'une distinction utile car elle peut aider à indiquer les sources potentielles et à identifier les mesures d'atténuation pour réduire leur contribution à l'environnement. Les microplastiques primaires comprennent les «épurateurs» industriels utilisés pour nettoyer les surfaces, les poudres de plastique utilisées dans le moulage, les microbilles dans la formulation cosmétique et les nanoparticules de plastique utilisées dans divers processus industriels (GESAMP, 2015[44] ; Frias et al., 2019 [45]). En outre, les granulés de résine vierge sphériques ou cylindriques, généralement d'environ 5 mm de diamètre, sont largement utilisés lors de la fabrication des plastiques et du transport de la «matière première» de résine de base avant la production de produits en plastique. Les microplastiques secondaires résultent de la fragmentation et de l'altération des plus gros articles en plastique. Cela peut se produire pendant la phase d'utilisation de produits tels que les textiles, la peinture et les pneus, ou une fois que les articles ont été rejetés dans

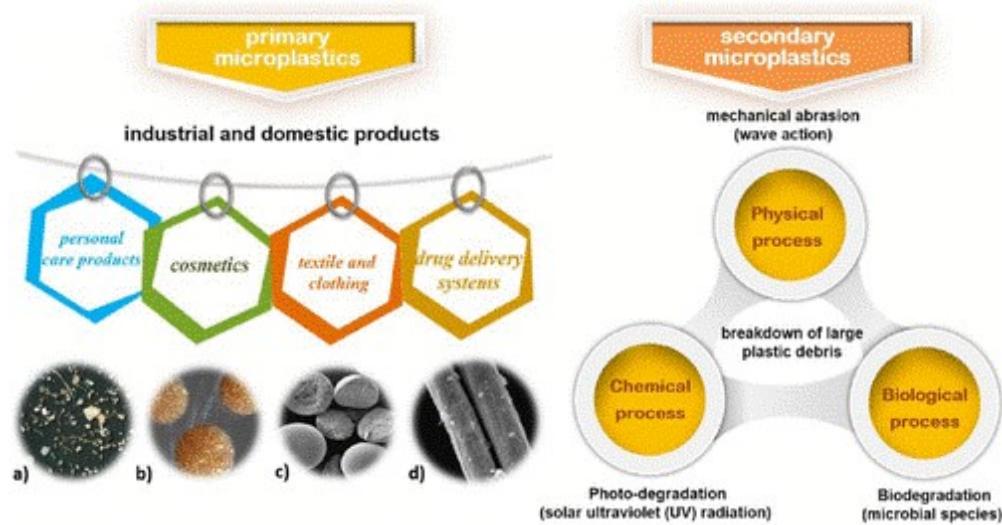
l'environnement (GESAMP, 2015) [44]. Le taux de fragmentation est contrôlé par un certain nombre de facteurs (GESAMP, 2016) [46].

Les plastiques peuvent être perdus dans l'environnement tout au long de leur chaîne de valeur (Mitrano et Wohlleben, 2020) [47], ce qui crée différentes opportunités (et défis) pour empêcher les fuites dans les systèmes techniques et naturels (Ryberg et al., 2019). [48]. Dans ce contexte, il est utile de cadrer les problèmes séparés mais interdépendants de la pollution plastique, qui sont nichés les uns dans les autres (Mitrano et Wohlleben, 2020) [47]. Une liste des sources de MP qui entrent dans l'environnement est présentée à la figure 3.



**Figure 3: Sources environnementales de pollution par les microplastiques [47]**

Les microplastiques dans l'environnement sont généralement supposés être un agrégat hétérogène de particules, qui peuvent être à la fois d'origine primaire et / ou secondaire. Cependant, quel que soit le groupe auquel ils appartiennent, en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques, de la taille et de la forme des particules, de la cristallinité, de la chimie de surface et de la composition des polymères et additifs, la toxicité des microplastiques peut être cruciale pour l'environnement (Liu et al., 2019) [49]. Dans une revue critique sur les sources et les instruments des microplastiques dans les écosystèmes marins, Wang et al [50] présentent une figure dans laquelle les origines terrestres des particules primaires et secondaires sont bien expliquées (figure 4).



**Figure 4: Sources of microplastics in natural ecosystems [50]**

Bien qu'il n'y ait pas de législation maritime internationale spécifique concernant les microplastiques jusqu'à présent, de nombreuses contre-mesures proactives ont été prises - des pratiques volontaires ou juridiquement contraignantes aux niveaux international, régional et national (Mitrano et Wohlleben, 2020) [47]. En effet, la littérature disponible sur la pollution des mers rapporte l'existence de trois conventions internationales mondiales qui traitent de la problématique des déchets plastiques dans l'environnement marin au début des années 1970: (i) la Convention des Nations Unies (ONU) sur le droit de la mer (UNCLOS, 1982) [51], (ii) la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (1973) tel que modifié par le Protocole de 1978 (MARPOL 73/78) [52] et (iii) la Convention sur la prévention de la pollution par immersion de déchets et autres matières (Convention de Londres ou LC, 1972) (Farnell & Tanzi, 2017) [53]. Un aperçu de la législation, des réglementations et des instruments actuels relatifs aux microplastiques est présenté dans le tableau 4.

**Tableau 4: Aperçu de la législation, des réglementations et des instruments actuels relatifs aux microplastiques [50].**

Instruments internationaux	Période	Contenu spécifique
Convention des Nations Unies (ONU) sur le droit de la mer	1982	Partie XII (articles 192 à 237): Protection et maîtrise de la pollution marine provenant de sources marines ou terrestres.
MARPOL 73/78	1973	L'annexe V interdit «l'élimination à la mer de tous les plastiques, résidus de cargaison, engins de pêche, y compris, les cordes synthétiques, les filets de pêche synthétiques et les sacs à ordures en plastique» (Révisé en 2011 et entré en vigueur en 2013).

Convention de Londres	de	1972	Empêcher «l'élimination délibérée en mer de déchets et autres matières provenant des navires, aéronefs et autres structures, y compris les navires eux-mêmes». (Annexe I, paragraphe 2)
Protocole de Londres	de	1996	Interdire l'immersion de tout déchet ou autre matière, y compris l'exportation de déchets vers des pays pour immersion et incinération en mer, à l'exception des matières énumérées à l'annexe I. (articles 4.1.1, 5 et 6)
Convention de Bâle		1989	Inclure les questions relatives aux déchets plastiques et aux microplastiques dans le volet de travail de la Convention de Bâle à la COP 13 (Déchets plastiques à l'annexe II Y 46 (Déchets ménagers) et à l'annexe VIII (Déchets non dangereux)).
Programme des Nations Unies pour l'environnement - Programme pour les mers régionales et Programme d'action mondial		2003	Activités régionales dans 12 mers régionales.
Déclaration de Manille	de	2012	Empêcher les déchets marins provenant de sources terrestres et convenir d'établir un partenariat mondial sur les déchets marins (GPML).
Sommet du G7		2014	Plan d'action du G7 sur les déchets marins.
Sommet du G20		2017	Plan d'action du G20 sur les déchets marins.
Assemblée des Nations Unies pour l'environnement (UNEA) I		2014	Résolutions 1/6: Mettre en avant la question des «Débris plastiques marins et microplastiques».
UNEA II		2016	Résolutions 2/11: Mesures pour réduire les déchets plastiques marins et les microplastiques.
UNEA III		2017	Résolutions 3/7: Lutter contre la propagation des déchets plastiques marins et des microplastiques.

En considérant l'abondance des microplastiques dans l'environnement, de leur capacité à absorber les polluants, de leur impact sur les organismes vivants, les autorités sanitaires et environnementales de plusieurs pays ont appliqué le principe de précaution en adoptant un cadre juridique sur les MP. Cependant, les incertitudes et les lacunes dans les preuves concernant les effets des microplastiques sur l'environnement et sur la santé humaine empêchent l'adoption de mesures plus restrictives, avec le principe de précaution - conformément aux obligations de l'OMC sur le commerce international - ne jouant qu'un rôle majeur (Kentin et Kaarto, 2018) [54]. Les informations disponibles sur les instruments régionaux et nationaux actuels liés aux microplastiques sont discutées dans Wang et al. (2018) [50].

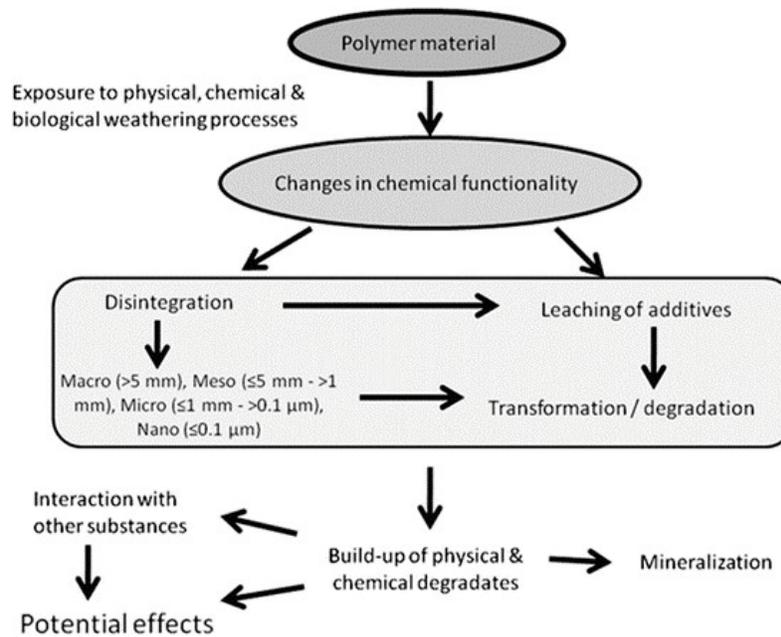
#### **4. Impact des microplastiques sur les organismes vivants dans les écosystèmes naturels**

La production mondiale de plastiques est passée de 1,5 million de tonnes dans les années 1950 à 335 millions de tonnes en 2016, les plastiques étant rejetés dans pratiquement tous les

composants de l'environnement (Alimba et Faggio, 2019) [55]. Les MP présents dans l'environnement résultent de la décomposition successive de pièces en plastique plus grosses ou de l'apport direct de particules micro et nanométriques utilisées dans diverses industries et produits mis à la disposition des consommateurs (Peixoto et al., 2019) [56]. En effet, au cours de leur production, de leur utilisation industrielle et domestique, et après de tels procédés, une part considérable des plastiques produits dans le monde se retrouve dans l'environnement. De plus, les plastiques se biodégradent rarement, mais par différents processus, ils se fragmentent en microplastiques et nanoplastiques, qui ont été signalés comme polluants omniprésents dans tous les environnements marins du monde entier (Alimba et Faggio, 2019) [55]. En fait, les plastiques représentent l'une des parties des déchets urbains ayant la croissance la plus rapide contribuant à la contamination et à la pollution de l'environnement, les débris plastiques représentant environ 60 à 80% de tous les déchets marins, atteignant 90 à 95% dans certaines régions (Moore, 2008 [57] ; Qiu et al., 2016 [58]; Wang et al., 2016 [59] ; Peixoto et al., 2019 [56]).

#### **4.1. Occurrence environnementale**

Une fois rejeté dans l'environnement, les MP sont transportés et distribués dans divers compartiments environnementaux. Les distances parcourues par un objet individuel dépendent de sa taille et de son poids. Les matériaux légers peuvent être facilement transportés sur de longues distances par une route souflée par le vent ou transportés par l'eau douce finit par s'accumuler dans les océans. Lors de fortes pluies, les déchets en bordure de route peuvent être emportés dans les égouts et les ravines et, lorsque la topographie y est favorable, peuvent être transportés vers la mer. La figure 5 montre un modèle conceptuel illustrant les voies de dégradation des matériaux polymères (Lambert et al., 2014) [5].



**Figure 5: Modèle conceptuel illustrant les voies de dégradation des matériaux polymères [5]**

Dans l'environnement, les MP sont ensuite dégradés par des facteurs abiotiques ou biotiques travaillant ensemble ou en séquence; ces processus provoquent la désintégration de la matrice polymère, entraînant la formation de particules fragmentées de différentes tailles et d'additifs lessivés. Selon Lambert et al. [5] «il existe une large littérature traitant de la dégradation de divers types de polymères dans diverses conditions. La plupart de ces études ont été réalisées en laboratoire et ont principalement porté sur des échantillons exposés à une irradiation UV à haute énergie ».

Les MP constituent une matrice de polluants, composée de plusieurs monomères et polymères (PE, PP, EPS, PET, PMMA, PTFE, PA, PU...), de catalyseurs métalliques, d'additifs : phtalates, retardateurs de flamme, bisphénols A et F...), de matériaux de charge (talc, dioxyde de Ti), de polluants du milieu adsorbés (organiques et inorganiques, d'agents pathogènes, etc.). L'exposition des organismes vivants aux MP conduit à considérer les interactions entre les effets combinés des différents polluants. La caractérisation de l'exposition aux microplastiques dépendra: i) du nombre de particules; ii) la distribution de taille, la forme, les propriétés de surface, la composition du polymère et la densité des particules; iii) la durée de l'exposition; iv) la cinétique d'absorption et de désorption des contaminants, vis-à-vis du plastique et de l'organisme; et, v) la biologie de l'organisme (GESAMP, 2015) [44].

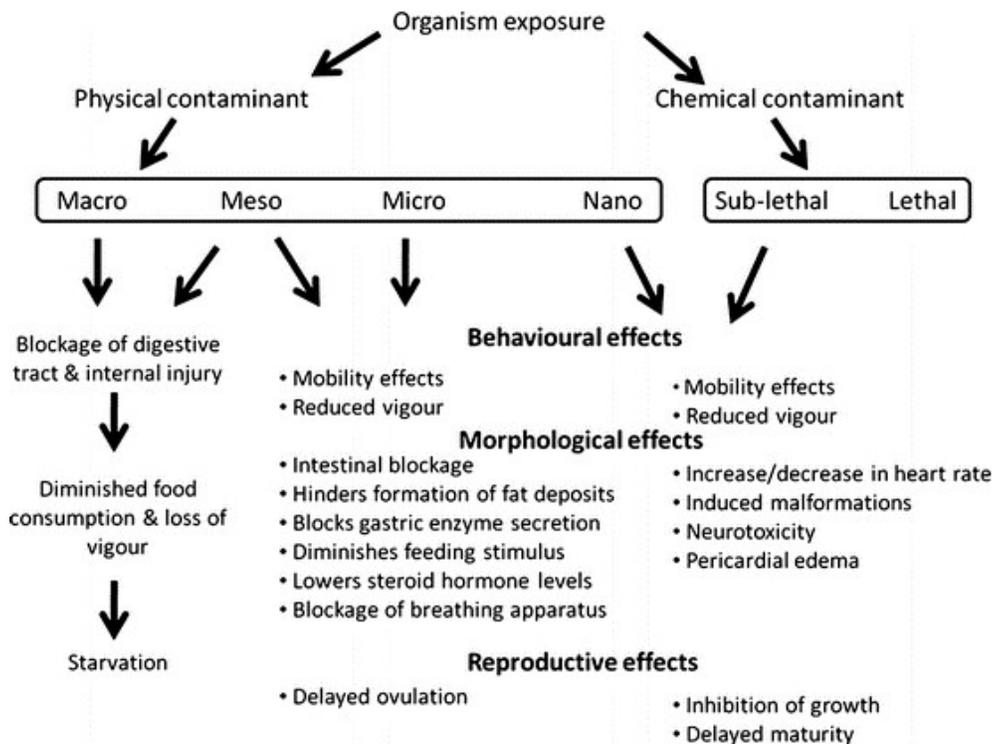
## 4.2. Effets environnementaux

Les microplastiques ont été détectés dans les sédiments, les eaux de surface, les eaux estuariennes et marines (Li et al., 2016 [60]; Turner et Rawling, 2000 [61]; Zeng et al., 2008

[62]). Les effets négatifs des microplastiques sur les algues, les moules, les poissons et autres organismes ont fait l'objet de plusieurs études (Green et al., 2017 [63]; Lagarde et al., 2016 [64]; Setälä et al., 2014 [65]; Von Moos et al., 2012 [20]). Vu la difficulté pour les grands organismes filtreurs (les nageoires, les baleines,..) et le zooplancton de faire la différence entre les microplastiques et les aliments proprement dit (Fossi et al., 2014 [27] ; Cole et al., 2013[66]), une intoxication cellulaire a été documentée par l'ingestion par inadvertance des microplastiques adhérents avec d'autres polluants (Cole et al., 2011[26] ; Chua et al., 2014 [25]). Des retardateurs de flamme (produits chimiques dérivés du plastique) ont été trouvés chez les oiseaux (Tanaka et al., 2013 [29]) et des phtalates dans les baleines et les requins filtreurs (Fossi et al., 2014 [27]). Les microplastiques peuvent affecter la croissance et la reproduction chez des daphnies (Besseling et al., 2014) [28].

Alimba et Faggio [55] ont observé des effets de MP sur les vertébrés et les invertébrés marins, notamment: asphyxie par noyade, limitation de l'alimentation et augmentation de la famine, écorchures cutanées et blessures au squelette (qui sont à la base des lésions de la muqueuse intestinale, de la morbidité et de la mortalité), stress oxydatif, altération des réponses immunologiques, de l'instabilité génomique, de la perturbation du système endocrinien, de la neurotoxicité, des anomalies de la reproduction, de l'embryotoxicité et de la toxicité transgénérationnelle (Alimba et Faggio, 2019 [55]).

Présents dans un environnement, les MP ont la capacité d'imiter les sources alimentaires naturelles des espèces vivantes (Lambert et al., 2014 [5]). Cent trente cinq (135) espèces de vertébrés marins et huit (8) espèces d'invertébrés susceptibles de s'emmêler, et cent onze (111) espèces d'oiseaux de mer ont été identifiées, entre autres, parmi les espèces qui ingèrent des objets en plastique (Laist, 1987) [67]. D'autres études ont montré que les boucles d'emballage de MP étaient une menace pour les otaries en Californie et les otaries à fourrure en Australie, respectivement Hanni and Pyle (2000) [68] et Page et al. (2004) [69]. Les sacs en plastique ont été identifiés comme le principal type de débris ingérés par les tortues marines (Bugoni et al., 2001) [70]. La figure 6 montre un modèle conceptuel illustrant les effets potentiels produits lors de la dégradation des matériaux à base de polymères (Lambert et al., 2014 [5]).



**Figure 6: Modèle conceptuel illustrant les effets potentiels produits lors de la dégradation des matériaux à base de polymères [5]**

### 4.3. Effets potentiels des microplastiques sur la santé humaine

La première voie d'exposition humaine aux MP est l'ingestion des denrées alimentaires, notamment les fruits de mer ayant ingérés des microplastiques (Smith et al., 2018[30]), les poissons commerciaux transformés (Luscher et al., 2017[71]), le sel de mer (Yang et al., 2015[72]), le miel (Liebezeit et al., 2013[73]), la bière, les composants des produits alimentaires (Liebezeit et al., 2013 [73]). La plupart de ces produits alimentaires sont parfois contaminés par la présence des impuretés dans les matériaux de traitement et les contaminants présents dans les emballages (Liebezeit et al., 2014 [74]). La deuxième voie d'exposition est l'inhalation d'air et de poussière contenant les MP (Smith et al., 2018[30]) . Compte tenu de leur valeur nutritive, les fruits de mer jouent un rôle important dans l'alimentation humaine. En effet, la consommation de fruits de mer représente 6,7% de toutes les protéines et environ 17% de protéines animales en 2015 (FAO, 2016) [75]. Le risque d'exposition est donc grand et augmente avec les petits poissons consommés entiers (GESAMP, 2016) [46].

Plusieurs études ont mis en évidence la présence de microplastiques dans plusieurs espèces aquatiques commerciales telles que la moule, l'huître, crabe, concombre de mer et poisson (Van Cauwenberghe and Janssen, 2014 [76] ; De Witte et al., 2014 [77] ; Leslie et al., 2013 [78]). Les résultats de ces travaux permettent d'avancer que les humains sont exposés aux microplastiques par le biais de leur alimentation et la présence de microplastiques dans les

fruits de mer pourrait constituer une menace pour les aliments de sécurité (Van Cauwenberghe et Janssen, 2014) [76]. L'accumulation potentielle de microplastiques dans les chaînes alimentaires, en particulier dans les poissons et crustacés (espèces de mollusques, crustacés et échinodermes), semble être la principale source d'exposition humaine aux microplastiques (GESAMP, 2015 [44]). La contamination des produits alimentaires par les MP pourrait avoir des conséquences sur la santé des consommateurs humains. Dans ce contexte trophique, le devenir et la toxicité des microplastiques chez l'homme constitue un manque de connaissances majeur qui mérite une attention particulière.

La translocation des microplastiques de l'intestin vers le système circulatoire et divers tissus et cellules chez l'homme a été étudiée par plusieurs auteurs (GESAMP, 2015 [44]). En effet, Hussain et al., (2001) [80] ont montré l'absorption des particules de PE captées dans la lymphe et le système circulatoire à partir du tractus gastro-intestinal. L'exposition de macrophages humains à des microsphères fluorescentes de PS (1, 0,2 et 0,078  $\mu\text{m}$ ), a démontré une capture de particules pilotée par des processus non endocytaires (diffusion ou interactions adhésives) (GESAMP, 2015 [44]).

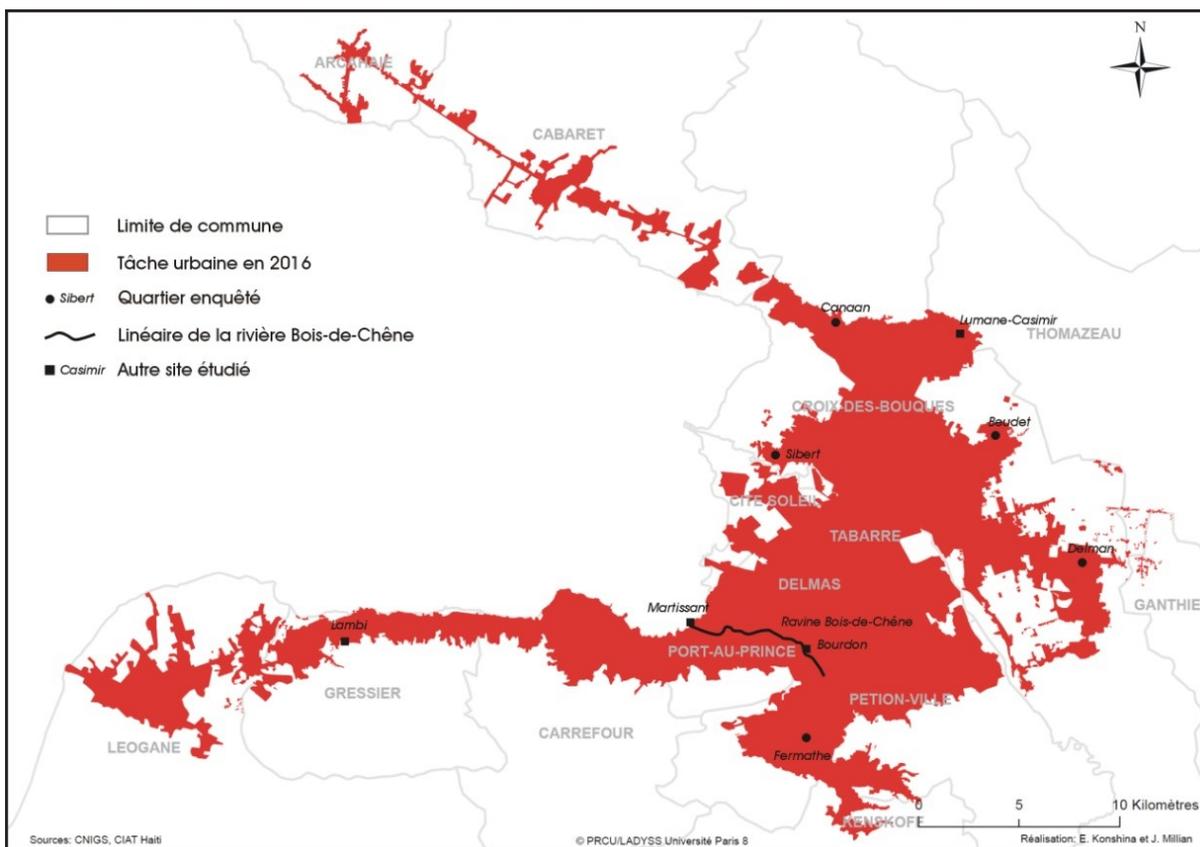
## **5. Gestion des déchets, pollution environnementale, microplastiques et perte de biodiversité à Port-au-Prince**

### **5.1. La problématique des déchets solides à Port-au-Prince**

La propreté urbaine et ses déclinaisons dans le temps reflètent les aspects de chaque civilisation, la capacité des sociétés à légiférer, à mobiliser des techniques et à organiser la complexité des services urbains (Berdier et Deleuil, 2002) [80]. Dans les pays en développement (PED), la question de la propreté urbaine met à priori en évidence la faiblesse des gestionnaires urbains et des institutions quant à leur capacité de gérer le flux croissant et très hétérogène de déchets produits (Bras, 2010) [81].

À Port-au-Prince, la capitale d'Haïti, la gestion des déchets solides est pratiquée dans un contexte de croissance démographique rapide et de pauvreté urbaine extrême (Bras et al., 2009) [82]. En effet, la propreté urbaine et ses déclinaisons dans le temps mettent en lumière un décalage patent entre l'objectif du service de gestion des déchets (rendre et maintenir la ville propre) et les réalités du terrain. La conjonction du faible taux de ramassage des ordures et des fortes densités humaines accentue l'insalubrité dans la ville et représente un facteur de risque non seulement sur le plan de la santé humaine mais aussi sur l'environnement. Aussi, les espaces vacants, les vides dans la trame urbaine de Port-au-Prince deviennent très rapidement des espaces de « décharge publique » (Bras, 2010) [81]. Dans cette agglomération urbaine (figure 7), note Lacour (2012) [83], la propreté urbaine s'installe dans la mixité de la plupart des systèmes urbains de gestion de déchets où se côtoient les services étatiques et privés, de même que les fonds publics et le financement international, à travers les organismes de développement. En outre, les impacts négatifs (pollution, nuisance, prolifération de rongeurs et insectes, risques de maladies, etc.), liés à l'importance, la nature et aux modes de gestion

inadaptés des déchets organiques (mise en décharge avec les autres catégories, combustion, etc.), sont généralement très prononcés (Lacour, 2012) [83].



**Figure 7: L'agglomération de Port-au-Prince [84]**

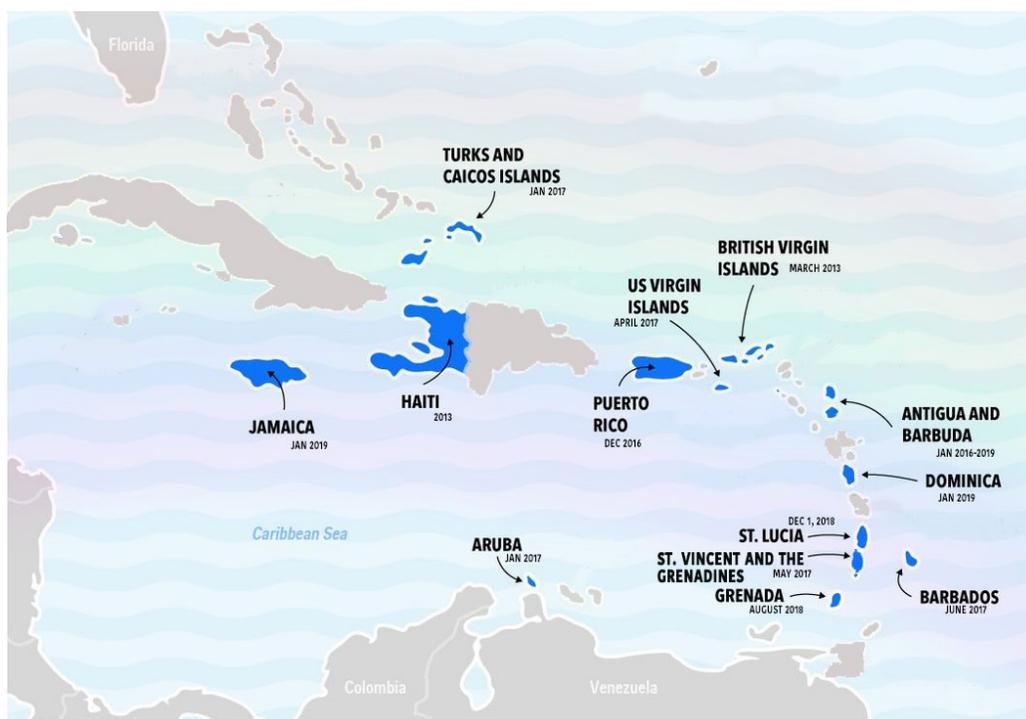
Les caractéristiques du système de gestion des déchets en Haïti ont été ainsi définies (Bras et Lacour, 2009) [85]:

- ✓ A la source, le comportement général tend à l'évacuation immédiate de déchets non triés. Par conséquent, l'espace public (commun) le plus proche devient l'exutoire privilégié. Ce réflexe est particulièrement prédominant dans les zones rurales, périurbaines et les quartiers précaires des zones urbaines dites de « bas standing ».
- ✓ L'existence d'un circuit informel, dit plutôt pragmatique, vient suppléer l'absence d'un service institutionnel de gestion des déchets en milieu rural ou le dysfonctionnement de celui-ci en milieu urbain. Ce circuit est caractérisé par une pré-collecte par apport volontaire, une collecte individuelle (rurale et périurbaine) ou privée (urbaine de « moyen standing » et « haut standing»), une élimination des déchets dans des espaces non dédiés (terrains vagues, ravines, etc.) transformés spontanément en décharges sauvages.
- ✓ L'absence totale de site de décharge répondant aux normes environnementales, en matière de catégorisation des déchets, de travaux d'aménagement pour le contrôle des rejets et la récupération de lixiviat et biogaz, la gestion des odeurs, le contrôle des animaux, etc.

- ✓ Les pratiques de valorisation de déchets organiques en particulier par l'alimentation d'animaux de compagnie et d'élevage (libre et à la corde) sont assez fréquentes au niveau des points de pré-collecte et de collecte.
- ✓ Le déficit d'information relative aux gisements de déchets, en termes de leurs masses, leurs compositions et leurs caractéristiques bio-physico-chimiques, à travers les saisons et les espaces ruraux, périurbains et urbains, constitue un obstacle à la mise en place, au suivi et à l'anticipation des stratégies de gestion.

## 5.2. La problématiques des déchets plastiques et des microplastiques à Port-au-Prince

Selon la Banque Mondiale (2019) [86], dans les Caraïbes et ailleurs dans le monde, la pollution marine est liée à une mauvaise gestion des déchets sur terre : décharges sauvages, brûlage à l'air libre ou encore déversement des déchets dans les cours d'eau. Par ailleurs, la quantité de matières plastiques y atteint une concentration de 200 000 débris par kilomètre carré dans le nord-est des Caraïbes. Dans cette région du monde, environ 85 % des eaux usées sont déversées dans l'océan sans avoir été traitées auparavant ; et, dans les pays insulaires plus particulièrement — Bahamas, Grandes Antilles (Cuba, République dominicaine, Haïti, Jamaïque et Porto Rico) et Petites Antilles —, environ 52 % des ménages ne sont pas raccordés aux égouts. Toutefois, 14 pays des Caraïbes (soit plus d'un tiers) ont interdit les sacs plastiques à usage unique et/ou les contenants en polystyrène expansé (Figure 8).



**Figure 8: Les pays des Caraïbes ayant interdit les sacs plastiques à usage unique et/ou les contenants en polystyrène expansé [86]**

En Haïti, le gouvernement a émis le 9 août 2012, un arrêté interdisant la production, l'importation, la commercialisation et l'utilisation, sous quelque forme que ce soit, des sacs en polyéthylène et objets en polystyrène expansé (PSE ou PS ou styrofoam) à usage alimentaire unique, tels que plateaux, barquettes, bouteilles, sachets, gobelets et assiettes. Le 10 juillet 2013, un deuxième arrêté a été pris pour interdire encore une fois «d'importer, de produire ou de commercialiser les objets en polystyrène expansé à usage alimentaire». En appui au deuxième arrêté, les ministères de l'Environnement, de la Justice et de la Sécurité publique, du Commerce et de l'Industrie ainsi que de l'Économie et des Finances ont annoncé dans une note publiée en janvier 2018 que des brigades spécialisées vont être déployées sur le territoire pour forcer l'application du dit arrêté.

Pour mieux approcher la problématique de la gestion des déchets plastiques et microplastiques qui est faite à Port-au-Prince, il convient d'observer dans sa globalité le système de gestion des déchets. En Haïti, il y a le Service National de Gestion des Résidus Solides (SNGRS) pour la gestion des déchets. Cette institution publique a un statut d'organisme autonome, et une autorité qui s'étend sur tout le territoire du pays.

Au niveau de l'agglomération de Port-au-Prince, il y a un seul espace qui a été officiellement désigné pour recevoir tout type de déchets. Du fait d'une capacité insuffisante des acteurs publics à collecter tous les déchets, ceux-ci terminent sur différents types d'espaces selon des logiques différentes (Popescu et al, 2014) [87]. La présence non contrôlée de déchets induit un certain nombre de nuisances potentielles. Il faut alors prendre en compte le risque sanitaire classiquement associé aux déchets (Ngo et Régent, 2008) [88], en tant que vecteur de pathologie et de contamination des ressources naturelles (Popescu et al, 2014) [87]. Au-delà des dangers environnementaux que génèrent les substances chimiques et les microorganismes pathogènes présents dans les déchets solides, ces derniers obstruent non seulement les voies de circulation, mais sont également source d'inondation en bouchant les canaux d'irrigation et les ravines (Figure 9).



**Figure 9: Présence non contrôlée de déchets dans les espaces publics à Port-au-Prince.** (Illustration de gauche – Dépôt sauvage des déchets ménagers en bord d'une route [87]. Illustration de droite - Dépôt sauvage de déchets de PSE ou PS ou styrofoam dans le plus grand collecteur d'eaux urbaines de Port-au-Prince).

L'écosystème marin de Port-au-Prince est susceptible de subir localement des dommages très graves dus au rejet direct d'effluents urbains (Adams and Greeley, 2000) [89]. En effet, le rejet de contaminants dans les écosystèmes naturels, par exemple les plans d'eau, pose un problème important pour la qualité de l'eau et la santé des organismes aquatiques en raison non seulement des divers types de polluants qui ont un impact sur ces systèmes, mais également en raison des nombreuses façons dont les polluants peuvent nuire à la santé des organismes aquatiques (Emmanuel et al., 2009a ) [90]. Avec la température tropicale d'Haïti et la durée journalière moyenne (12 heures/jour), les matières plastiques présentes dans les canaux d'eaux urbaines pourraient se dégrader plus rapidement en générant des microplastiques. Leur décharge dans la baie de Port-au-Prince expose cet écosystème à des dangers environnementaux (Emmanuel et al., 2009b) [91], celui des polluants contenus dans les eaux usées, et celui des aléas climatiques notamment l'acidification des océans. Le stress des organismes benthiques (les récifs coralliens, les bivalves) devront alors être observés et suivis.

## **Conclusion**

La présence des microplastiques dans l'environnement génère avant tout des dangers de santé environnementale, lesquels nécessitent d'être de plus en plus identifiés et évalués. La majorité des travaux de recherche dans le domaine de la pollution environnementale des microplastiques s'est réalisée sur les écosystèmes aquatiques. Il se pose alors la nécessité d'entamer des programmes de recherche sur les écosystèmes terrestres.

Le devenir des MP dans l'environnement représente de véritables défis de recherche. En effet, il y a un manque de connaissance au niveau local et national des différents flux. Au niveau global, les valeurs toxicologiques de références qui ne sont pas encore obtenues. Il y a lieu d'étudier les relations doses-réponses humaines en s'appuyant sur les expositions des espèces animales encore possibles.

Le champ de l'évaluation environnementale des MP, dans les Caraïbes par exemple, fait à priori appel à des approches transdisciplinaires. En effet, cette région du monde, grâce à son climat tropical et la mer des Caraïbes, fait du tourisme un de ses principaux créneaux de développement. La pollution aux déchets plastiques expose à un risque de déséquilibre économique. Dans le cas d'Haïti, au-delà de l'urgence de revoir ses politiques publiques en matière de gestion des eaux urbaines et des déchets solides, la pollution des écosystèmes par les MP mettent en évidence la nécessité d'initier de véritables travaux de recherche dans le domaine d'écotoxicologie marine.

## **Références bibliographiques**

1. Bissagou Koumba, G. (2018). Fragmentations chimique et physique de plastiques et microplastiques en eau douce sous irradiation UV-visible (Doctoral dissertation, Clermont Auvergne).
2. American Chemical Society. (2013). The bakelizer. American Chemical Society: Washington, DC, USA.

3. Achouri, S. (2020). Les microplastiques dans les rivières et eaux de surfaces, exploration des méthodes d'échantillonnages et analyses en laboratoire: préparation à une application à l'exutoire de deux stations d'épurations Arlon et Libramont. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/10115>
4. Simonneau, A., Allen, D., Le Roux, G. (2019). Des contaminants venus d'ailleurs. Microscop: Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes (CNRS), CNRS. <https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-02299176>
5. Lambert, S., Sinclair, C.J., Boxall, A.B.A. (2014). Occurrence, degradation, and effects of polymer-based materials in the environment. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 227:1–53. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-01327-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-01327-5_1)
6. Mougin, C. (2019, June). Etat de l'art des impacts écotoxicologiques des microplastiques sur les écosystèmes terrestres. In Séminaire de la Fédération Ile de France de Recherche sur l'Environnement. HAL Id: hal-02788504 <https://hal.inrae.fr/hal-02788504>
7. Faure, F., Saini, C., Potter, G., Galgani, F., De Alencastro, L. F., & Hagmann, P. (2015). An evaluation of surface micro-and mesoplastic pollution in pelagic ecosystems of the Western Mediterranean Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(16), 12190-12197. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4453-3>
8. Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental science & technology*, 42(13), 5026-5031. <https://doi.org/10.1021/es800249a>
9. Liebezeit, G., & Dubaish, F. (2012). Microplastics in beaches of the East Frisian islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 89(1), 213-217. DOI: 10.1007/s00128-012-0642-7
10. Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence river sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0281>
11. Woodall, L. C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L., Coppock, R., Sleight, V., ... & Thompson, R. C. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society open science*, 1(4), 140317. <https://doi.org/10.1098/rsos.140317>
12. Francois, G., Stéphane, B., Guillaume, D., Pascale, F., Emmanuelle, C., Jeff, G., ... & Alexandra, H. (2020). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. *Pollution of oceans by plastics and microplastics*. *Techniques de l'Ingenieur*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03067254/document>
13. Sutherland, W.J., Clout, M., Cote, I.M., Daszak, P., Depledge, M.H., Fellman, L., Fleishman, E., Garthwaite, R., Gibbons, D.W., De Lurio, J., Impey, A.J., Lickorish, F., Lindenmayer, D., Madgwick, J., Margerison, C., Maynard, T., Peck, L.S., Pretty, J., Prior, S., Redford, K.H., Scharlemann, J.P.W., Spalding, M., Watkinson, A.R. (2010). A horizon scan of global conservation issues for 2010. *Trends Ecol. Evol.* 25:1–7.
14. UNEP. (2011). *UNEP Year book 2011: Emerging Issues in Our Global Environment*. United Nations Environment Programme (UNEP). Division of Early Warning, & Assessment UNEP/Earthprint. 2011.
15. Lambert, S., & Wagner, M. (2016). Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene. *Chemosphere*, 145, 265–268. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.078>
16. Lambert, S., Scherer, C., & Wagner, M. (2017). Ecotoxicity testing of microplastics: Considering the heterogeneity of physicochemical properties. *Integrated environmental assessment and management*, 13(3), 470-475. <https://doi.org/10.1002/ieam.1901>

17. Verschoor, A. J. (2015). Towards a definition of microplastics: Considerations for the specification of physico-chemical properties. RIVM Letter report 2015-0116. 42p.
18. Bakir, A., O'Connor, I. A., Rowland, S. J., Hendriks, A. J., & Thompson, R. C. (2016). Relative importance of microplastics as a pathway for the transfer of hydrophobic organic chemicals to marine life. *Environmental pollution*, 219, 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.046>.
19. Ma, Y., Huang, A., Cao, S., Sun, F., Wang, L., Guo, H., & Ji, R. (2016). Effects of nanoplastics and microplastics on toxicity, bioaccumulation, and environmental fate of phenanthrene in fresh water. *Environmental Pollution*, 219, 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.061>.
20. Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental science & technology*, 46(20), 11327-11335. <https://doi.org/10.1021/es302332w>.
21. Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Gao, Y., Zhan, Z., Chen, Q., & Cai, L. (2017). Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. *Chemosphere*, 171, 248-258. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.074>
22. Wardrop, P., Shimeta, J., Nuggeoda, D., Morrison, P. D., Miranda, A., Tang, M., & Clarke, B. O. (2016). Chemical pollutants sorbed to ingested microbeads from personal care products accumulate in fish. *Environmental science & technology*, 50(7), 4037-4044. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06280>
23. Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E. M., Van Den Heuvel-Greve, M. J., & Koelmans, A. A. (2013). Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental science & technology*, 47(1), 593-600. <https://doi.org/10.1021/es302763x>
24. Syberg, K., Khan, F. R., Selck, H., Palmqvist, A., Banta, G. T., Daley, J., ... & Duhaime, M. B. (2015). Microplastics: addressing ecological risk through lessons learned. *Environmental toxicology and chemistry*, 34(5), 945-953. <https://doi.org/10.1002/etc.2914>
25. Chua, E. M., Shimeta, J., Nuggeoda, D., Morrison, P. D., & Clarke, B. O. (2014). Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, *Allorchestes compressa*. *Environmental science & technology*, 48(14), 8127-8134. <https://doi.org/10.1021/es405717z>
26. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
27. Fossi, M. C., Coppola, D., Bainsi, M., Giannetti, M., Guerranti, C., Marsili, L., ... & Clò, S. (2014). Large filter feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment: the case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Marine environmental research*, 100, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.02.002>
28. Besseling, E., Wang, B., Lürling, M., & Koelmans, A. A. (2014). Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environmental science & technology*, 48(20), 12336-12343. <https://doi.org/10.1021/es503001d>
29. Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M. A., & Watanuki, Y. (2013). Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine pollution bulletin*, 69(1-2), 219-222. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.010>

30. Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current environmental health reports*, 5(3), 375-386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>.
31. ISO. (2013). ISO 472: Plastics - vocabulary. International Organization for Standardization (ISO). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:472:ed-4:v1:en>
32. AFWE (2017). Intentionally added microplastics in products. Environment Agency Austria. Final report. Report.
33. Wu, D., Qian, X., & Shen, J. (2017). Macromolecular reorganization as a basis for converting cellulosic hydrogels into sustainable plastics. *BioResources*, 12(4), 6902-6903.
34. Asamany, E. A., Gibson, M. D., & Pegg, M. J. (2017). Evaluating the potential of waste plastics as fuel in cement kilns using bench-scale emissions analysis. *Fuel*, 193, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.12.054>
35. Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., & Vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 364:1973–1976 doi:10.1098/rstb.2009.0054
36. Plastics Europe. (2019). Plastics—the facts: an analysis of European plastics production, demand, and waste data. *Plastics Europe, Brussels*. [https://www.plasticseurope.org/application/files/1115/7236/4388/FINAL\\_web\\_version\\_Plastics\\_the\\_facts2019\\_14102019.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/1115/7236/4388/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf)
37. Gilbert, M. (2017). Plastics materials: Introduction and historical development. In *Brydson's plastics materials*. pp.1-18. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00001-3>
38. Duval, C. (2009). *Matières plastiques et environnement-2e éd.: Recyclage. Biodégradabilité. Valorisation*. Dunod.
39. Hamaide, T. (2008). Quelques idées à propos de l'enseignement de la chimie macromoléculaire. *Actualité Chimique*, 319:15-23. <https://www.lactualitechimique.org/Quelques-idees-a-propos-de-l-enseignement-de-la-chimie-macromoleculaire>
40. Jiang, B., Kauffman, A. E., Li, L., McFee, W., Cai, B., Weinstein, J., ... & Xiao, S. (2020). Health impacts of environmental contamination of micro-and nanoplastics: a review. *Environmental health and preventive medicine*, 25(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12199-020-00870-9>.
41. Arthur, C., Baker, J., Bamford H., (2009). Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
42. GESAMP (2019). Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), (IMO/FAO/UNESCO/IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 99, 130p.
43. Crawford, C. B., Quinn, B., Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). Microplastic identification techniques. *Microplastic Pollutants, 1st ed.; Crawford, CB, Quinn, B., Eds*, 219-267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00010-4>
44. 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. <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>.
45. Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: finding a consensus on the definition. *Marine pollution bulletin*, 138, 145-147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

46. 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. <http://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marineenvironment->
47. Mitrano, D. M., & Wohlleben, W. (2020). Microplastic regulation should be more precise to incentivize both innovation and environmental safety. *Nature communications*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19069-1>
48. Ryberg, M. W., Hauschild, M. Z., Wang, F., Averous-Monnery, S. & Laurent, A. (2019). Global environmental losses of plastics across their value chains. *Resour. Conserv. Recycling* 151, 104459.
49. Liu, F. F., Liu, G. Z., Zhu, Z. L., Wang, S. C., & Zhao, F. F. (2019). Interactions between microplastics and phthalate esters as affected by microplastics characteristics and solution chemistry. *Chemosphere*, 214, 688-694. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.174>
50. Wang, J., Zheng, L., & Li, J. (2018). A critical review on the sources and instruments of marine microplastics and prospects on the relevant management in China. *Waste Management & Research*, 36(10), 898-911. <https://doi.org/10.1177/0734242X18793504>
51. UNCLOS. (1982). United Nations Convention on the Law of the Sea. Concluded at Montego Bay on 10 December 1982. [https://www.un.org/Depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/unclos\\_f.pdf](https://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_f.pdf)
52. IMO (1978). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL 73/78). International Maritime Organization (IMO). [https://www.imo.org/fr/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/fr/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
53. Farnelli, G. M., & Tanzi, A. (2017). Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter 1972 and 1996 Protocol. In *Elgar Encyclopedia of Environmental Law* (pp. 175-183). Edward Elgar Publishing Limited. <https://doi.org/10.4337/9781783477210.V.16>
54. Kentin, E., & Kaarto, H. (2018). An EU ban on microplastics in cosmetic products and the right to regulate. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 27(3), 254-266. <https://doi.org/10.1111/reel.12269>
55. Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>
56. Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., & Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.02.018>
57. Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environ. Res.* 108, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>.
58. Qiu, Q., Tan, Z., Wang, J., Peng, J., Li, M., Zhan, Z. (2016). Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 176, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.04.012>.
59. Wang, Y., Zhang, D., Zhang, M., Mu, J., Ding, G., Mao, Z., Cao, Z., Jin, Y., Cong, Y., Wang, L., W, Z., Wang, J. (201). Effects of ingested polystyrene microplastics on brine shrimp, *Artemia*. *Environ. Pollut.* 244, 715–722. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.024>.
60. Li, X., Yin, P., & Zhao, L. (2016). Phthalate esters in water and surface sediments of the Pearl River Estuary: distribution, ecological, and human health risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(19), 19341-19349.. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7143-x>.
61. Turner, A., & Rawling, M. C. (2000). The behaviour of di-(2-ethylhexyl) phthalate in estuaries. *Marine Chemistry*, 68(3), 203-217. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(99\)00078-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(99)00078-X)

62. Zeng, F., Cui, K., Xie, Z., Liu, M., Li, Y., Lin, Y., ... & Li, F. (2008). Occurrence of phthalate esters in water and sediment of urban lakes in a subtropical city, Guangzhou, South China. *Environment International*, 34(3), 372-380. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.09.002>
63. Green, D. S., Boots, B., O'Connor, N. E., & Thompson, R. (2017). Microplastics affect the ecological functioning of an important biogenic habitat. *Environmental science & technology*, 51(1), 68-77. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b04496>
64. Lagarde, F., Olivier, O., Zanella, M., Daniel, P., Hiard, S., & Caruso, A. (2016). Microplastic interactions with freshwater microalgae: hetero-aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type. *Environmental pollution*, 215, 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.006>
65. Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental pollution*, 185, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>
66. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental science & technology*, 47(12), 6646-6655. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es400663F>
67. Laist DW (1987) Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In: Coe JM, Rogers DB (eds) Marine debris—sources, impacts and solutions. Springer, New York, pp 99–139.
68. Hanni KD, Pyle P (2000) Entanglement of pinnipeds in synthetic materials at south-east Farallon Island, California, 1976–1998. *Mar Pollut Bull* 40(12):1076–1081.
69. Page B, McKenzie J, McIntosh R, Baylis A, Morrissey A, Calvert N, Haase T, Berris M, Dowie D, Shaughnessy PD, Goldsworth SD (2004) Entanglement of Australian sea lions and New Zealand fur seals in lost fishing gear and other marine debris before and after government and industry attempts to reduce the problem. *Mar Pollut Bull* 49(1–2):33–42
70. Bugoni L, Krause L, Petry MV (2001) Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. *Mar Pollut Bull* 42(12):1330–1334.
71. Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. FAO.
72. Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental science & technology*, 49(22), 13622-13627.
73. Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(12), 2136-2140.
74. Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2014). Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(9), 1574-1578.
75. FAO. (2000). *The State of the World's Fisheries and Aquaculture*. Rome: Food.
76. Van Cauwenberghe, L. & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193 (0):65-70.
77. De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K. & Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, 85 (1):146-155.
78. Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Vethaak, A. D (2013) Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biots. Amsterdam, The Netherlands: IVM Institute for Environmental Studies, Final report R-13/11.
79. Hussain, N., V. Jaitley and A. T. Florence (2001). 'Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics. *Advanced Drug Delivery Reviews* 50(1-2): 107-142.
80. Berdier, C., Deleuil, J.-M. (2002). Promenade Historique dans le système Ville-Déchet. In Botta H., Berdier C., Deleuil J.-M. (Dir), *Enjeux de la propreté urbaine*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes. pp.11-16.

81. Bras, A. (2010). *Éléments pour une définition de la problématique de la propreté urbaine en Haïti: le cas de Port-au-Prince* (Doctoral dissertation, thèse de doctorat, Université Quisqueya & INSA de Lyon).
82. Bras, A., Berdier, C., Emmanuel, E., & Zimmerman, M. (2009). Problems and current practices of solid waste management in Port-au-Prince (Haiti). *Waste Management*, 29(11), 2907-2909. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.07.015>.
83. Lacour, J. (2012). *Valorisation de résidus agricoles et autres déchets organiques par digestion anaérobie en Haïti* (Doctoral dissertation, thèse de doctorat, Université Quisqueya & INSA de Lyon).
84. Milian, J., & Tamru, B. (2018). Port-au-Prince, ville du risque? Un mythe au prisme d'une urbanisation vulnérable. *Études caribéennes*, (39-40).
85. Bras A. et Lacour J. Gestion des déchets solides à Port-au-Prince. *Conjonction*, 2009, vol., n° 221-222, pp. 79-96.
86. Diez, S. M., Patil, P. G., Morton, J., Rodriguez, D. J., Vanzella, A., Robin, D., ... & Corbin, C. (2019). Marine Pollution in the Caribbean: Not a Minute to Waste (No. 135647, pp. 1-102). The World Bank.
87. Popescu, R., Durand, M., & d'Ercole, R. (2014). La gestion des déchets post-catastrophe à Port-au-Prince: entre relégation et proximité. *EchoGéo*, (30).
88. Ngo, C., Regent, A., (2008). *Déchets, effluents et pollution, impacts sur l'environnement et la santé*. Paris, Dunod, 178 p.
89. Adams, S.M. and Greeley, M.S. (2000). Ecotoxicological indicators of water quality using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 123:103-115.
90. Emmanuel E., Lacour J., Balthazard-Accou K., & Joseph O. (2009a). Ecological hazards assessment of heavy metals and nutrients containing in urban effluents on bay ecosystems of Port-au-Prince (Haiti). *AQUA-LAC. Journal of the International Hydrological Programme for Latin America and Caribbean, UNESCO*, 1, 1.
91. Emmanuel, E., Balthazard-Accou, K., & Joseph, O. (2009b). Impact of urban wastewater on biodiversity of aquatic ecosystems. *Environmental Management, Sustainable Development and Human Health*. In: Laboy-Nieves EN, Schaffner FC, Abdelhadi AH and Goosen MFA, editors. *Environmental Management, Sustainable Development and Human Health*. Taylor and Francis Group, London UK, 399-422.