



*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique*

**UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**FILIERE : Sciences Biologiques**

**OPTION: Microbiologie appliquée**

**Thème**

**Polymère plastique problèmes de pollution et  
solutions de remplacement**

**Présenté par :**

**Beddiaf Rahma et Messabhia Chaima**

*Soutenu le 23 /06/2024*

**Mémoire soutenu devant le jury composé de :**

<b>Président</b>	<b>Dr YAHIA M (MCA)</b>	<b>Univ. Abbès Laghrou – Khenchela</b>
<b>Encadreur</b>	<b>M<sup>me</sup> CHORFI K (M.A.A)</b>	<b>Univ. Abbès Laghrou – Khenchela</b>
<b>Examineur</b>	<b>Dr BOUTARFI Z (MCB)</b>	<b>Univ. Abbès Laghrou – Khenchela</b>

**Année universitaire 2023/ 2024**

# **Polymère plastique problèmes de pollution et solutions de remplacement**

## **Résumé**

Les plastiques, en raison de leur polyvalence et faible coût, sont omniprésents dans notre quotidien, Cependant, leur durabilité extrême entraîne une pollution massive, avec des déchets plastiques persistant dans l'environnement pendant des siècles. Les microplastiques produit de dégradation des plastiques sont le type le plus présent dans l'environnement, la pollution par les microplastiques affectent gravement les écosystèmes terrestres et marins, nuisant à la faune et contaminant les sols et les eaux, la santé humaine.

L'Algérie est l'un des plus grands consommateurs de plastique au monde, se classant au 13<sup>ème</sup> rang mondial et au 5<sup>ème</sup> rang en Afrique. La situation est préoccupante, avec une production annuelle d'environ 1,2 million de tonnes de déchets plastiques, dont la plupart ne sont pas recyclés.

La wilaya de Khenchela est un territoire doublement fragilisé par la dominance des communes rurales et de l'urbanisation mal maîtrisée, auxquelles il convient d'ajouter la densité démographique relativement élevée. Ces spécificités locales ne seront pas sans impacts sur la gestion de l'environnement en général et celle des déchets plastiques en particulier.

Pour la valorisation et le recyclage des déchets plastiques de ses déchets, des circuits d'acteurs formels et informels (recycleurs à la commune d'El Mahmel), se sont mis en place, constituant des réseaux d'acteurs intervenant à plusieurs niveaux: la collecte, le tri et le stockage, la commercialisation et la transformation

Les circuits formels sont représentés par le Centre d'Enfouissement Technique (CET) à Baghai et l'entreprise HEPTA Recyclage. Le premier se concentre principalement sur la gestion des déchets plastiques, tandis que les efforts de recyclage restent limités. Cependant, l'entreprise Hepta Recyclage, également située dans la région, joue un rôle pionnier en matière de recyclage des plastiques, réduisant ainsi la quantité de déchets plastiques envoyés en décharge. Hepta Recyclage collabore avec les autorités locales et les communautés pour sensibiliser à l'importance du recyclage et promouvoir des pratiques durables.

Le développement des infrastructures de recyclage au CET de Baghai, combiné aux initiatives d'entreprises comme Hepta Recyclage, est crucial pour une gestion plus durable des déchets plastiques à Khenchela.

**Mots clés :** Plastiques, Déchets, Pollution, Recyclage, Micropastique

# Plastic polymer pollution issues and replacement solutions

## Abstract

Plastics, due to their versatility and low cost, are ubiquitous in our daily lives. However, their extreme durability leads to massive pollution, with plastic waste persisting in the environment for centuries. Microplastics resulting from plastic degradation are the most prevalent type in the environment, severely affecting terrestrial and marine ecosystems, harming wildlife, and contaminating soils and waters, thus impacting human health.

Algeria is one of the world's largest consumers of plastic, ranking 13th globally and 5th in Africa. The situation is concerning, with an annual production of approximately 1.2 million tons of plastic waste, most of which is not recycled.

The wilaya of Khenchela is a territory doubly vulnerable due to the dominance of rural municipalities and poorly managed urbanization, coupled with a relatively high population density. These local specificities will undoubtedly impact environmental management in general and plastic waste management in particular.

For the valorization and recycling of plastic waste, formal and informal actor networks (recyclers in the El Mahmel municipality) have been established, operating at multiple levels: collection, sorting and storage, marketing, and transformation.

Formal circuits are represented by the Technical Landfill Center (TLC) in Baghai and the company HEPTA Recycling. The former primarily focuses on plastic waste management, while recycling efforts remain limited. However, HEPTA Recycling, also located in the region, plays a pioneering role in plastic recycling, thus reducing the quantity of plastic waste sent to landfills. HEPTA Recycling collaborates with local authorities and communities to raise awareness of the importance of recycling and promote sustainable practices.

The development of recycling infrastructure at the TLC in Baghai, combined with initiatives from companies like HEPTA Recycling, is crucial for more sustainable plastic waste management in Khenchela.

**Keywords:** Plastics, Waste, Pollution, Recycling, Microplastics

## البوليمرات البلاستيكية: مشاكل التلوث وحلول الاستبدال

### ملخص

البلاستيكات، بسبب تنوع استخداماتها وتكلفتها المنخفضة، تعتبر شائعة في حياتنا اليومية. لكن، يؤدي تحملها الشديد إلى تلوث هائل، حيث تستمر النفايات البلاستيكية في البقاء في البيئة لقرون. تشكل البلاستيكات الدقيقة التي تنتج عن تحلل البلاستيك أحد أنواع التلوث الأكثر انتشاراً في البيئة، و يؤثر التلوث بالبلاستيك الدقيقة بشكل كبير على النظم البيئية البرية والبحرية، مما يضر بالحياة البرية ويلوث التربة والمياه، وبالتالي يؤثر على الصحة البشرية.

الجزائر هي واحدة من أكبر مستهلكي البلاستيك في العالم، حيث تحتل المرتبة الثالثة عشرة عالمياً والخامسة على مستوى أفريقيا. والوضع مقلق، حيث يبلغ إنتاج النفايات البلاستيكية السنوي حوالي 1.2 مليون طن، ولم يتم تدوير معظمها.

ولاية خنشلة هي منطقة معرضة للخطر بشكل مزدوج نتيجة لسيطرة البلديات الريفية والعمران غير المنظم، بالإضافة إلى الكثافة السكانية المرتفعة نسبياً. هذه الخصائص المحلية ستؤثر على إدارة البيئة بشكل عام وإدارة النفايات البلاستيكية بشكل خاص.

لتقييم وإعادة تدوير النفايات البلاستيكية، تم تأسيس دوائر للفاعلين الرسميين وغير الرسميين (مثل معاد تدوير في بلدية المحمل)، مما يشكل شبكات للفاعلين الذين يعملون على مستويات مختلفة: جمع النفايات وفرزها وتخزينها وتسويقها وتحويلها.

الفاعلين الرسميون هم المركز التقني للتخلص من النفايات في بغاي وشركة هيبتا لإعادة التدوير. يركز المركز الأول بشكل رئيسي على إدارة النفايات البلاستيكية، في حين تظل جهود إعادة التدوير محدودة. ومع ذلك تلعب شركة هيبتا لإعادة التدوير، والتي تقع أيضاً في المنطقة دوراً رائداً في مجال إعادة تدوير البلاستيك مما يقلل من كمية النفايات البلاستيكية التي يتم إرسالها إلى المكب. تعمل هيبتا لإعادة التدوير بالتعاون مع السلطات المحلية والمجتمعات لتوعية الناس بأهمية إعادة التدوير وتعزيز الممارسات المستدامة.

يعتبر تطوير بنية إعادة التدويرية في المركز التقني للتخلص من النفايات في بغاي، بالإضافة إلى مبادرات الشركات مثل هيبتا لإعادة التدوير، أمراً حاسماً لإدارة النفايات البلاستيكية بشكل أكثر استدامة في خنشلة.

كلمات مفتاحية: بلاستيك، نفايات، تلوث، إعادة تدوير، ميكروبلستيك.

# *Remerciements*

On remercie **ALLAH** tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté et de nous avoir bénie jusqu'à la réalisation de ce modeste travail

Nous tenons à adresser toute notre gratitude et remerciements à :

*Dr. YAHIA M Maitre de conférences à l'Université Abbés Laghrour Khenchela qui a honoré ce travail en acceptant de présider le jury. On le remercie profondément.*

*Dr. BOUTARFI Z Maitre de conférences à l'Université Abbés Laghrour Khenchela, nous vous sommes très reconnaissantes d'avoir accepté d'examiner ce travail et de l'enrichir par vos remarques et propositions.*

On tient à remercier particulièrement notre encadreur **Madame Chorfi Keltoum** d'avoir proposé et dirigé ce travail, pour toute l'aide qu'elle nous a fournie pendant la préparation de ce mémoire. Merci pour votre patience ainsi que votre générosité. On n'a pas assez des mots pour décrire votre noblesse. Malgré vos multiples occupations, vous étiez toujours disponible. Apprendre à vos côtés a été un grand honneur. Que Dieu vous récompense  
**Monsieur Mohammed Monsef Benghanem**, merci pour votre aide et vos conseils et que Dieu vous bénisse et vous récompense.

On tient aussi à exprimer notre profonde gratitude à tout le personnel du **Centre d'Enfouissement Technique (CET)** et de l'entreprise **Hepta Recyclage** qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Votre soutien, vos conseils et votre disponibilité ont été essentiels pour mener à bien cette recherche.

Nos vifs remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

*Merci*

# Dédicaces

Je remercie tout d'abord **ALLAH** tout puissant de m'avoir donné la patience, la santé et la volonté pour réaliser ce mémoire.

*Je dédie ce travail :*

*À ma chère mère et mon cher père, vous êtes mon paradis et votre satisfaction est la clé de ma réussite. Merci à vous, et je suis convaincue que je ne réaliserai jamais pleinement tout ce que vous avez sacrifié pour moi. Je suis très heureuse d'avoir pu être à la hauteur de la confiance que vous m'avez accordée. Voici le fruit de vos efforts, chers parents, ce qui était hier un rêve est devenu aujourd'hui une réalité.*

*À mes chers frères et sœurs,*

**HASSIBA, FOUZI, NAZHA, SASSIA, ILYAS, SARA et HAMDI**

*Merci pour vos encouragements et vos conseils. Je ne peux exprimer tout l'amour que je ressens pour vous. Je suis fière de faire partie de cette famille unie et solidaire.*

*À mes amies chères à mon cœur*

**WISSAME, MARIA, FATEN, KARIMA, CHAIMA, MOUNA, RAWYA, AMEL, BOUTHAINA et  
AMIRA**

*Merci, pour votre présence avec moi dans les bons et les difficiles moments, vos bons conseils et nos fous rires partagés.*

*Merci à tous ceux qui m'ont soutenues, de près ou de loin, et merci à ceux qui ont vus mes échecs et parié sur ma réussite.*

*Rahma*

# *Dédicaces*

*Je remercie **Dieu**, notre Créateur, car Il m'a donné la force, la volonté et le courage pour accomplir cette humble tâche.*

*A mes chers **parents***

*Aucune dédicace ne serait témoin de mon profond amour, mon immense gratitude et mon plus grand respect, car je ne pourrais jamais oublier la tendresse et l'amour, dévoué par lesquels vous m'avez toujours entouré depuis mon enfance.*

*À mes chers frères : **Ouanes, Haithem et Youssef,***

*À monsieur **ilal** Merci pour vos encouragements et vos conseils*

*A ma sœur **Nassima** et son mari **Djamal,***

*A ma chère grande mère **ROZA.***

*À mes amies **Karima, Rahma et Faten,***

*À tous ceux qui m'ont aidé, que Dieu vous récompense pour tout le bien que vous m'avez fait.*

*Enfin, je dédie cette recherche à tous ceux que j'aime et qui m'aiment*

*Chaima*

# Table des matières

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures .....	ii
Liste des photographies.....	iii
Liste des abréviations.....	iv
Introduction.....	01

## *Chapitre 1: Les polymères plastiques*

I. Histoire des plastiques petrosourcés.....	05
II. Notions théoriques sur les plastiques petrosourcés.....	06
II.1. Définition.....	06
II.2. Composition des plastiques.....	07
II.2.1. La matrice.....	07
II.2.2. Les additifs.....	08
II.3. Classification des plastiques.....	09
II.3.1. Classification selon les propriétés physiques.....	09
II.3.1.1. Les thermoplastiques.....	09
II.3.1.2. Les thermodurcissables.....	10
II.3.1.3. Les élastomères.....	11
II.3.2. Classification selon les propriétés chimiques.....	11
II.3.3. Autres critères de classification.....	12
II.4. Production mondiale des plastiques.....	13
II.5. Propriétés et avantages des matières plastiques.....	14
II.6. Secteurs d'utilisation des matières plastiques.....	15
II.6.1. Emballage.....	15
II.6.2. Transport.....	16
II.6.3. L'électricité et de l'électronique.....	17
II.6.4. Sport, loisirs et design.....	17
II.6.5. Médecine et santé.....	17
II.6.6. La construction des bâtiments.....	17
II.6.7. L'agriculture.....	18
III. Déchets plastiques.....	18
III.1. Décomposition et dégradation des matières plastiques.....	19
III.2. Biodégradation des matières plastiques.....	20
III.2.1. Insectes dégradant le plastique.....	22
III.3. Solutions potentielles des déchets plastiques.....	23
III.3.1. Economie circulaire du plastique.....	23
III.3.1.1. Recyclage primaire et secondaire.....	24
III.3.2. Plastiques biosourcés.....	26
VI. Les déchets plastiques dans l'environnement et leurs impacts.....	28

## Chapitre 2 : Déchets plastiques et pollution

I. La pollution plastique.....	31
I.1. Généralités sur la pollution plastique.....	31
I.2. Définition de la pollution plastique.....	31
II. Les microplastiques.....	32
II.1 Définition et classification des microplastiques.....	32
II.2. Microplastiques dans l'atmosphère.....	33
II.2.1. Impacts des microplastiques atmosphériques sur la santé publique.....	34
II.3. Microplastiques et pollution des sols agricoles.....	35
II.4. Microplastiques et pollution des écosystèmes aquatiques.....	37
II.4.1. Sources du plastique dans le milieu marin.....	37
II.4.2. Répartition du plastique en milieu marin.....	38
II.4.3. Impacts biologiques sur des espèces marines.....	38
II.4.4. Bioaccumulation.....	40
II.5. Impact des débris plastiques sur la santé publique.....	41

## Chapitre 3 : La stratégie nationale de la gestion des déchets plastiques et ses implications au niveau de la wilaya de Khenchela

I. Consommation des matières plastiques en Algérie.....	45
II. Les déchets plastiques en Algérie.....	45
II.1. Gestion des déchets en Algérie.....	46
II.2. Législation Algérienne des déchets plastiques.....	47
III. Les déchets plastiques dans la wilaya de Khenchela.....	48
III.1. Gestions des déchets dans la wilaya de Khenchela.....	49
III.2. Secteur formel du recyclage des déchets plastiques.....	49
III.2.1. Le centre d'enfouissement technique (C.E.T).....	49
III.2.1.1. Procédés de traitement des déchets.....	50
III.2.2. Unité Hepta recyclage.....	52
III.3. Secteur informel du recyclage des déchets plastiques.....	55
Conclusion et perspectives.....	59
Références bibliographiques.....	63

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Les prix de vente du plastique .....	52
--	----

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : l’histoire de plastique.....	<b>05</b>
<b>Figure 2</b> : Différents types de produits plastiques sur le marché.....	<b>06</b>
<b>Figure 3</b> : Illustration simplifiée de la formation de liaisons entre des unités simples (monomères) pour obtenir un polymère.....	<b>06</b>
<b>Figure 4</b> : Homopolymère et copolymère : les couleurs indiquent des unités monomères de natures différentes.....	<b>08</b>
<b>Figure 5</b> ; L’ajout d’additifs permet de passer d’un polymère natif à un plastique formulé...	<b>08</b>
<b>Figure 6</b> : Classification des principaux plastiques .....	<b>10</b>
<b>Figure 7</b> : Classification des principales familles chimiques des plastiques.....	<b>12</b>
<b>Figure 8</b> : Classification des 7 codes d’identification des matières plastiques.....	<b>13</b>
<b>Figure 9</b> : Production mondiale du plastique.....	<b>13</b>
<b>Figure 10</b> : Répartition de la production mondiale de matières plastiques en 2022, par région sur la base d’une production mondiale totale estimée à 400,3 millions de tonnes.....	<b>14</b>
<b>Figure 11</b> : Utilisation du plastique par secteur industriel dans le monde .....	<b>16</b>
<b>Figure 12</b> : Production mondiale de déchets plastiques selon le domaine d’utilisation, en millions de tonnes.....	<b>18</b>
<b>Figure 13</b> : Temps de dégradation de certains objets en plastiques dans des environnements distincts.....	<b>19</b>
<b>Figure 14</b> : Différentes échelles de dégradation des plastiques dans l’environnement.....	<b>20</b>
<b>Figure 15</b> : L’altération comme condition préalable essentielle à la colonisation microbienne et à la dégradation enzymatique des plastiques .....	<b>21</b>
<b>Figure 16</b> : Carte schématique de la dégradation des plastiques par les insectes .....	<b>22</b>
<b>Figure 17</b> : Cycle de vie du plastique .....	<b>23</b>
<b>Figure 18</b> : Aperçu des techniques de recyclage du plastique .....	<b>25</b>
<b>Figure 19</b> : Principales familles de polymères biosourcés.....	<b>26</b>
<b>Figure 20</b> : Principales classes de bioplastiques en fonction de leur origine (renouvelable ou non) et de leur fin de vie .....	<b>27</b>
<b>Figure 21</b> : Economie circulaire adaptée aux plastiques biosourcés .....	<b>27</b>
<b>Figure 22</b> : La quantité de microplastiques rejetés dans l’environnement.....	<b>28</b>
<b>Figure 23</b> : Le devenir des microplastiques sous l’impact de différents paramètres du changement climatique .....	<b>34</b>
<b>Figure 24</b> : Plastiques dans l’atmosphère et impacts sur la santé publique.....	<b>35</b>
<b>Figure 25</b> : Sources de microplastiques dans les sols agricoles et leurs impacts sur l’environnement écologique. Les symboles $\oplus$ , $\ominus$ et $\ominus$ représentent respectivement les effets positifs, négatifs et insignifiants des microplastiques .....	<b>36</b>
<b>Figure 26</b> : Principales sources et voies d’accès des déchets plastiques en milieu marin.....	<b>37</b>
<b>Figure 27</b> : Illustration des impacts de la pollution plastique sur les tortues océaniques.....	<b>39</b>
<b>Figure 28</b> : Illustration des impacts de la pollution plastique sur les oiseaux marins.....	<b>40</b>
<b>Figure 29</b> : Cycle du plastique dans l’environnement aquatique.....	<b>41</b>
<b>Figure 30</b> : Voies d’exposition humaine aux microplastiques et leurs impacts potentiels sur la santé .....	<b>42</b>
<b>Figure 31</b> : Composition des déchets plastique.....	<b>45</b>
<b>Figure 32</b> : Pollution des plages Algériennes par les déchets plastiques.....	<b>46</b>

## Liste des photographies

<b>Photographie 1</b> : Pollution visuelle par les déchets plastiques.....	<b>48</b>
<b>Photographie 2</b> : Centre d'enfouissement technique Khenchela (C.E.T.) .....	<b>50</b>
<b>Photographie 3</b> : Chaîne de tri des déchets plastiques.....	<b>51</b>
<b>Photographie 4</b> : Presse hydraulique pour compresser les déchets.....	<b>51</b>
<b>Photographie 5</b> : Plastique trié par catégorie et compressé en balles.....	<b>51</b>
<b>Photographie 6</b> : L'unité de recyclage HEPTA.....	<b>52</b>
<b>Photographie 7</b> : Le tri manuel des déchets plastiques.....	<b>53</b>
<b>Photographie 8</b> : Broyage du plastique en paillettes, premier lavage et essorage des paillettes.....	<b>54</b>
<b>Photographie 9</b> : Deuxième lavage et essorage de finition.....	<b>54</b>
<b>Photographie 10</b> : Séchage des paillettes de plastique.....	<b>55</b>
<b>Photographie 11</b> : Tête de récupération des paillettes et sac rempli du produit final.....	<b>55</b>
<b>Photographie 12</b> : Procédé de recyclage chez le premier recycleur.....	<b>56</b>
<b>Photographie 13</b> : Procédé de recyclage chez le deuxième recycleur.....	<b>57</b>

## Liste des abréviations

⊕ : Effets positifs

⊖ : Effets négatifs

⊖ : Effets insignifiants

°C : Degrés Celsius

μm : Micromètre

**3R** : Réduire, recyclage, réutiliser

**AFNOR** : Association française de normalisation

**ALENA** : Accord de libre-échange nord-américain

**AND** : Agence Nationale des Déchets

**BFR** : Retardateurs de flamme bromé

**BPA** : Bisphénol A

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium

**CET** : centre d'enfouissement technique.

**CNIS** : centre national de l'informatique et des statistiques

**CO** : Monoxyde de carbone

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**DMA** : déchets ménagers et assimilés.

**EPWGCET** : Établissement Public de Wilaya de Gestion des Centres d'Enfouissement Technique.

**EURL** : Entreprise Unipersonnelle à Responsabilité Limitée

**GES** : Gaz à effet de serre

**ISO** : Organisation internationale de normalisation

**Kg** : Kilogramme

**Km** : kilomètre

**mm** : Millimètre

**Mt** : Million de tonnes

**PBDE** : Ether diphenylique polybromé

**PBT** : Polybutylene téréphtalate

**PCL** : Polycaprolactone

**PE** : Polyéthylène

**PEBD** : Polyéthylène basse densité

**PEBDL** : Polyéthylène basse densité linéaire

**PEHD** : Polyéthylène haute densité

**PET** : Polyéthylène téréphtalate

**PFOS** : Produit chimique perfluorés

**PH** : Potentiel hydrogène

**PHA** : Poly hydroxyalcanoates

**PLA** : Acide polylactique

**PP** : Polypropylène

**PROGDEM** : Programme National de Gestion Intégrée des Déchets Ménagers et Assimilés.

**PS** : Polystyrène

**PVC** : Polychlorure vinyle

**rpm** : Révolutions par minute

**SNC**: Système nerveux central

**SPI** : Société de l'industrie plastique

**Tg** : Température de transition vitreuse élevée

**Tm** : Température de fusion élevée

**UV** : Rayonnement ultraviolet

# *Introduction*

### Introduction

Les plastiques synthétiques sont des matériaux d'une importance capitale dans toutes les sociétés modernes (**Ali et al ., 2021**). Depuis leur apparition, ils ont rapidement remplacé les matériaux traditionnels (métaux, verre, fibres naturelles et bois) dans toutes sortes d'applications, révolutionnant ainsi tous les aspects de notre vie quotidienne (**Desidery et Lanotte, 2022**) en raison de ses propriétés exceptionnelles de durabilité, de légèreté, de stabilité et de faible coût (**Shen et al., 2020**).

Les plastiques sont développés à partir de pétrole non raffiné, de gaz inflammables et de charbon. De plus, environ 4 % des combustibles fossiles sont utilisés pour produire du plastique. Des matières premières durables telles que des glucides, des graisses/huiles végétales, des micro-organismes et d'autres substances naturelles sont également utilisées pour produire des plastiques d'origine biologique (**Alhazmi et al., 2021**).

La production mondiale de produits en plastique a atteint 376 millions de tonnes en 2020 (**Zhang et al., 2022**) avec une augmentation de 5 % (185 millions de tonnes) chaque année. 76 % de la production totale de plastique se termine en déchets (**Ali et al., 2021**). Récemment, les déchets plastiques ont attiré davantage d'attention par rapport à d'autres types de déchets, en raison de leurs impacts néfastes sur l'environnement et les humains (**Sokolova et al., 2023**).

Une fois que les plastiques pénètrent dans l'environnement, ils peuvent être dégradés et brisés en microplastiques par divers processus abiotiques et biologiques (la photodégradation, l'abrasion mécanique et la bioturbation) (**Ma et al ., 2023 ; Tian et al ., 2022**)

Les microplastiques sont omniprésents dans différents environnements (**Can-Güven, 2021**) et peuvent avoir diverses conséquences sur la faune et la flore et sur la santé des communautés côtières et océaniques. L'enchevêtrement, l'ingestion et la suffocation sont les effets les plus fréquemment, signalés sur un nombre sans cesse croissant d'espèces marines (**Soares et al., 2021**)

Ils ont des effets néfastes aussi sur le sol en : (1) réduisant les types et l'activité des micro-organismes et de la faune du sol; (2) endommageant la structure du sol, ce qui peut ensuite modifier les propriétés physiques et chimiques du sol ; (3) inhibant la croissance des

racines et des pousses et le développement des plantes ; et (4) altérant le cycle du carbone et affectant les émissions de gaz à effet de serre (**Gao et al ., 2022 ; Tian et al ., 2022**)

En outre, les microplastiques peuvent pénétrer dans l'organisme humain par ingestion et inhalation et être absorbés par les organes, ce qui peut nuire à la santé, notamment en endommageant les cellules ou en provoquant des inflammations et des réactions immunitaires (**Gao et al ., 2022**) et peuvent provoquer des modifications des chromosomes humains et peuvent également conduire à l'infertilité et même au cancer (**Ali et al ., 2021**).

De grandes quantités de microfibrilles sont libérées dans l'atmosphère lors de la production des textiles synthétiques et constituent une menace potentielle pour la santé humaine (**Chen et al ., 2020**)

Les déchets plastiques représentent 15 % des déchets ménagers solides de l'Algérie, alors qu'on estime à 0,52 million de tonnes les déchets plastiques mal gérés chaque année dans le pays, la consommation de plastique par habitant en Algérie a augmenté de 12,6 kg/an en 2009 à 20,9 kg/an en 2015 (**Rahmani, 2023**)

L'Algérie a importé 2,174 milliards de dollars de matières plastiques, dont 1,904 milliard de dollars (87,58 %) de produits bruts destinés à l'industrie plastique et 269 millions de dollars (12,42 %) de produits finis en plastique (**Rahmani, 2023**)

Les déchets plastiques sont considérés comme l'un des problèmes environnementaux les plus graves, affectant toutes les formes de vie, les habitats naturels et l'économie. La recherche d'options alternatives écologiquement durables, telles que la biodégradation au lieu de l'élimination conventionnelle et la réutilisation, la récupération et le recyclage des déchets plastiques favorisera l'optimisation de la chaîne de valeur des plastiques et validera le concept d'économie circulaire des polymères (**Bilal et al ., 2021 ; Huang et al ., 2022**)

Les bioplastiques, qui sont similaires aux plastiques synthétiques sur le plan fonctionnel et durables sur le plan environnemental, sont considérés comme de nouveaux matériaux prometteurs pour résoudre ces problèmes, ils présentent une excellente biodégradabilité et peuvent être utilisés pour atténuer les problèmes environnementaux (**Atiweh et al., 2021**)

Notre principal objectif était de comprendre les impacts environnementaux et sanitaires des polymères plastiques et d'explorer des solutions de remplacement. Les alternatives envisagées incluent les bioplastiques biodégradables, l'adoption de produits réutilisables, et technologies de recyclage, afin de réduire l'accumulation de déchets plastiques et protéger l'environnement.

Dans le souci de compléter les aspects théoriques et de les étayer d'avantage, nous avons jugé utile de présenter une partie pratique pour comprendre les processus de gestion des déchets plastiques, tant au niveau national que local. A cet effet, des circuits d'acteurs formels et informels se sont mis en place, constituant des réseaux d'acteurs intervenant à plusieurs niveaux: la collecte, le tri et le stockage, la commercialisation et la transformation.

Enfin pour atteindre les objectifs escomptés, nous avons opté pour une démarche structurée, composée de trois chapitres qui sont :

Le premier chapitre rappelle les généralités et les notions de base sur les plastiques

Le deuxième chapitre traite de la pollution plastique et de l'impact des particules microplastiques sur l'environnement en particulier : le milieu marin, l'atmosphère, les sols agricoles et la santé publique.

La troisième partie représente Les stratégies nationales de la gestion des déchets et ses répercussions aux niveaux locaux en l'occurrence la wilaya de Khenchela.

# *Chapitre 1*

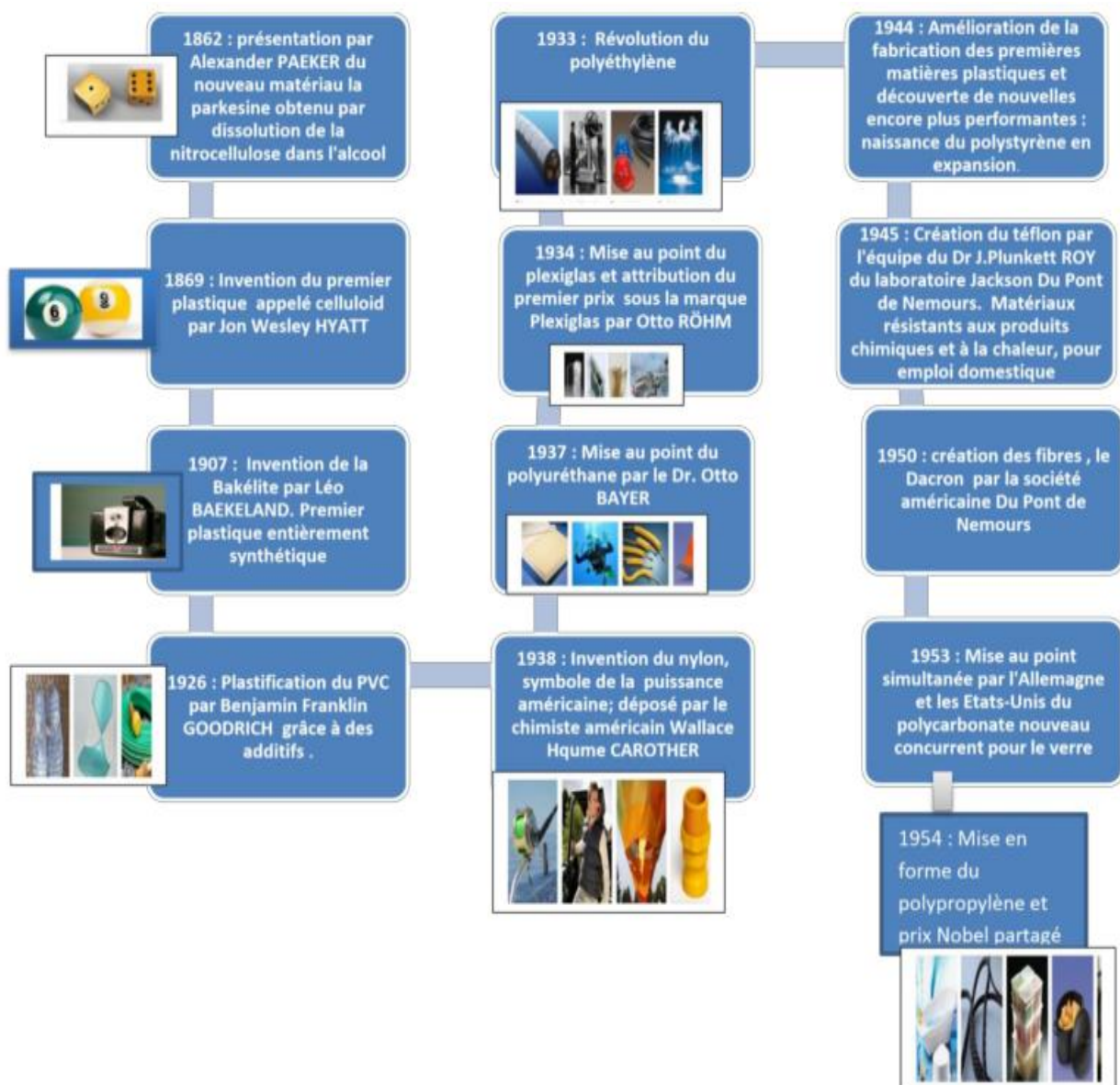
---

## *Les polymères plastiques*

## I. Histoire des plastiques petrosourcés

Faiblement utilisé jusqu'à la moitié de 17<sup>ème</sup> siècle, les plastiques deviennent populaires après la découverte du procédé de vulcanisation du caoutchouc en 1839 par Goodyear. Le caoutchouc est entièrement naturel car issu de l'hévéa. Les plastiques synthétiques apparaissent, quant à eux, au début du 20<sup>ème</sup> siècle, fabriqués notamment à partir des résidus pétroliers et de gaz naturel. En 1907, le chimiste belge Leo Hendrik Baekeland inventa le premier plastique entièrement synthétique connu, la bakélite (**Figure 1**).

Aujourd'hui, ils sont devenus des matériaux incontournables dans notre vie de tous les jours et occupent des parts de marché de plus en plus importantes de par la diversité de leur application (**Deshoules, 2020**).



**Figure 1** : l'histoire de plastique (**Bissagou, 2018**)

Deux ans plus tard, il devint le premier chercheur à employer le terme « plastique » pour désigner tous les produits fabriqués à partir de macromolécules telles que les résines, les élastomères et les fibres artificielles (Williams et Rangel-Buitrago, 2022).

### II. Notions théoriques sur les plastiques petrosourcés

Le terme « plastique » dérive du latin 'plasticus' qui est lui-même issu du grec ancien « plastikos », qui signifie « pouvoir être formé ou moulé ». (Pilapitiya et Ratnayake, 2024). En effet, la propriété principale des plastiques est la plasticité ou la malléabilité du matériau pendant la fabrication d'objets pouvant avoir une grande variété de formes comme des films, des fibres, des bouteilles, des boîtes... et qui sont souvent réalisés sous pression et à haute température (Phuong, 2018).



Figure 2 : Différents types de produits plastiques sur le marché.

#### II.1. Définition

Le plastique ou matière plastique est largement connu comme un polymère organique synthétique développé par polymérisation de monomères extraits de produits pétrochimiques et combinés avec d'autres produits chimiques (Torres-Agullo *et al.*, 2021).

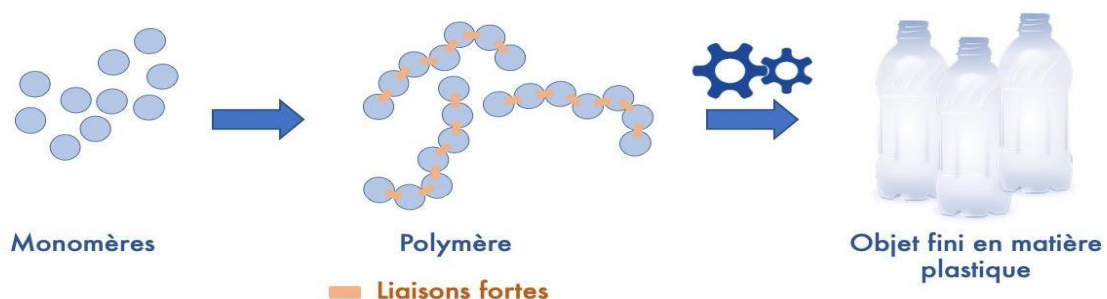


Figure 3 : Illustration simplifiée de la formation de liaisons entre des unités simples (monomères) pour obtenir un polymère (Richel, 2022)

Les monomères sont les unités répétitives de polymères à longue chaîne composées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène maintenus ensemble par des liaisons covalentes. L'éthylène et le propylène sont des exemples courants de monomères légers largement utilisés dans la fabrication du plastique les réactions responsables de cette association sont appelées polymérisation ( **Hassan et al., 2022** ).

Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères artificiels ou synthétiques. Les polymères artificiels sont obtenus à partir d'une modification de matières premières naturelles alors que les polymères synthétiques sont totalement issus de la chimie du pétrole et du gaz naturel.

### II.2. Composition des plastiques

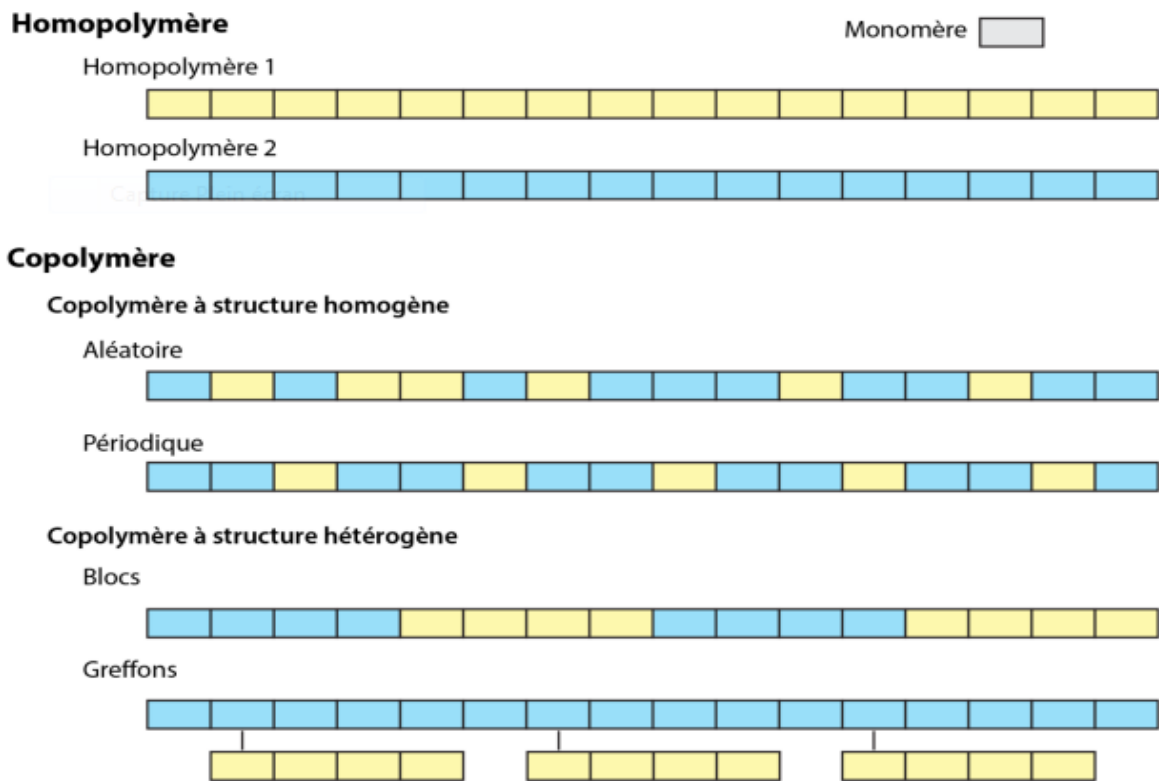
Un matériau plastique est généralement constitué d'une matrice polymère qui est responsable des principales propriétés du matériau (mécaniques, thermiques, barrière, etc.) dans lequel peuvent être ajoutés différents additifs ou adjuvants variés dont la nature et la proportion sont rarement connues ( **Kedzierski, 2017** ).

#### II.2.1. La matrice

La matrice est réalisée par polymérisation de produits intermédiaires issus principalement de l'industrie pétrochimique et celle du gaz naturel. La matrice polymère d'un plastique peut être fabriquée à partir de deux types de polymères : les homopolymères et les copolymères.

Lorsque le polymère est constitué de monomères identiques, on parle d'homopolymère. Certains polymères plastiques obtenus par copolymérisation d'au moins deux monomères différents, sont appelées copolymères ( **Kedzierski, 2017** ).

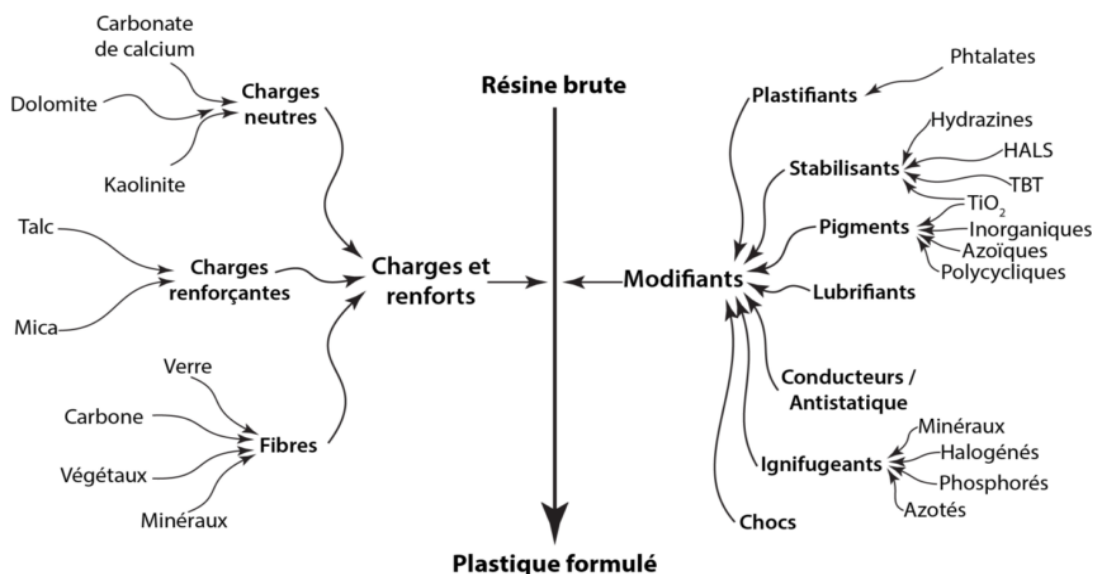
Les copolymères sont donc constitués d'au minimum deux motifs de répétition de natures chimiques différentes. Les copolymères se distinguent en deux grands types de copolymères : ceux à structure homogène et ceux à structure hétérogène. Dans le premier cas, le copolymère peut être à structure statistique donc la séquence des monomères obéit à une loi statistique, les copolymères alternés dont les monomères se succèdent immédiatement et dans le second à blocs ou à greffons ( **Maxit, 2007** ). ( **Figure 4** ).



**Figure 4 :** Homopolymère et copolymère : les couleurs indiquent des unités monomères de natures différentes (Kedzierski, 2017).

### II.2.2. Les additifs

Les propriétés d'un polymère peuvent également être modifiées par l'ajout d'additifs. Deux grandes catégories peuvent être définies, ce sont les modifiants d'une part et les charges et renforts d'autre part. (Figure 5).



**Figure 5 :** L'ajout d'additifs permet de passer d'un polymère natif à un plastique formulé (Kedzierski, 2017).

Le plastique peut comporter différents modifiants afin d'améliorer ses propriétés physico-chimiques et mécaniques telle que sa résistance au rayonnement UV grâce aux antioxydants, l'amélioration des propriétés mécaniques par les plastifiants, la résistance au feu par l'utilisation d'ignifugeants, ou encore sa coloration par l'utilisation de pigments organiques ou inorganiques. Grâce à ces additifs, le plastique devient alors plus durable, souple et léger ce qui contribue à diversifier ses applications. Cependant, l'utilisation de ces additifs augmente la viscosité de la matière fondue, ce qui requiert davantage d'énergie lors du processus de moulage (**Mathur, 2003**)

Les charges et les renforts sont des additifs conçus pour améliorer les propriétés mécaniques des plastiques, notamment leur rigidité. Parmi ces composants, on trouve le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), le talc, les fibres de verre et de carbone.

L'intégration de ces additifs a ouvert de nouveaux horizons dans le domaine des composites polymères, offrant des niveaux élevés de résistance, de légèreté, de durabilité, de facilité de moulage, de capacité d'absorption de chocs, d'inertie chimique, d'isolation thermique et électrique, et de résistance à la corrosion et à l'eau (**Torres-Agullo et al., 2021**).

### **II.3. Classification des plastiques**

Le nombre très important de macromolécules utilisées dans les matières plastiques rend particulièrement importante leur classification. Les classements les plus souvent utilisés reposent sur les caractéristiques physiques et chimiques du plastique.

#### **II.3.1. Classification selon les propriétés physiques**

Parmi les différentes propriétés physiques des matériaux plastiques, deux semblent particulièrement importantes, ce sont les propriétés thermiques et mécaniques. Les propriétés mécaniques sont dépendantes de la structure du matériau qui peut être linéaire, ramifiée ou réticulée et donc, des propriétés physiques. En ce qui concerne les propriétés thermiques les plastiques peuvent être classés en trois familles : les thermoplastiques et les thermodurcissables et les élastomères (**Phuong, 2018**).

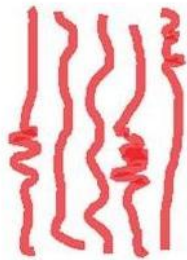
##### **II.3.1.1. Les thermoplastiques**

Les thermoplastiques sont constitués de chaînes macromoléculaires linéaires. L'état et la viscosité des thermoplastiques peuvent être modifiés de manière réversible par chauffage et refroidissement. Ils sont caractérisés par leur capacité à être transformés à l'état fondu, ce qui permet de leur donner des formes utiles lorsqu'ils sont liquides ou visqueux. Dans la plupart des processus de production, les thermoplastiques sont chauffés, puis modelés par moulage

par injection, extrusion ou thermoformage avant d'être refroidis pour maintenir leur forme finale (Traore, 2018). (Figure 6).

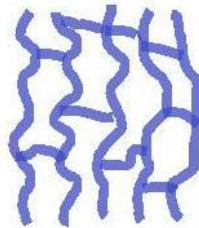
### Les thermoplastiques :

- Liquides à chaud
- $T > T_{\text{fusion}}$  ex : 240°C
- Peuvent être moulés
- Recyclables



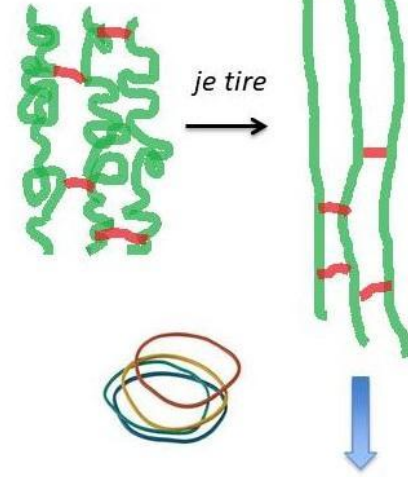
### Les thermodurcissables :

- Réticulés
- Se dégradent quand on les chauffe → les réticulations cassent
- Non recyclable



### Les élastomères :

- Réticulés
- Très élastiques
- Se dégradent quand on les chauffe



**Figure 6 : Classification des principaux plastiques (Site 1)**

### II.3.1.2. Les thermodurcissables

Ils subissent un processus de durcissement pendant la polymérisation à mesure que la température augmente, formant ainsi un réseau moléculaire tridimensionnel de monomères liés par des liaisons covalentes. Cette transformation est irréversible et aboutit à une pièce finale (Ouassini, 2015).

Ces plastiques sont obtenus par polycondensation de petites molécules linéaires possédant différents sites réactifs (ex. résines formolphénoliques) ou par réticulation sous l'effet d'un durcisseur et généralement d'un catalyseur (ex. résines époxydes). Contrairement aux thermoplastiques, la forme et la rigidité ainsi obtenues lors de la mise en œuvre sont irréversibles.

Aussi, une fois produit, on ne peut plus modifier la forme d'un thermodurcissable. Les thermodurcissables sont difficiles à recycler. Ces limites expliquent, en partie, le fait qu'ils soient moins utilisés que les thermoplastiques.

### II.3.1.3. Les élastomères

Un élastomère est un polymère présentant des propriétés « élastiques », obtenues après réticulation (apparition du concept dans les années 1960), il possède les propriétés du caoutchouc naturel, principalement une grande élasticité et une grande extensibilité. Ce sont des polymères qui peuvent être étirés à au moins deux fois leur longueur d'origine et qui se rétractent à leur dimension initiale dès que cesse la force d'étirement (**Ouassini, 2015**). Il est utilisé essentiellement pour la fabrication de pneumatiques, joints, gants médicaux, chaussures (**Addou, 2009**).

On distingue généralement les élastomères naturels des élastomères synthétiques. Les premiers proviennent du latex sécrété par certains végétaux, par exemple par l'hévéa (arbre d'Amazonie). Ils sont toutefois beaucoup moins utilisés que les élastomères synthétiques qui sont, quant à eux, produits en laboratoire grâce au procédé de vulcanisation. Ce procédé consiste à ajouter du soufre au caoutchouc, permettant ainsi d'en réduire l'élasticité, mais d'en améliorer la résistance. Malgré leurs propriétés mécaniques avantageuses, les élastomères ont l'inconvénient d'être des matières plastiques difficiles à recycler (**Phuong, 2018**).

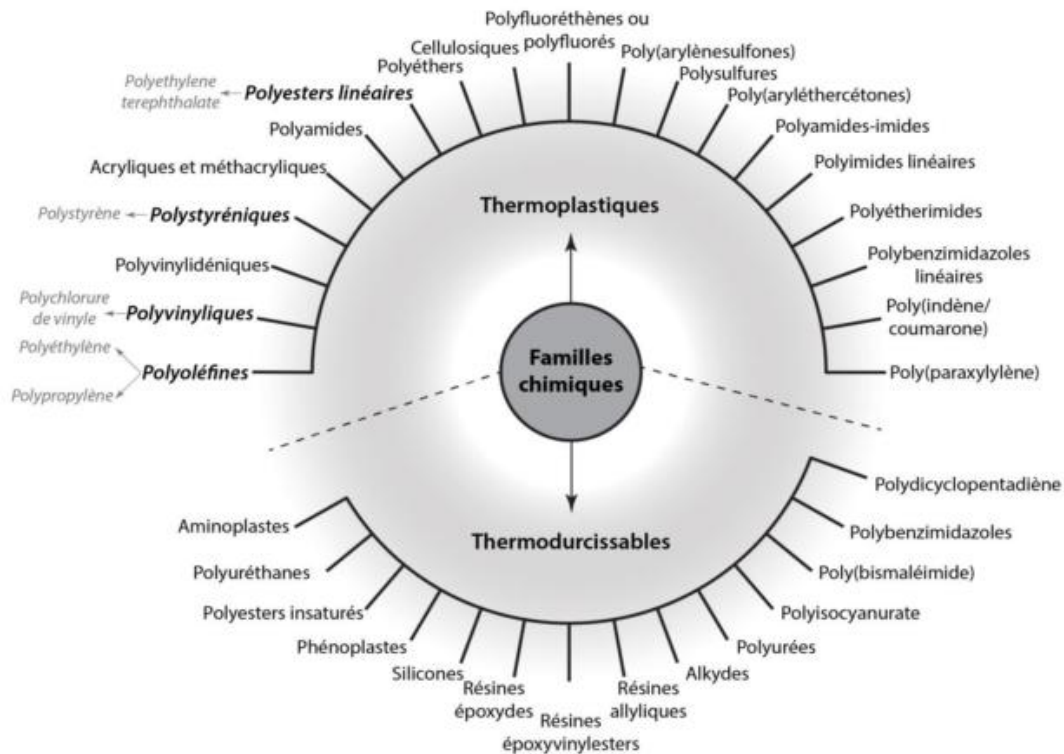
### II.3.2. Classification selon les propriétés chimiques

Les matières plastiques synthétiques sont essentiellement produites à partir de monomères issus de la pétrochimie (**Reyne, 1998**). Elles sont produites à partir de charbon ou de gaz naturel, bien que le pétrole soit le matériau brut le plus utilisé pour la production des matières plastiques (**PHS, 2010**). En fonction des monomères utilisés (ex. éthylène, propylène, styrène), différentes familles de plastiques peuvent être définies.

Les principaux polymères sont tous des thermoplastiques. Ce sont tout d'abord les polyéthylènes (PE) et les polypropylènes (PP), appartenant à la famille des polyoléfines. Ces deux types de polymères sont synthétisés à partir d'une oléfine telle que l'éthylène pour le premier et le propylène pour le second (**Phuong, 2018**).

Les polyéthylènes sont généralement divisés en trois grandes catégories en fonction de leur taux de cristallinité lié à la taille et au nombre de ramifications que contient la chaîne principale : le polyéthylène basse densité (PEBD), le polyéthylène haute densité (PEHD) et le polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL).

Le polychlorure de vinyle (PVC) est un polymère obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle. Les polystyrènes (PS) appartiennent à la famille des polystyréniques existant sous différentes formes (cristal, expansé, etc.) et sont obtenus par polymérisation du styrène (**Kedzierski, 2017**).



**Figure 7 :** Classification des principales familles chimiques des plastiques (Kedzierski, 2017).

Enfin, le polyéthylène téréphtalate (PET) appartient à la famille des polyesters linéaires. Il est obtenu par polycondensation de deux monomères : l'éthylène glycol et l'acide téréphtalique (Figure 7).

### II.3.3. Autres critères de classification

Les plastiques peuvent être divisés en fonction de leur cycle de vie en plastique à usage unique (principale raison de la forte pollution) et en plastique réutilisable (McGain *et al.*, 2010). Outre les classifications traditionnelles ci-dessus, la Société de l'industrie plastique (SPI) a introduit un système de codification numérique pour les plastiques recyclables. Les codes d'identification des plastiques dont le symbole original date de 1970 reflètent chacune des étapes du recyclage : collecte des matériaux, processus de recyclage et achat de ces produits déjà recyclés

Parmi ces plastiques, six principaux polymères sont particulièrement utilisés dans le monde et représentent près de 80% (en tonnage) des plastiques produits appelés « big six », (Plastics Europe, 2015). C'est la raison pour laquelle ils sont codés sur les emballages par un triangle connu sous le nom de triangle de Möbius (le symbole universel du recyclage) avec trois flèches successives entourant un numéro allant de 1 à 6 (norme ISO 1043-1, AFNOR 12-

2016), le numéro 7 représentant tous les autres types de plastiques (**Figure 8**). Cette classification aide les consommateurs et les recycleurs à simplifier le processus de recyclage. .

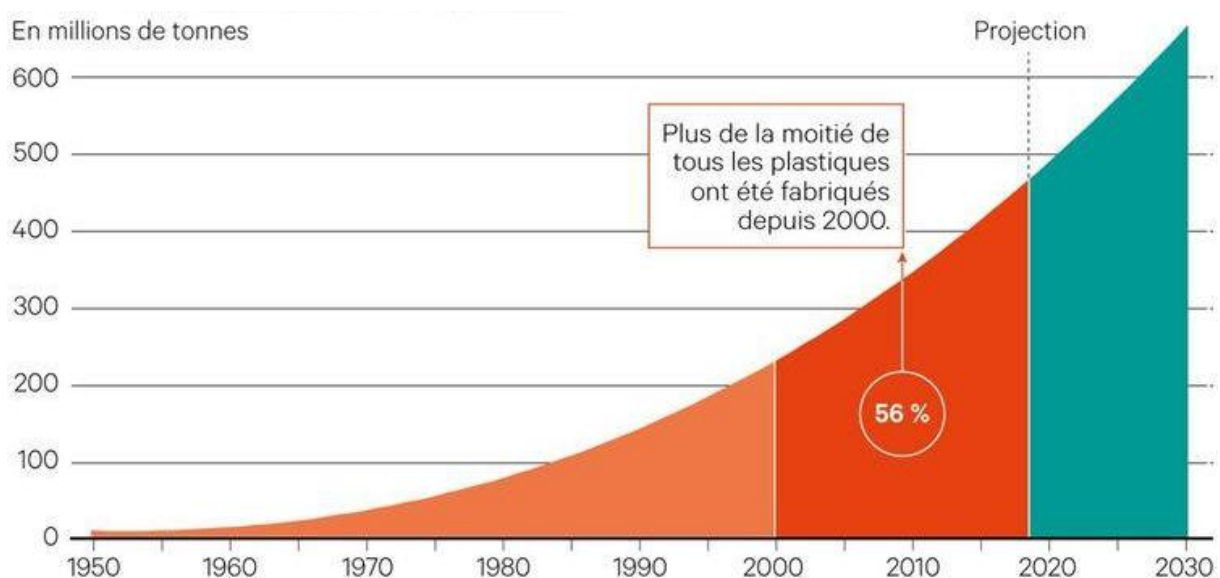
Pictogramme	01 PET	02 PEHD	03 PVC	04 PELD	05 PP	06 PSE	07 OTHER
Nom	Polyéthylène Téréphtalate	Polyéthylène haute densité	Polychlorure de vinyle	Polyéthylène basse densité	Polypropylène	Polystyrène Expansé	Autre plastique recyclable
Exemples d'utilisation	Bouteilles d'eau minérale	Bouteilles de produits d'entretien	Emballages blister, botes	Films plastiques, sacs	Films pour micro-ondes	Emballage des produits laitiers	Bouteilles de jus de fruits...

**Figure 8:** Classification des 7 codes d'identification des matières plastiques (**Site 2**)

#### II.4. Production mondiale des plastiques

L'utilisation des plastiques connaît toujours une tendance à la hausse. La production mondiale de plastique a atteint 368 millions de tonnes en 2019. Par rapport à la production de 2 millions de tonnes en 1950, l'augmentation a été phénoménale. Malgré une légère stagnation en 2020 à 375,5 millions de tonnes en raison des périodes de confinement au début de la pandémie de Covid-19, elle a rebondi pendant la pandémie en raison de l'augmentation de la demande mondiale d'équipements de protection individuelle et de matériaux d'emballage alimentaire (**Leal Filho et al., 2021**).

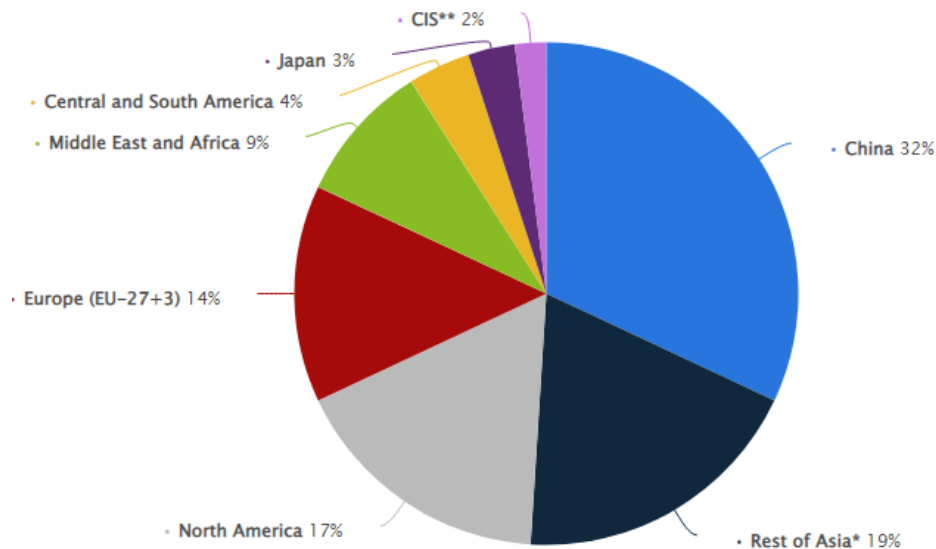
En conséquence, la part de marché du plastique au cours des deux années de la pandémie (2020-2021) a augmenté de 4,7 % par rapport à l'année pré-pandémique de 2019 et a été estimée à 400,3 millions de tonnes en 2022 (**Pilapitiya et Ratnayake, 2024**). (**Figure 09**)



**Figure 9 :** Production mondiale du plastique (**Althoff et al., 2020**)

Cette tendance à la hausse devrait se maintenir, avec une projection de production mondiale atteignant 940 millions de tonnes d'ici 2040 (**Bodor *et al.*, 2023**).

La Chine est considérée comme le premier producteur et consommateur de plastique. Elle a contribué à elle seule à 32 % de la production mondiale en 2022 et produit actuellement 6 à 8 millions de tonnes d'articles en plastique par mois (**Tang, 2023**). (**Figure 10**).



**Figure 10** : Répartition de la production mondiale de matières plastiques en 2022, par région sur la base d'une production mondiale totale estimée à 400,3 millions de tonnes (**Site 03**).

Selon les données de l'association professionnelle Plastics Europe, un peu plus de la moitié du plastique dans le monde a été produit en Asie (51 %). Le Japon est responsable de 3 % du total, ce qui représente un volume rapporté à la population bien plus élevé que ses voisins : 114 kg par habitant. Quant aux pays d'Europe et de l'ALENA (Canada, États-Unis, Mexique), il n'ont produit respectivement que 14 % et 17 % du plastique dans le monde. Mais cela équivaut toutefois à 111 kg/personne pour la première région et 132 kg/personne pour la seconde.

### II.5. Propriétés et avantages des matières plastiques

Les plastiques ont plusieurs propriétés précieuses telles que la légèreté (certains plastiques sont plus résistants que les métaux tout en étant plus légers), la ténacité, la haute résistance, une bonne rigidité, une fabrication polyvalente, des capacités de conception, une bonne isolation, un mauvais conducteur d'électricité/de chaleur, une résistance à la corrosion, une isolation phonique et une durabilité élevée (sacs en plastique - 20 ans, bouteilles en plastique - 450 ans, ligne de pêche - 600 ans), (**Ilyas *et al.*, 2018**, **Pan *et al.*, 2020**). Les plastiques synthétiques semi-aromatiques (par exemple, le polyéthylène

téréphtalate : PET et le polybutylène téréphtalate : PBT) possèdent d'excellentes propriétés physico-chimiques telles que des températures de déformation thermique élevées, de bonnes résistances mécaniques, une excellente résistance chimique et une isolation électrique. Des propriétés telles qu'une température de transition vitreuse élevée ( $T_g$ ) et une température de fusion élevée ( $T_m$ ) indiquent leur capacité à conserver leur forme et leur résistance à des températures élevées (**Wu et al., 2015**). Le faible coût de fabrication, la malléabilité et les capacités de transformation sont également des facteurs importants pour que le plastique devienne un matériau important dans chaque vie humaine.

Les avantages des plastiques peuvent être identifiés comme suit : **(i)** avantages environnementaux (par exemple, les matériaux d'emballage de boissons en PET réduisent la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux emballages en verre et en métal, et les composites plastiques plus légers utilisés dans les avions entraînent une faible consommation de carburant et un assemblage facile), **(ii)** des avantages sociaux (par exemple, l'approvisionnement et le stockage d'eau potable grâce à l'installation d'une gamme de systèmes de contrôle et de distribution d'eau, et les emballages alimentaires permettent un stockage sûr et dépendant du temps des produits frais dans des conditions de contrôle de température/pression), et **(iii)** avantages économiques (par exemple, remplacer les pièces automobiles par des matières plastiques peu coûteuses) (**Pilapitiya et Ratnayake, 2024**).

### II.6. Secteurs d'utilisation des matières plastiques

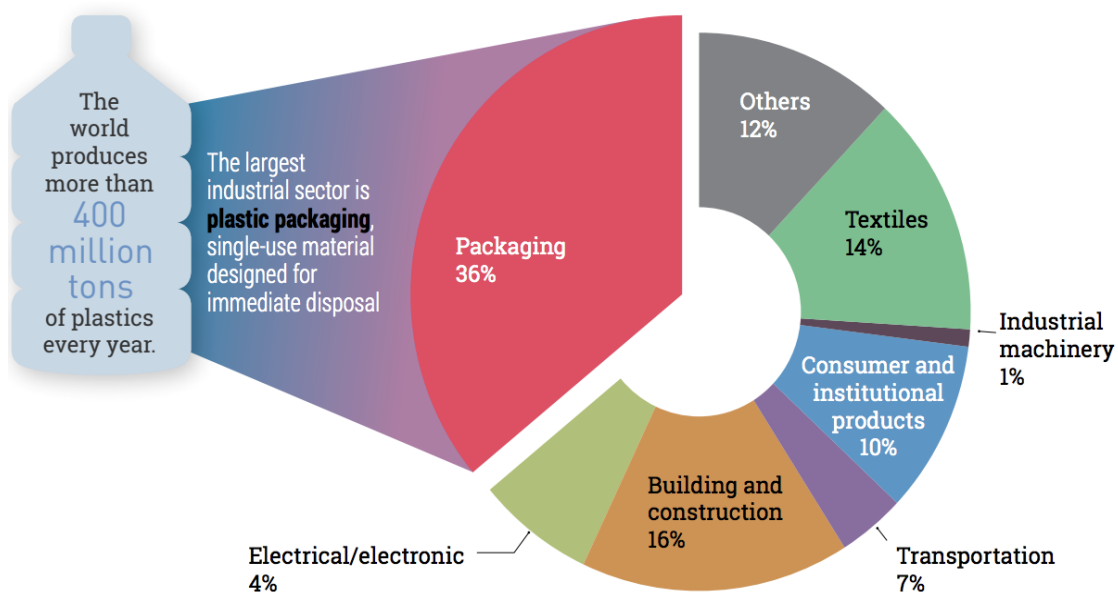
Ainsi, ces propriétés renforcent l'utilisation des plastiques, notamment pendant la Seconde Guerre mondiale avec l'invention du nylon (**Kedzierski et al., 2020**). Les plastiques ont de nombreuses façons de façonner la vie en étant impliqués dans tous les domaines tels que l'agriculture, la construction, les transports, l'isolation thermique, l'emballage, la fabrication, l'électronique, les meubles, les jouets et les articles de loisirs, l'automobile et la médecine (**Oehlmann et al., 2009, Pan et al., 2020**).

#### II.6.1. Emballage

Le plus grand marché du plastique est celui de l'emballage, une application dont la croissance a été accélérée par le passage mondial des contenants réutilisables aux contenants à usage unique et constituant environ 40 % de la demande mondiale en plastiques. Le succès des plastiques dans l'emballage découle de leur flexibilité, de leur résistance, de leur légèreté, de leur stabilité, de leur imperméabilité et de leur facilité de stérilisation. Ces qualités font des

plastiques le choix préféré pour divers besoins d'emballage commerciaux et industriels. (Geyer *et al.*, 2017).

Les plastiques jouent un rôle crucial dans la préservation du goût et de la qualité des produits alimentaires. Leurs propriétés barrières maintiennent les propriétés organoleptiques des aliments et les protègent contre la contamination externe. Les plastiques trouvent diverses applications dans l'emballage, notamment les films pour les viandes fraîches, les bouteilles de boissons, les huiles comestibles, les sauces, les coupes de yaourt aux fruits et les pots de margarine (Harrison et Hester, 2018).



**Figure 11** : Utilisation du plastique par secteur industriel dans le monde (Althoff *et al.*, 2020)

### II.6.2. Transport

Dans le domaine des transports, atteindre l'équilibre optimal entre haute performance, tarification compétitive, style, fiabilité, confort, sécurité, résistance, efficacité énergétique et impact environnemental minimal est primordial. Les plastiques ont révolutionné la construction, la performance, la sécurité et la fonctionnalité des véhicules. L'utilisation de composants moulés en une seule pièce a permis aux fabricants de rationaliser l'assemblage des véhicules, d'introduire rapidement des innovations de conception et de réduire les coûts.

Les plastiques ont joué un rôle crucial en rendant les véhicules plus légers, ce qui permet de réduire la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre. L'industrie aéronautique illustre la relation étroite entre les plastiques et l'innovation en matière de conception. Depuis les années 1970, l'utilisation des plastiques dans les avions a connu une croissance significative.

### II.6.3. L'électricité et de l'électronique

Dans le domaine de l'électricité et de l'électronique, de nombreux dispositifs innovants, qu'il s'agisse de simples câbles, d'appareils ménagers ou de smartphones, intègrent désormais des plastiques de dernière génération. Ces plastiques, caractérisés par leur diversité et leur polyvalence, jouent un rôle significatif dans la stimulation de l'innovation au sein de ce secteur. Les concepteurs d'applications électriques et électroniques privilégient ainsi l'utilisation des plastiques en raison de leurs propriétés uniques, qui seront explorées dans les sections suivantes (**Harrison et Hester, 2018**).

### II.6.4. Sport, loisirs et design

Le rôle des plastiques dans le domaine du sport, des loisirs et du design est indéniable. De la création de pistes destinées à défier les limites des athlètes olympiques à la conception de chaussures, vêtements, tentes et structures gonflables, en passant par les équipements de sécurité tels que les casques et les genouillères, ainsi que la mise en place des infrastructures des stades comprenant les conduites d'eau et d'évacuation, les sièges et les toitures, les plastiques modernes sont omniprésents dans tous les aspects de ces domaines (**Harrison et Hester, 2018**).

### II.6.5. Médecine et santé

Actuellement, 85 % des dispositifs médicaux tels que les poches intraveineuses, les seringues jetables, les emballages stériles et les arthroplasties sont fabriqués avec du plastique en raison de leur légèreté et de leurs propriétés de biocompatibilité (**Ilyas et al., 2018**). De plus, de nombreux appareils orthopédiques et prothèses sont désormais fabriqués en plastique. Certains médicaments sont encapsulés dans des polymères qui se dégradent lentement, permettant une libération contrôlée du médicament (**Traore, 2018**).

### II.6.6. La construction des bâtiments

Les plastiques jouent un rôle essentiel dans la construction et l'aménagement des bâtiments. Leur utilité se manifeste à travers plusieurs aspects cruciaux :

- ✓ Durabilité et résistance à la corrosion : Les plastiques sont utilisés dans la fabrication de châssis de fenêtres et de tuyauteries en raison de leur capacité à résister à la corrosion.
- ✓ Isolation thermique et acoustique: Ils assurent une isolation efficace contre le froid, la chaleur et le bruit, notamment dans la construction de cloisons.

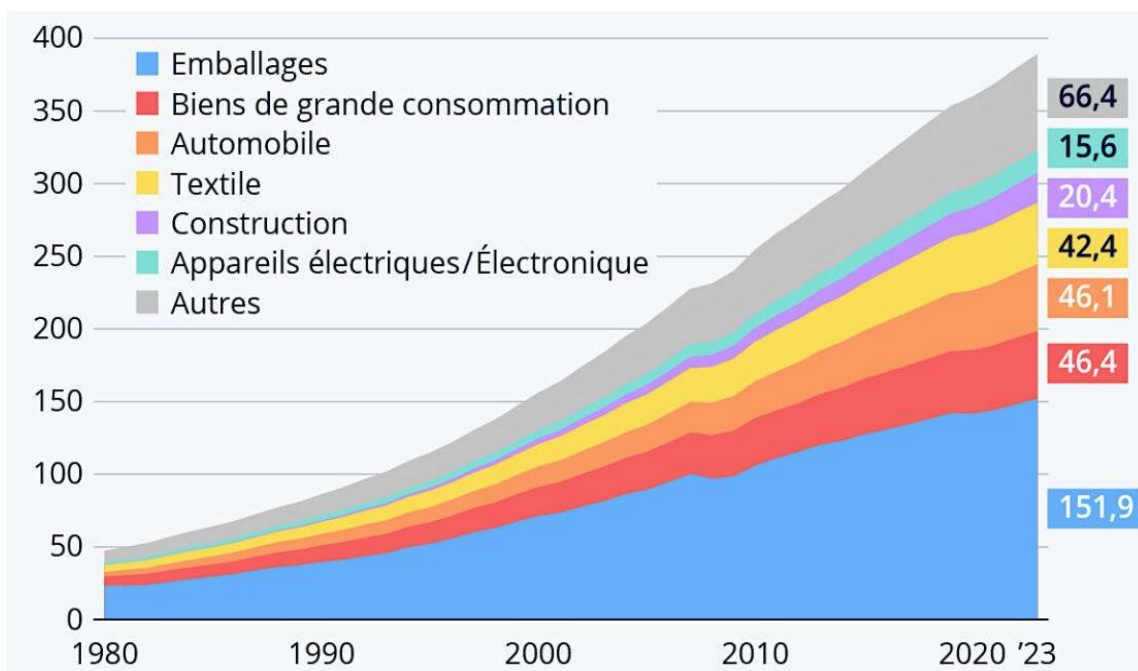
- ✓ Coût abordable : Les plastiques sont souvent économiques par rapport à d'autres matériaux de construction.
- ✓ Maintenance minimale ou nulle (par exemple pas besoin de les repeindre).
- ✓ Hygiène et propreté : Les plastiques sont faciles à nettoyer, ce qui contribue à maintenir un environnement sain.
- ✓ Économie de ressources: Leur faible coût, leur facilité d'installation et leur longue durée de vie contribuent à économiser les ressources (Traore, 2018).

### II.6.7. L'agriculture

L'utilisation des plastiques dans l'agriculture entraîne des avantages significatifs, notamment des rendements accrus, des récoltes plus précoces, une réduction de la dépendance aux herbicides et aux pesticides, une meilleure protection des produits alimentaires et une gestion plus efficace de l'eau. Par exemple, dans les régions arides, l'installation de systèmes de drainage en plastique peut diviser les coûts d'irrigation par deux ou trois tous en doublant le rendement (Traore, 2018).

### III. Déchets plastiques

Une consommation aussi diversifiée des produits plastiques conduit à un flux de déchets diversifié.



**Figure 12 :** Production mondiale de déchets plastiques selon le domaine d'utilisation, en millions de tonnes (OCDE, 2023).

La production mondiale annuelle de déchets plastiques a quasiment doublé entre 2000 et 2019, passant de 156 Mt à 353 Mt. Les déchets plastiques proviennent des résidus de processus de production, de transformation et de consommation. Il existe donc plusieurs types de déchets plastiques : les déchets plastiques industriels et les déchets plastiques de post-consommation (Traore, 2018).

Ces déchets proviennent pour près de deux tiers d'applications dont la durée de vie est inférieure à cinq ans : emballages (40 %), produits de consommation (12 %) et textiles (11 %). De plus, les emballages plastiques sont généralement à usage unique et ont une durée de vie très courte. Il faut dès lors s'interroger sur le devenir de ces emballages à la fin de leur cycle de vie (OCDE, 2023).

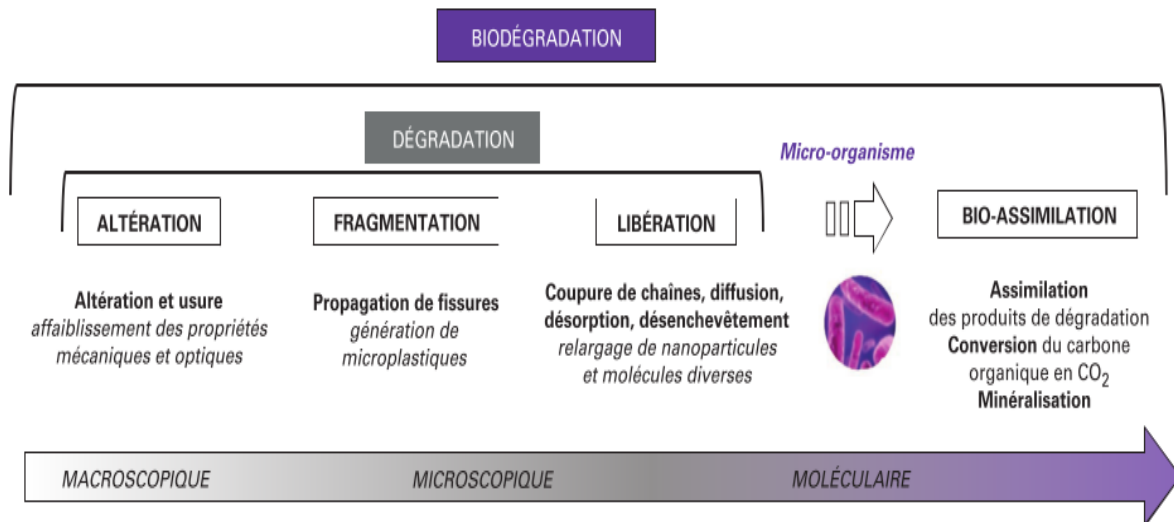
### III.1. Décomposition et dégradation des matières plastiques

Les matières plastiques sont connues pour leur stabilité et leur durabilité. Lorsqu'ils se retrouvent en tant que déchets dans l'environnement, ils vont y persister pendant de très nombreuses années. Ces matériaux seront toutefois lentement transformés et dégradés, selon des processus qui dépendent des conditions environnementales, des milieux dans lesquels ils vont séjourner (sol, rivière, plage, différents compartiments océaniques), une bouteille d'eau en PET se décompose ainsi plus vite dans l'eau salée des océans qu'enfouie dans la terre (Figure13). Par conséquent, les premiers plastiques inventés pourraient encore exister dans la nature (Welden, 2020).

Objet	Matière (et épaisseur)	Temps de dégradation dans le sol (enterré)	Temps de dégradation environnement marin (dans le noir)	Temps de dégradation environnement marin (sous UV, à la lumière du soleil)
Bouteille d'eau	PET (500 µm)	> 2500 ans	Pas de dégradation	2,3 ans
Flacon de gel douche	HDPE (500 µm)	250 ans	58 ans	26 ans
Boîte de stockage	PP (800 µm)	Pas de dégradation	53 ans	87 ans
Sachet plastique	LDPE (100 µm)	4,6 ans	3,4 ans	5 ans

**Figure 13 :** Temps de dégradation (estimés en temps de demi-vie) de certains objets en plastiques dans des environnements distincts (Richel, 2022)

Quelle que soit la nature des processus impliqués, la dégradation va se manifester à trois échelles différentes :



**Figure 14 :** Différentes échelles de dégradation des plastiques dans l'environnement (Galgani *et al.*, 2020).

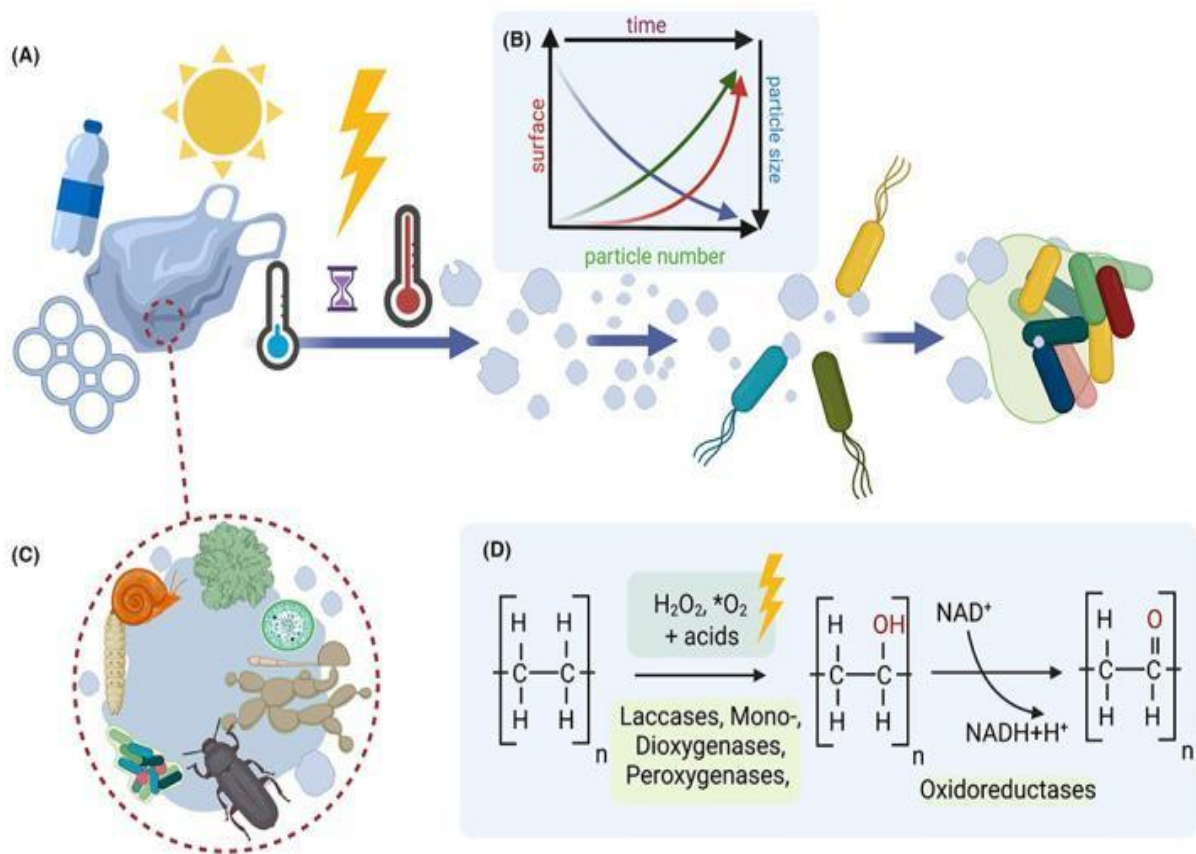
- Echelle macroscopique : altération des propriétés (essentiellement mécaniques et optiques) sans perte de l'intégrité du matériau ;
- Echelle microscopique : fragmentation en microplastiques liée à de la propagation de fissures dans le matériau ;
- Echelle moléculaire : relargage de nanoparticules et de molécules de tailles et natures diverses (macromolécules, oligomères, additifs, charges, etc.) en lien avec les phénomènes agissant à l'échelle moléculaire (rupture de liaisons, diffusion, désenchevêtrement, désorption). (Figure 14) (Galgani *et al.*, 2020).

### III.2. Biodégradation des matières plastiques

Pour une dégradation complète des matières plastiques, une étape supplémentaire est nécessaire : l'assimilation des produits de dégradation générés. En présence de micro-organismes (bactéries, champignons, algues, etc.), les oligomères générés par la dégradation du matériau peuvent être suffisamment petits pour être assimilés et convertis en gaz (CO<sub>2</sub> et éventuellement méthane en anaérobiose), eau et biomasse. On parle alors de biodégradation du matériau (Galgani *et al.*, 2020).

Les surfaces élargies des particules micro et nanoplastiques permettent une fixation et une colonisation accrues par des micro-organismes sous la forme d'un biofilm. Dans la nature, un mélange de différents organismes eucaryotes et procaryotes colonisent les particules de plastique.

Le microbiote plastique est appelé plastisphère et fait actuellement l'objet d'études approfondies. Notamment, l'établissement d'une plastisphère multi-espèces ne signifie pas nécessairement qu'une dégradation du polymère a lieu. Il est plus probable que les bactéries utilisent simplement les particules de plastique comme surface et niche écologique et dégradent les additifs chimiques s'ils deviennent disponibles. La colonisation des plastiques dépend très probablement des propriétés chimiques et physiques du polymère, des propriétés de surface, de la charge et des différents types d'additifs présents (Wright *et al.*, 2021 ; Yang *et al.*, 2020). Dès que les micro-organismes s'attachent à la surface des polymères, ils peuvent entamer un processus de dégradation biotique. Par conséquent, les enzymes sécrétées (hydrolases, C-C-lyases, oxydases, oxygénases, réductases, etc.) peuvent se fixer aux surfaces altérées et aux fibres uniques (Chow *et al.*, 2023).



**Figure 15 :** L'altération comme condition préalable essentielle à la colonisation microbienne et à la dégradation enzymatique des plastiques (Chow *et al.*, 2023).

Plusieurs études ont caractérisé le microbiote des plastiques. Les bactéries souvent associées aux plastiques sont affiliées aux *Nannocystaceae*, *Flavobacteriaceae*, *Planctomycetes*, *Saprospiraceae*, *Erythrobacteraceae*, *Hyphomonadaceae* et *Rhodobacteraceae*. Il existe des premières indications selon lesquelles les bactéries affiliées

au genre *Vibrio* et pathogènes pour les poissons et les humains s'accablent de manière notable et fréquente sur les particules (Kirstein *et al.*, 2019).

### III.2.1. Insectes dégradant le plastique

Nombreuses espèces d'insectes ont été signalées comme dégradant les plastiques, y compris les vers de farine (larves de *Tenebrio molitor*), les super vers (larves de *Zophobas atratus*) et les larves de la fausse teigne (*Galleria mellonella* L). Notamment, *Tenebrio molitor* a fait preuve d'une efficacité de dégradation étonnante sur une large sélection de types de plastique (Yang *et al.*, 2023) et Les larves de coléoptères (Coleoptera : Tenebrionidae), notamment, *Tenebrio obscurus*, *Tribolium castaneum* et *Plesiophthalmus davidis* peuvent dégrader différents plastiques, en particulier le PE et le PS (Peng *et al.*, 2022).



**Figure 16** : Carte schématique de la dégradation des plastiques par les insectes (He et Liu, 2024).

Le processus de dégradation des plastiques par les insectes peut être divisé en six étapes sur la base d'études pertinentes : (1) Les plastiques sont physiquement mâchés par les pièces buccales et pénètrent dans le tractus intestinal ; (2) les microbes présents dans l'intestin adhèrent au plastique et l'érodent ; (3) le plastique est dépolymérisé en fragments d'oligomères par oxydation ou hydrolyse des enzymes, qui sont fournies à la fois par l'hôte et par le microbiome intestinal; (4) l'hôte fournit des agents bioémulsifiants qui renforcent l'efficacité des enzymes microbiennes et de l'hôte pour attaquer les polymères; (5) les liaisons des

oligomères sont rompues pour former des acides gras ; et (6) les acides gras sont décomposés par le biais du métabolisme biologique des insectes (Yang *et al.*, 2023)

### III.3. Solutions potentielles des déchets plastiques

Les déchets plastiques deviennent un grave problème environnemental dans le monde entier. Les substituts au plastique et l'économie circulaire constituent deux composantes majeures des solutions potentielles, la première se concentrant sur l'invention de matériaux biodégradables et respectueux de l'environnement pouvant remplacer les plastiques conventionnels, et la seconde se concentrant sur le recyclage et la valorisation des plastiques en matériaux utiles ou de plus grande valeur. Bien que ces deux composantes puissent apparaître comme des thèmes distincts dans la littérature existante sur la pollution plastique, la substitution du plastique est, en fait, un sous-ensemble de l'économie circulaire.

L'économie circulaire du plastique se concentre généralement sur la réduction de la production de déchets plastiques et de la pollution plastique en s'attaquant à la chaîne de valeur du plastique englobant la conception, la production, l'utilisation et la fin de vie du plastique. Les substituts au plastique peuvent être perçus comme une avenue pour réduire la dépendance aux plastiques conventionnels, d'où leur production et leur utilisation, et dissocier la consommation de plastique du pétrole et de l'économie plastique conventionnelle (Tang, 2023).

#### III.3.1. Economie circulaire du plastique

Un cycle de vie générique des plastiques est présenté à la figure 17.

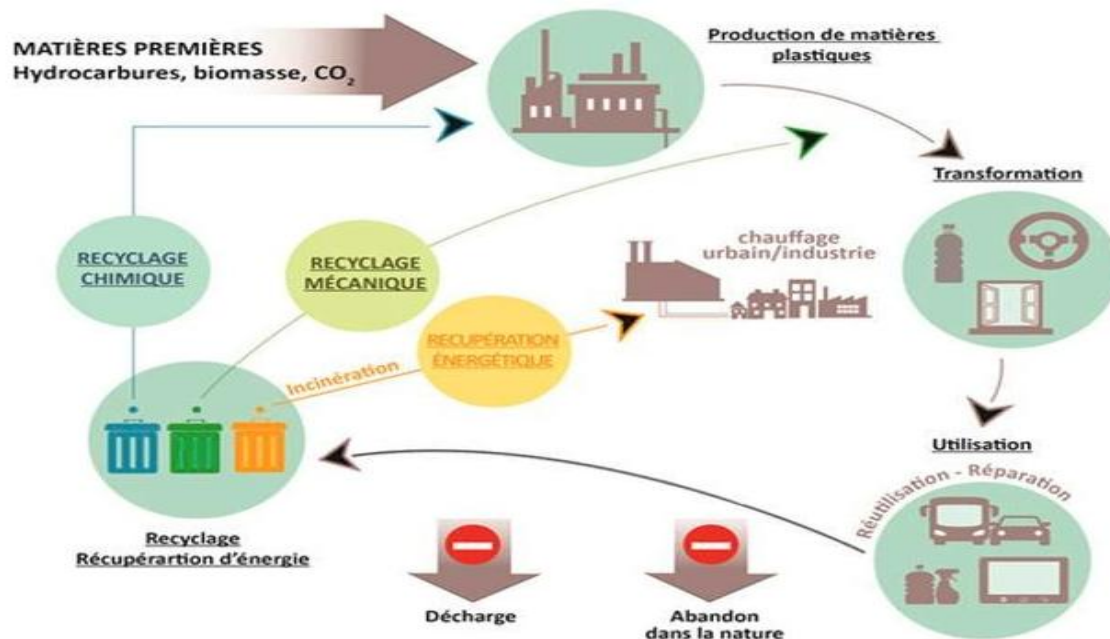


Figure 17 : Cycle de vie du plastique (Bucknall, 2020).

Comme indiqué, une fois utilisés, le sort de la plupart des plastiques est soit d'être éliminé directement en décharge, soit incinéré pour récupération d'énergie, soit, dans le meilleur des cas, recyclé ou, dans une mesure très limitée, réutilisé (**Bucknall, 2020**).

Jusqu'à récemment, la plupart des objets plastiques en fin de vie étaient mis en décharge. La tendance, aujourd'hui, est de valoriser au maximum ces plastiques usagés (non biodégradables), soit en les recyclant, soit, si cela n'est pas possible pour des raisons techniques ou économiques, en les brûlant dans des incinérateurs pour produire de l'énergie. Le recyclage du plastique est considéré comme l'une des meilleures voies de prise en compte du développement durable. Il est devenu, à cet effet, une priorité en termes de gestion du développement durable (**Beghetto et al., 2021**).

Le mot recyclage fait référence à un ensemble de modifications et de transformations (traitement mécanique, traitement chimique ou chauffage) nécessaires pour récupérer la matière première d'un polymère préalablement traité qui peut être réutilisée par l'industrie. Les méthodes de recyclage du plastique disponibles aujourd'hui sont classées en processus primaires à quaternaires (**Thiounn et Smith, 2020**).

### III.3.1.1. Recyclage primaire et secondaire

Le recyclage mécanique est la technologie principale et la plus largement utilisée pour le recyclage du plastique, composée de plusieurs étapes, dont la collecte, le criblage, le tri automatique ou manuel, le lavage, le déchiquetage, l'extrusion et la granulation.

Le recyclage mécanique est classé comme primaire ou secondaire selon le type de matière première traitée. Le recyclage primaire donne des polymères recyclés de la plus haute qualité et commence à partir de produits recyclés en boucle fermée tels que des bouteilles en PET ou des sous-produits collectés par les industries manufacturières en tant que matériaux bien séparés avant consommation. Les processus secondaires récupèrent les plastiques post-consommation et génèrent donc des polymères de moindre qualité (**Beghetto et al., 2021**).

### III.3.1.2. Recyclage tertiaire

Le recyclage tertiaire (recyclage chimique) est apparu comme une approche prometteuse pour valoriser les flux de déchets plastiques non recyclables, rejetés, multicouches et contaminés, tels que les déchets d'emballages, conformément aux principes des 3R (réduire, réutiliser et recycler) (**Martínez-Narro et al., 2024**).

Lors du recyclage chimique, les déchets plastiques sont dépolymérisés en monomères par des réactions chimiques puis réutilisés dans des processus industriels ultérieurs. Les

réactions correspondantes sont généralement réalisées à haute température (supérieure à 200°C) en présence de catalyseurs (Zhou *et al.*, 2023).

Les méthodes de recyclage chimique sont classées selon les conditions de réaction en solvolyse (hydrolyse, méthanolyse et glycolyse), dépolymérisation catalytique et dépolymérisation enzymatique. Le recyclage thermique comprend principalement la pyrolyse, l'hydrocraquage et la gazéification (Figure 18).

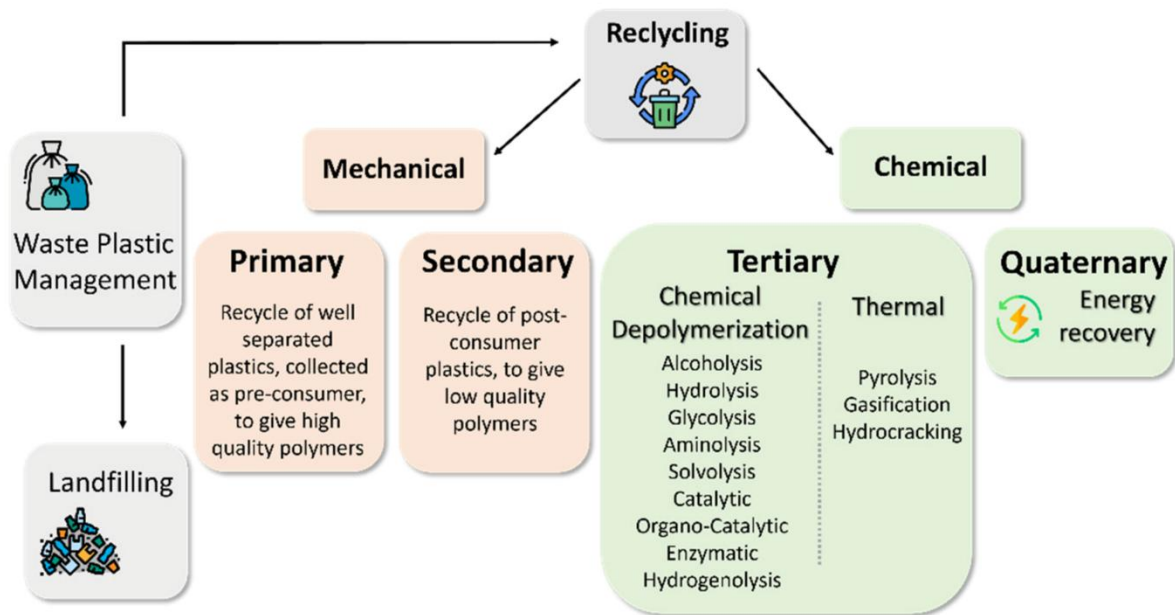


Figure 18 : Aperçu des techniques de recyclage du plastique (Beghetto *et al.*, 2021).

### III.3.1.3. Recyclage quaternaire

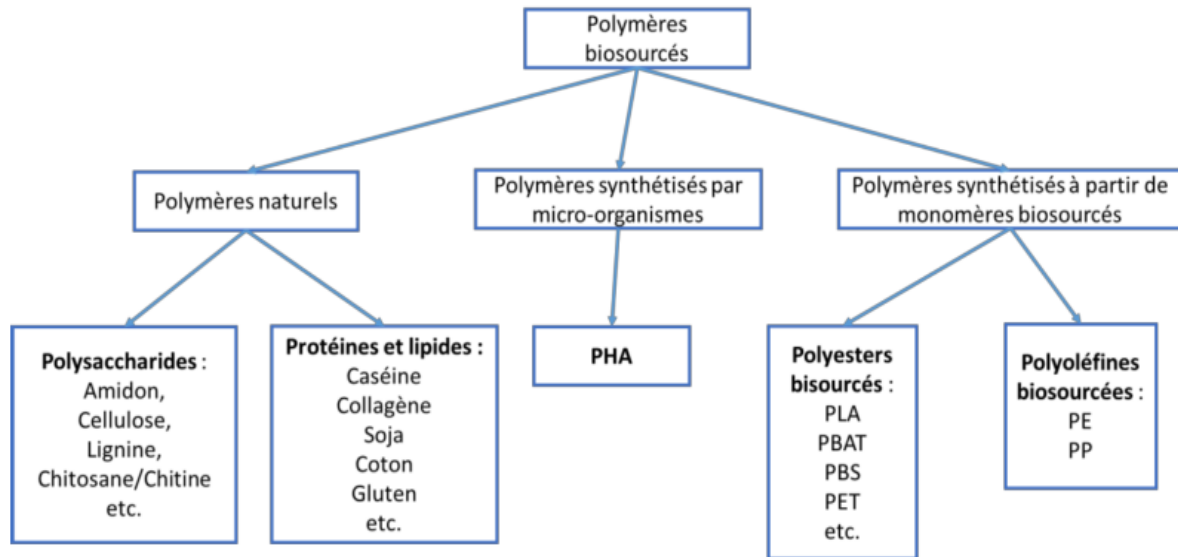
La valorisation énergétique consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques. Ce traitement peut être facilement utilisé lorsque les processus mécaniques échouent en raison d'une contamination excessive, de difficultés de séparation ou d'une détérioration excessive des propriétés du polymère. Cependant, il est émetteur des gaz à effet de serre tels que les oxydes de carbone en causant des problèmes environnementaux (Dhahak, 2019).

### III.3.2. Plastiques biosourcés

Des difficultés d'élimination du plastique ont été soulignées de leur création à nos jours. Ces matières sont mal adaptées aux différentes méthodes de destruction des déchets :

incinération, compostage, décharge. C'est pourquoi la mise sur le marché des polymères biodégradables apparaît une nécessité.

Un plastique biosourcé est produit à partir d'une ressource renouvelable. Plusieurs familles de polymères biosourcés sont à distinguer (**Figure 19**).



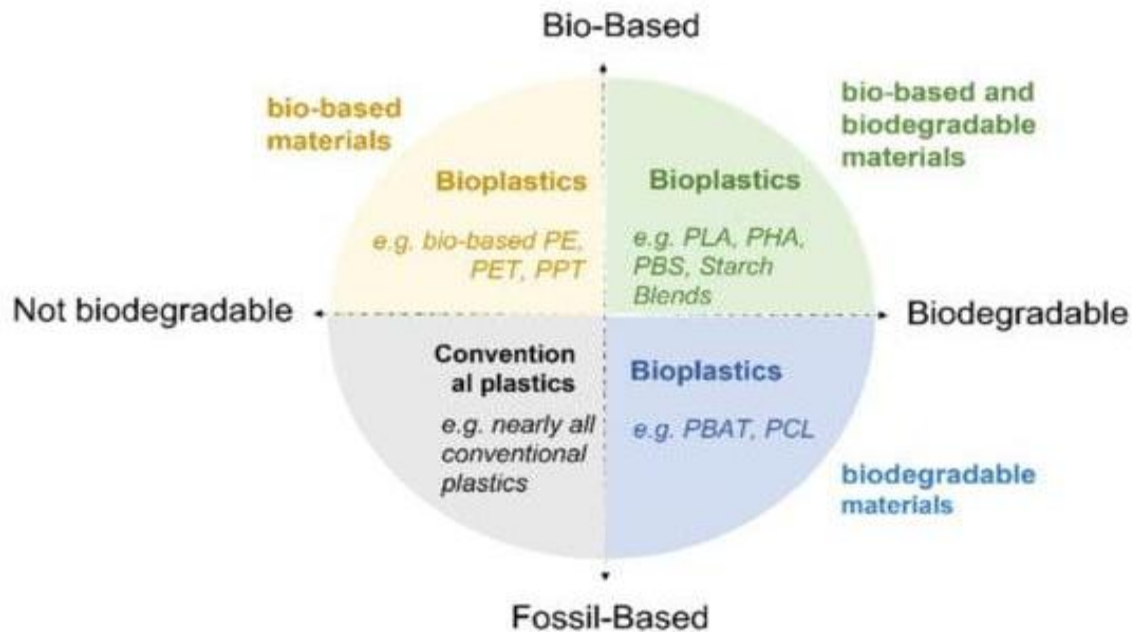
**Figure 19** : Principales familles de polymères biosourcés (**Delamarche, 2021**).

Premièrement, il existe des polymères naturellement présents et produits dans la nature, que l'on peut récupérer par des procédés d'extraction (amidon, cellulose, protéines, etc.). Ensuite, il existe des polymères naturellement synthétisés par des micro-organismes, tels que les polyhydroxyalkanoates (PHA). Enfin, il existe des polymères biosourcés synthétiques, produits à partir de monomères issus de ressources renouvelables, comme l'acide polylactique (PLA) (**Degruson, 2016**).

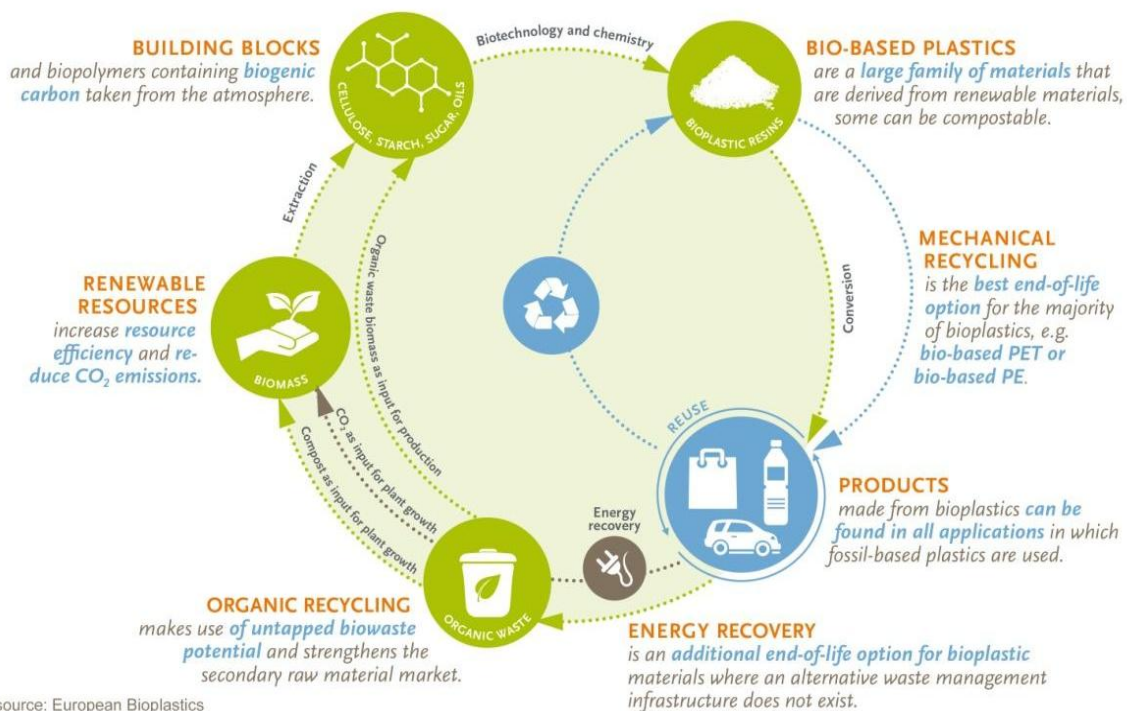
Les derniers progrès évoluent pour accroître la production de bioplastique à partir de déchets végétaux renouvelables, de biomasse, de cellules microbiennes et de microalgues afin qu'il n'y ait pas de concurrence avec les ressources agricoles et alimentaires. Ces sources de bioplastique sont obtenues principalement à partir de déchets organiques générés par les déchets alimentaires, les déchets de maïs et de canne à sucre, les déchets végétaux, les déchets agricoles, les déchets ménagers de cuisine, les sous-produits des industries du bois, etc (**Saharan et Kharb, 2022**).

Il faut être vigilant toutefois à ne pas confondre les termes « biosourcé » et « biodégradable », deux propriétés qui ne sont pas strictement liées. En effet, il existe des polymères biosourcés qui ne sont pas biodégradables, tels que le polyéthylène produit à partir

d'éthanol issu de cultures agricoles, et des polymères pétrosourcés et biodégradables comme la polycaprolactone (PCL) (Figure 20). (Abrha *et al.*, 2022).



**Figure 20 :** Principales classes de bioplastiques en fonction de leur origine (renouvelable ou non) et de leur fin de vie (biodégradables ou pas) (Delamarche, 2021).



**Figure 21 :** Economie circulaire adaptée aux plastiques biosourcés (Abrha *et al.*, 2022).

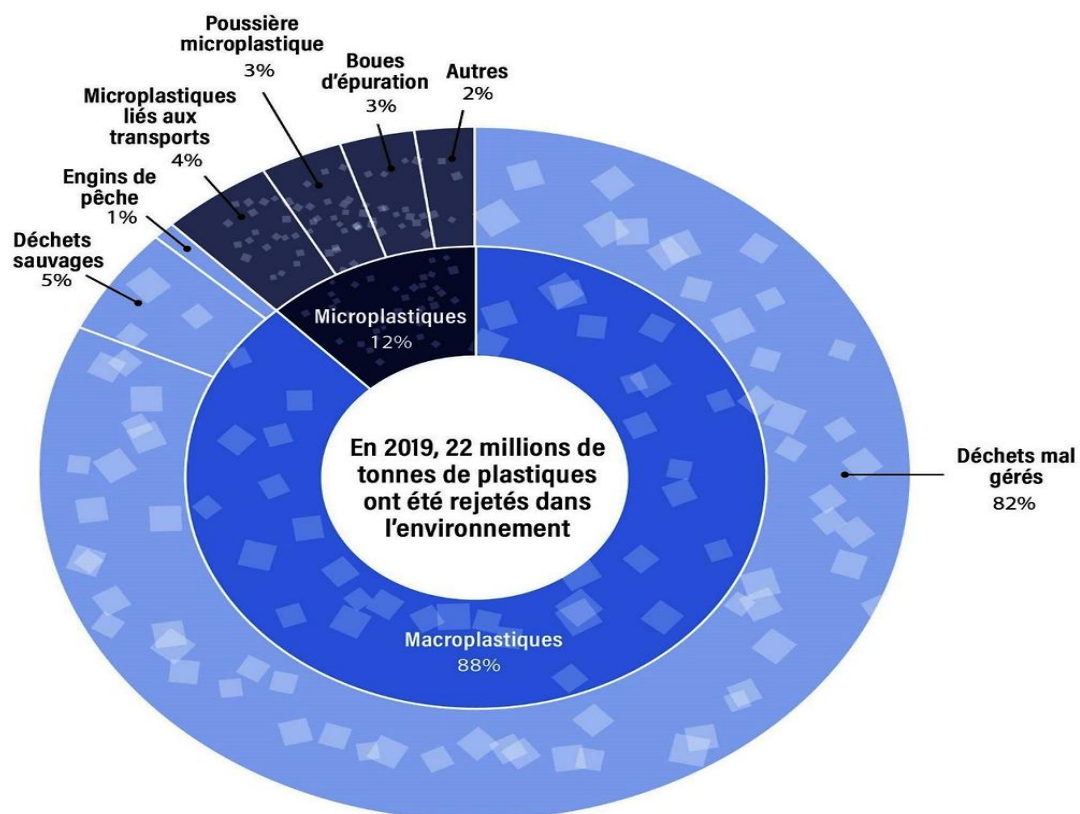
Dans le but d'économiser au mieux les ressources pétro ou biosourcées, la valorisation des produits plastiques biosourcés et/ou biodégradables après usage est nécessaire (Figure 21). Ainsi, un plastique biosourcé et compostable pourrait être valorisé comme fertilisant afin

de produire de nouveaux plants permettant la production de matériaux biosourcés. (Delamarche, 2021).

## VI. Les déchets plastiques dans l'environnement et leurs impacts

Malgré les progrès significatifs réalisés à l'échelle mondiale en matière de gestion, de traitement et de recyclage au cours des trois dernières décennies, la plus grande partie des déchets plastiques finit encore dans les décharges ou est brûlée à l'air libre, émettant du monoxyde de carbone (CO) et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Ces plastiques restent dans l'environnement pendant longtemps/au fil des siècles en raison de leur stabilité, de leur durabilité et de leur nature récalcitrante à la biodégradation, suivies de leur poids moléculaire élevé, de leur structure 3D complexe et de leur nature hydrophobe. Conséquence de l'omniprésence des plastiques, de leur élimination inappropriée en fin de vie et de leur mauvaise gestion, 22 Mt de ces matières ont été rejetées dans l'environnement en 2019 (Figure 22) et sont venues alimenter une pollution plastique persistante.



**Figure 22 :** La quantité de macroplastiques et de microplastiques rejetés dans l'environnement (2019) (OCDE, 2023).

La pollution plastique provoque des altérations profondes dans les écosystèmes, perturbant significativement la biodiversité, l'abondance des populations, leur répartition géographique et leurs cycles de reproduction. Cette situation entraîne une réorganisation globale de la biodiversité, caractérisée par un déclin de la diversité dans certains groupes et une augmentation dans d'autres, ainsi que des déplacements d'espèces vers les pôles, des substitutions d'espèces sans garantie de maintien des mêmes services écologiques, et des perturbations dans les interactions proies-prédateurs, mettant ainsi en danger la chaîne alimentaire. Les intrusions plastiques induites par l'activité humaine ont déjà profondément altéré les écosystèmes (**Fonty, 2021**).

# *Chapitre 2*

---

*Déchets plastiques et pollution*

### I. La pollution plastique

#### I.1. Généralités sur la pollution plastique

La pollution plastique est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus urgents, car la production croissante de produits en plastique jetables dépasse la capacité mondiale à y faire face. La présence de pollution plastique a été constatée dans quasiment tous les environnements, allant de l'air, du sol, des eaux douces, des glaces jusqu'aux profondeurs des océans, des sommets des montagnes aux abysses marins (**Eastman et al., 2020**)

La pollution plastique est plus visible dans les pays en développement d'Asie et d'Afrique, où les systèmes de collecte des déchets sont souvent inefficaces, voire inexistants. Mais le monde développé, en particulier dans les pays où les taux de recyclage sont faibles, a également du mal à collecter correctement les plastiques mis au rebut. Les déchets plastiques sont devenus si omniprésents qu'ils ont incité à rédiger un traité mondial négocié par les Nations Unies (**Wahl et al., 2021**)

Ces dernières années, la sensibilisation croissante au problème de la pollution plastique a été remarquée, et de nombreuses études mettent en évidence les conséquences néfastes du plastique sur nos économies, la santé humaine et la vie sauvage, en particulier dans les océans. Les articles en plastique tels que les sacs de courses ou les emballages alimentaires, lorsqu'ils ne sont pas correctement éliminés, ont souvent tendance à se retrouver dans les rivières ou sur les rives avant de finir par contaminer les océans. Ce phénomène constitue un problème environnemental mondial, affectant à la fois la santé publique et l'économie (**Simon et Schulte, 2017**)

#### I.2. Définition de la pollution plastique

La pollution est l'ajout de toute substance (qu'elle soit solide, liquide ou gazeuse) ou des formes d'énergie (comme la chaleur, le son ou la radioactivité) sont introduites dans l'environnement à un rythme supérieur à leur capacité de dispersion, de dilution, de décomposition, de recyclage ou de stockage sans danger (**Nathanson, 2020**).

La pollution plastique est l'accumulation de déchets en plastique tels que des bouteilles, des sacs et des microbilles dans l'environnement, entraînant des dommages pour la biodiversité (**Prakash, 2017**).

Dans ce chapitre, nous discutons de la pollution plastique dans un contexte environnemental. Dans un tel contexte, les plastiques sont souvent classés en fonction de leur taille. À l'origine, le terme microplastique a été utilisé pour différencier les substances qui ne

pouvaient être visualisées qu'au moyen d'un microscope et les substances macroscopiques plus grandes (ECCC, 2020). Toutefois, il n'existe pas de définition unique d'un microplastique.

## II. Les microplastiques

Dans les années 1970, des particules de plastique ont été découvertes pour la première fois dans les eaux de surface de l'Atlantique. Thompson et al. a publié un article dans *Science* et avancé pour la première fois le concept de « microplastiques » (Thompson *et al.*, 2004).

### II.1 Définition et classification des microplastiques

La plupart des auteurs du microplastique le définissent comme un matériau (particule de plastique) qui a une longueur de diamètre  $< 5$  mm pour la majorité des particules. Certains auteurs suggèrent que les particules  $< 1$  mm soient définies comme des microplastiques, dans le but de rester dans la gamme des tailles micrométriques.

On peut dire, selon Lambert *et al.* (2013) que les particules  $> 5$  mm sont des macroplastiques, les mésoplastiques comme  $5$  à  $> 1$  mm, les microplastiques comme  $1$  mm à  $> 0,1$   $\mu\text{m}$  et les nanoplastiques comme  $0,1$   $\mu\text{m}$  (Lambert *et al.*, 2013).

La raison pour laquelle la taille de  $5$  mm a été adoptée comme la référence pour déterminer les microplastiques, est le fait que les particules sont si petites qu'elles peuvent être ingérées facilement par les organismes vivants (Achouri, 2020).

Les microplastiques peuvent s'accumuler, migrer et se diffuser dans l'environnement en raison de leur forte hydrophobie, de leur petite taille de particules, de leur grande surface spécifique et de leurs propriétés chimiques stables et du fait qu'ils transportent d'autres polluants environnementaux (tels que des antibiotiques et des métaux lourds). Les microplastiques les plus courants dans l'environnement sont le polypropylène, le polyéthylène, le polystyrène et le chlorure de polyvinyle (Li *et al.* , 2023).

Il existe deux catégories de microplastiques :

✓ **Les microplastiques primaires** : Certains microplastiques sont produits intentionnellement en taille microscopique lors du processus de production artificielle. Un exemple est celui des microbilles, qui sont ajoutées aux nettoyants pour le visage, aux nettoyants pour le corps, au désinfectant pour les mains, au dentifrice et à la crème solaire. Ces particules peuvent passer à travers les tamis des stations d'épuration des eaux usées et sont finalement rejetées dans l'environnement (Li *et al.* , 2023).

✓ **Les microplastiques secondaires** : naissent de la fragmentation des macroplastiques en particules plus petites, un phénomène qui se produit aussi bien en mer que sur terre. Les plastiques peuvent persister de quelques mois à des milliers d'années, et de nombreux rapports attestent que la fragmentation des objets en plastique survient dans l'environnement sous l'effet de divers processus physiques, biologiques et chimiques, altérant ainsi l'intégrité structurelle des débris plastiques (**Li et al., 2016**).

### II.2. Microplastiques dans l'atmosphère

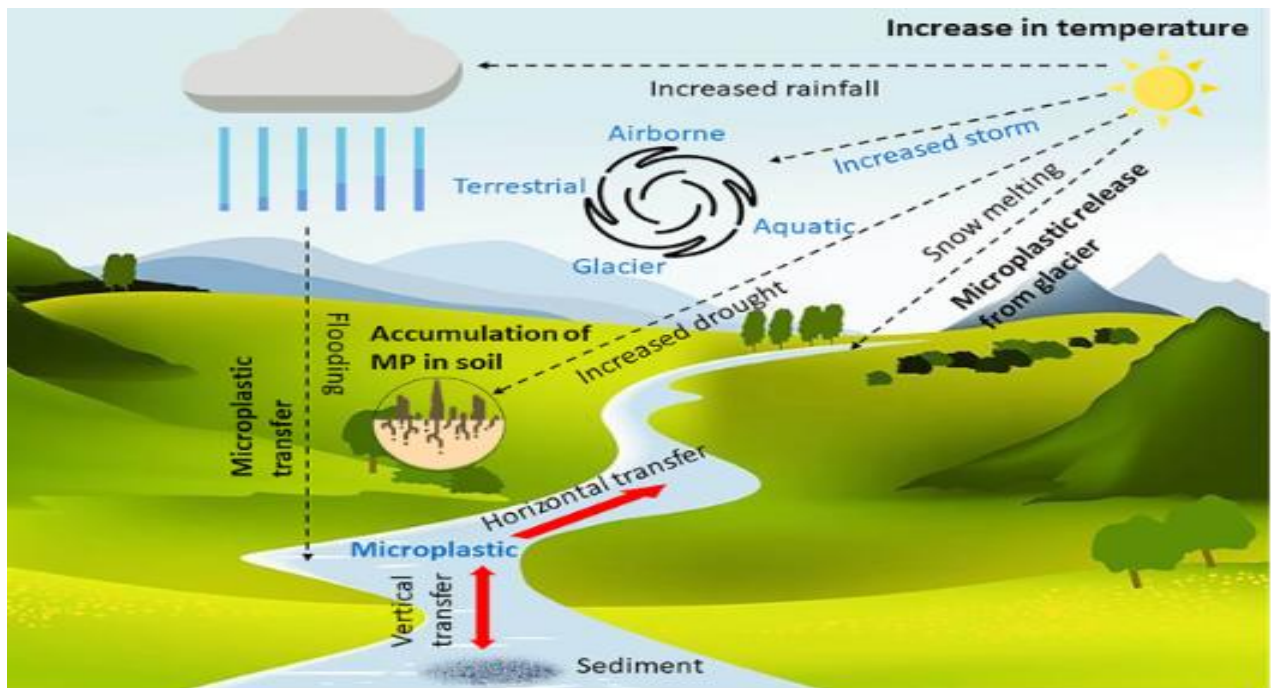
Les plastiques sont des produits dérivés de combustibles fossiles. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) au cours des différents processus du cycle de vie des produits en plastique constituent une menace importante pour l'environnement, car elles contribuent à l'augmentation de la température mondiale (**Sharma et al., 2023**).

Les microplastiques aéroportés sont constitués de polymères naturels et synthétiques. La taille prédominante des microplastiques en suspension dans l'air varie de 20 à 500  $\mu\text{m}$ , avec une majorité autour de 20  $\mu\text{m}$ . Les microplastiques en suspension dans l'air contiennent différentes couleurs (noir et blanc) et leurs formes sont différentes, comme la fibre (la plus répandue), le film, le fragment, la mousse, le granule et la sphère. Les textiles synthétiques, en particulier les petites fibres utilisées dans les vêtements, constituent une source importante de microplastiques en suspension dans l'air. Par exemple, 1 g de tissu acrylique produit plus de 1 100 microplastiques en suspension dans l'air. Ces fibres peuvent être libérées dans l'atmosphère lors d'activités telles que le port de vêtements ou le séchage, en particulier des tissus d'ameublement comme les tapis et les rideaux (**Pilapitiya et Ratnayake, 2024**).

Les microplastiques en suspension dans l'air peuvent également avoir des sources alternatives, notamment la dégradation d'articles en plastique plus gros et les émissions industrielles. En général, la quantité de microplastiques en suspension dans l'air à l'intérieur est bien supérieure à la concentration à l'extérieur. La dispersion et le dépôt ultérieur de particules en suspension dans l'air dans les retombées atmosphériques sont influencés par des facteurs tels que les précipitations, le vent, la concentration de pollution, l'humidité, les conditions locales et la taille des particules (**Cornejo-D'Ottone et al., 2020**).

Le vent sert de force pour soulever les microplastiques du sol vers les airs, facilitant ainsi leur transport vers des zones reculées. Une fois déposés, ces plastiques en suspension dans l'air deviennent une source de contamination des écosystèmes terrestres et aquatiques. Par conséquent, ce cycle dynamique échange des plastiques entre les environnements aérien,

terrestre et aquatique, contribuant ainsi à leur présence dans le paysage environnemental global. (Figure 23). (Pilapitiya et Ratnayake, 2024).



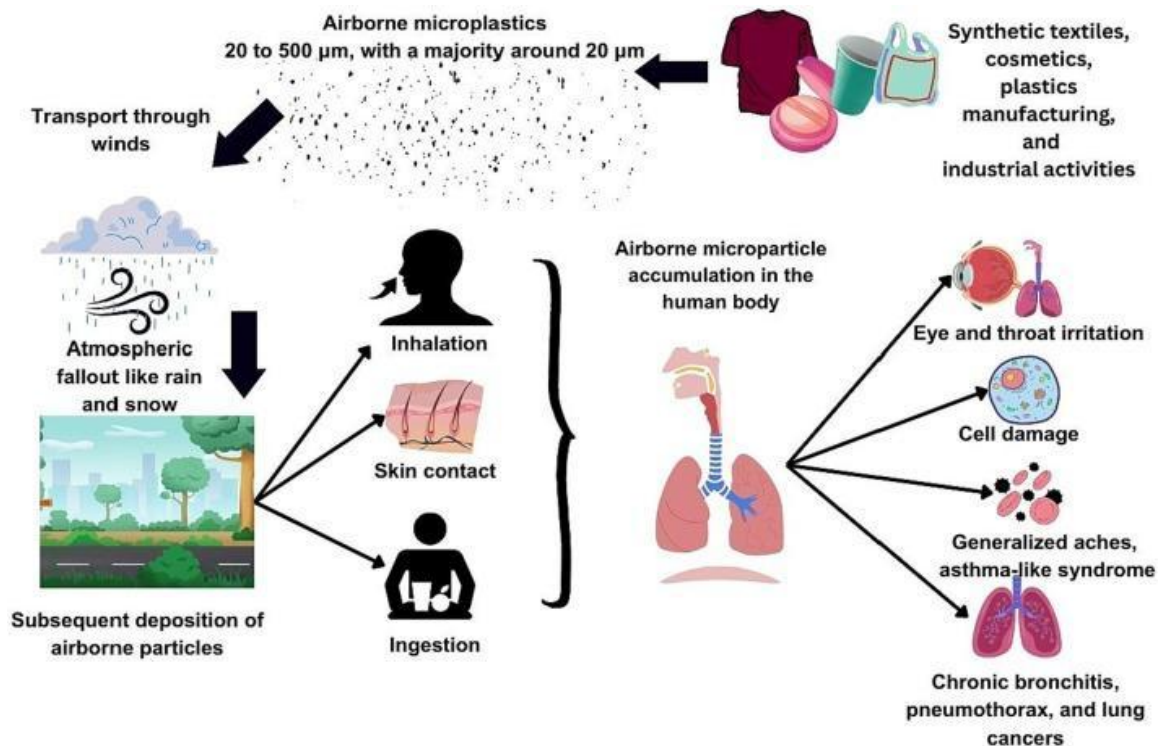
**Figure 23** : Le devenir des microplastiques sous l'impact de différents paramètres du changement climatique (Haque et Fan, 2023).

### II.2.1. Impacts des microplastiques atmosphériques sur la santé publique.

Plusieurs études ont été menées pour étudier l'exposition humaine aux microplastiques et les effets possibles sur la santé humaine. À ce jour, la plupart de ces études se sont concentrées sur le système gastro-intestinal, car l'exposition via l'ingestion d'aliments et d'eau contaminés était considérée comme la voie prédominante chez l'homme, provoquant l'absorption intestinale des microplastiques. Seules quelques revues se concentraient sur l'exposition humaine par inhalation. Cependant, **Catarino et al. (2018)** ont montré comment l'ingestion de fibres synthétiques issue de la consommation de moules est inférieure à celle consécutive à l'inhalation de poussières domestiques au cours du même repas. (**Catarino et al., 2018**).

L'inhalation joue un rôle central dans l'exposition humaine aux micro et nanoparticules, telles que les particules en suspension dans l'air et les nanoparticules manufacturées à base de métal et de carbone. Le mécanisme pathogène de ces particules en suspension dans l'air a été prouvé dans plusieurs études *in vitro* et *in vivo*. Par inhalation, tout type de microparticules plus petites peut atteindre la surface alvéolaire et les particules

nanométriques peuvent facilement passer dans la circulation sanguine, surmontant la barrière épithéliale pulmonaire (**Figure 24**). Leur distribution provoque des dommages à différentes régions du corps, y compris le système nerveux central (SNC) (**Facciola et al., 2021**).



**Figure 24 :** Plastiques dans l’atmosphère et impacts sur la santé publique (**Pilapitiya et Ratnayake, 2024**).

### II.3. Microplastiques et pollution des sols agricoles

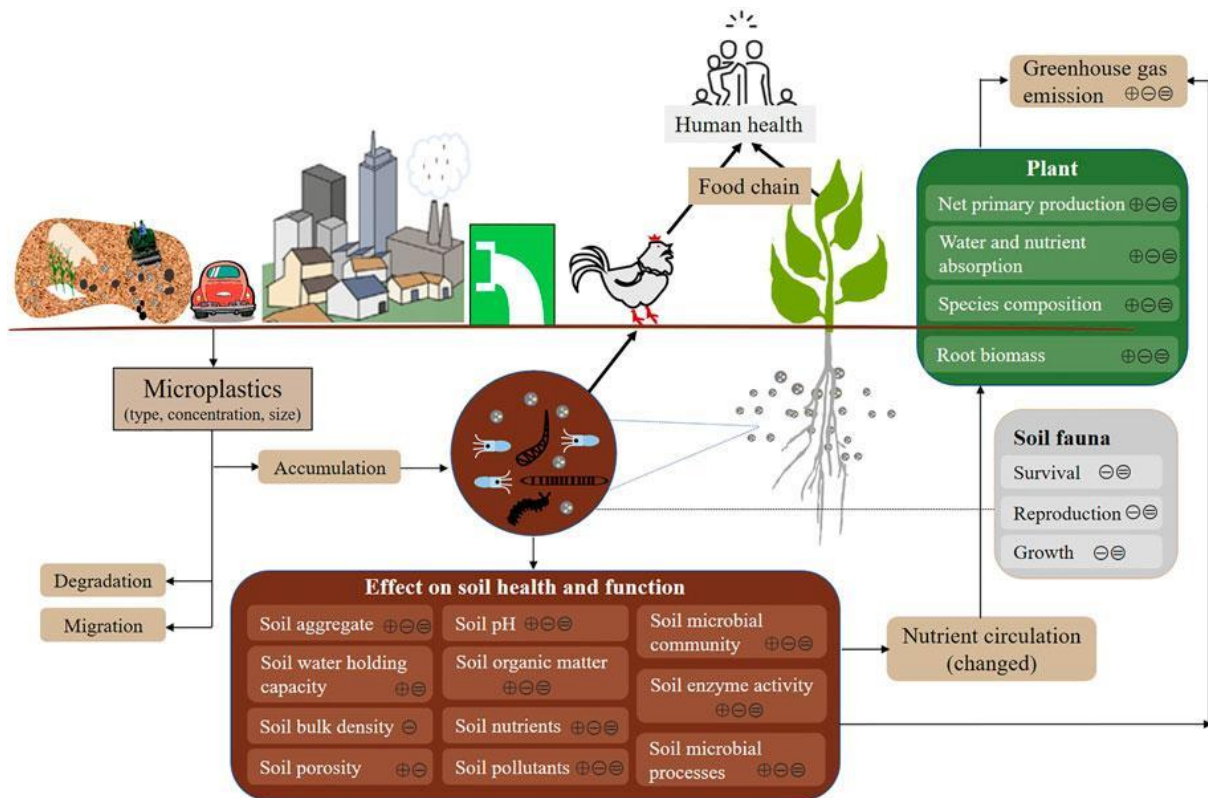
Le sol est l’une des ressources les plus précieuses sur Terre, fournissant une gamme de fonctions et de services écosystémiques importants pour les humains et d’autres organismes.

En raison des activités humaines, telles que la plasticulture, l’irrigation par eaux usées, l’application d’amendements du sol, les revêtements d’engrais et l’épandage des boues d’épuration, le sol est devenu le plus grand réservoir de microplastiques, pouvant être 4 à 23 fois supérieur à celui de l’océan (**Ding et al., 2020**).

De plus, les microplastiques sont plus abondants dans les sols agricoles que dans les sols urbains. Il est donc d’une importance vitale d’évaluer les risques écologiques et environnementaux des microplastiques dans les agroécosystèmes (**Li et al., 2023**).

Sous l’action du vent et de l’eau, certaines microplastiques migrent horizontalement vers d’autres parties du sol ou vers l’atmosphère ou les rivières (par ruissellement). Les autres restent et peuvent être transportés verticalement dans le sol, éventuellement jusqu’au sol profond. Une fois que les plastiques sont intégrés à la matrice du sol, ils peuvent modifier la

porosité du sol et ses propriétés de liaison en affectant l'agrégation du sol et la dynamique de l'eau du sol (Rai *et al.*, 2023).



**Figure 25 :** Sources de microplastiques dans les sols agricoles et leurs impacts sur l'environnement écologique. Les symboles ⊕, ⊖ et ⊕ représentent respectivement les effets positifs, négatifs et insignifiants des microplastiques (Yu *et al.*, 2022)

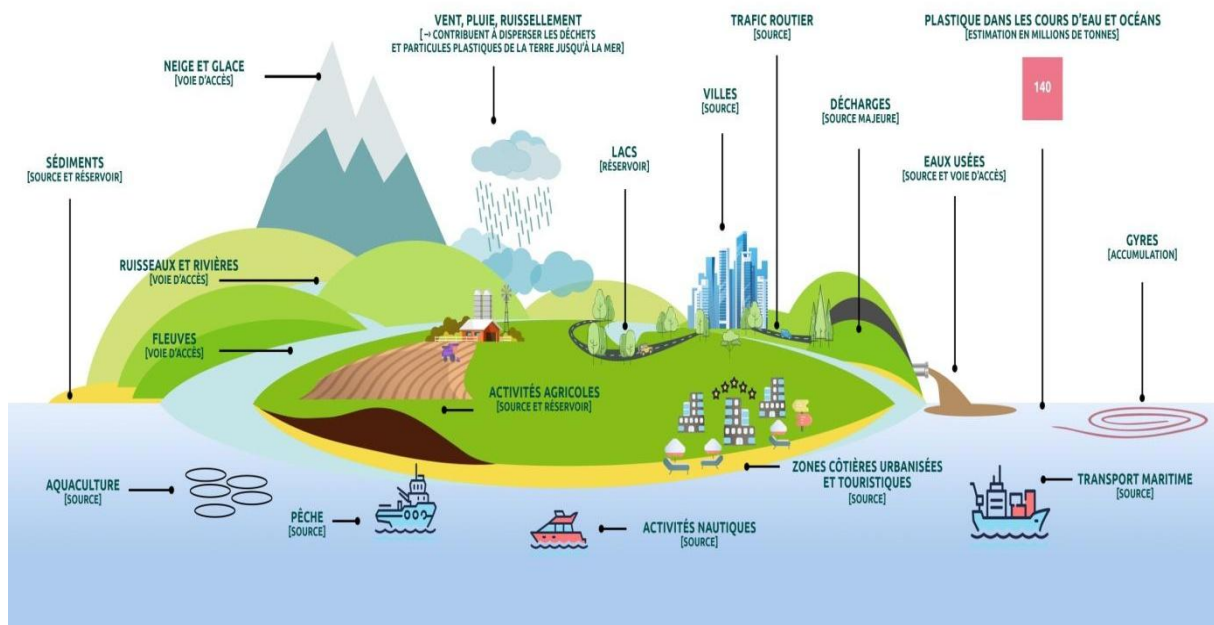
Les déchets plastiques, en particulier les microplastiques, peuvent interagir avec plusieurs propriétés du sol, comme le montre la **Figure 25**. Les microplastiques contiennent des additifs toxiques et des contaminants dangereux tels que l'éther diphenylique polybromé (PBDE), des produits chimiques perfluorés (PFOS), des métaux lourds comme le cuivre, le zinc, le plomb, etc., et les capacités de dispersion élevées des microplastiques leur ont permis de se mélanger au sol et d'altérer sa fertilité. De plus, le plastique entrave également la croissance des vers de terre et d'autres micro-organismes utiles, ce qui conduit par conséquent à l'infertilité du sol. L'apparition des plastiques en tant que facteurs de stress pour les écosystèmes affecte la santé des sols et modifie leurs propriétés biophysiques, ce qui crée une variation complexe dans le comportement environnemental d'autres polluants présents dans le sol. Les microplastiques présentes dans le sol peuvent adsorber d'autres contaminants tels que les polluants organiques persistants et les métaux lourds, ce qui les rend plus nocifs à long terme, et elles peuvent adsorber certains polluants (tels que les pesticides, les antibiotiques et

les métaux lourds) et les transporter dans les organismes du sol, ce qui peut avoir des effets gravement toxiques (Rai *et al.*, 2023).

### II.4. Microplastiques et pollution des écosystèmes aquatiques

#### II.4.1. Sources du plastiques dans le milieu marin

Le tourisme côtier, la pêche récréative et commerciale, les navires et les industries offshore (par exemple l'aquaculture, les plateformes pétrolières) sont autant de sources de plastiques qui peuvent directement pénétrer dans l'environnement marin (Cole *et al.*, 2011). Les sources terrestres, y compris les déchets de plage, contribuent à environ 80 % des débris plastiques. L'ensemble de la flotte de pêche mondiale utilise aujourd'hui des engins en plastique, dont certains sont définitivement perdus ou même négligemment rejetés en mer pendant leur utilisation. Les polyoléfines (polyéthylène et polypropylène) et le nylon sont les principaux matériaux utilisés dans les engins de pêche. Environ 18 % des débris plastiques marins trouvés dans l'environnement océanique sont attribués à l'industrie de la pêche.



**Figure 26** : Principales sources et voies d'accès des déchets plastiques en milieu marin (GRID-Arendal, 2021)

L'aquaculture peut également être une source importante de débris plastiques dans les océans. La majeure partie du reste provient de sources terrestres, principalement des déchets de plage. Les granulés de résine vierge, un composant courant des débris, pénètrent régulièrement dans les océans à la suite d'une perte accidentelle pendant le transport ou d'un écoulement provenant des installations de traitement (Andrady, 2011)

### II.4.2. Répartition du plastique en milieu marin

La quantité de plastique présente dans les océans suit des modèles de dispersion bien connus et se dépose dans des habitats spécifiques conformément aux lois de la physique. Les plastiques peuvent entrer dans les océans par le biais des cours d'eau, où ils atteignent les côtes, être transportés par les vents depuis les terres ou être jetés par-dessus bord par les navires. Une fois dans l'océan, les plastiques peuvent soit couler rapidement, soit être ingérés par des organismes marins, se disperser dans la colonne d'eau ou flotter à la surface. En fin de compte, s'ils ne sont pas emportés et enterrés dans les zones côtières (ou retirés par l'homme), la plupart de ces déchets plastiques finiront par se retrouver enfouis dans les sédiments des profondeurs océaniques (**Harris *et al.*, 2023**).

### II.4.3. Impacts biologiques sur des espèces marines

Selon les données de la littérature, les débris plastiques affectent à l'échelle mondiale de nombreuses espèces marines, dont environ 43 % des mammifères marins, 44 % des oiseaux de mer et 86 % des tortues marines et diverses espèces de poissons et de crustacés.

Les principaux impacts biologiques des déchets plastiques dans les environnements marins et aquatiques peuvent être résumés comme suit : ingestion, enchevêtrement, troubles des mouvements, perte d'habitat et alimentation, faible reproduction, ulcères, lacérations et enfin, mort. Par exemple, l'ingestion provoque des blocages et des blessures internes, une faible capacité de l'estomac et entrave la croissance. L'enchevêtrement entraîne l'étranglement, la réduction de l'efficacité alimentaire et, dans certains cas, la noyade.

Les tortues océaniques consomment des débris de plastique flottants, notamment des sacs en plastique, en raison d'une mauvaise compréhension de ceux-ci comme de leurs proies gélatineuses/méduses qui sont la principale source de nourriture des tortues marines.





**Figure 27** : Illustration des impacts de la pollution plastique sur les tortues océaniques (**Site 4**)

Le muséum anglais d'Histoire naturelle a découvert une nouvelle maladie chez les oiseaux marins : le *plasticosis*, une maladie des organes digestifs causée par l'ingestion de plastiques. Cette fibrose de l'estomac a été constatée chez des oiseaux d'âges variés, mais spécialement chez de très jeunes spécimens qui ont été nourris par leurs parents avec de la nourriture remplie de minuscules petits morceaux de plastique.

La plupart de ces particules de plastique proviendraient des bouteilles et de leurs bouchons, l'une des causes majeures de la pollution en mer. En conséquence, un faible poids corporel, un dépôt de graisse inhibé, une capacité de reproduction réduite, une mauvaise condition physique et des dommages au système digestif sont les principaux problèmes associés aux oiseaux marins.

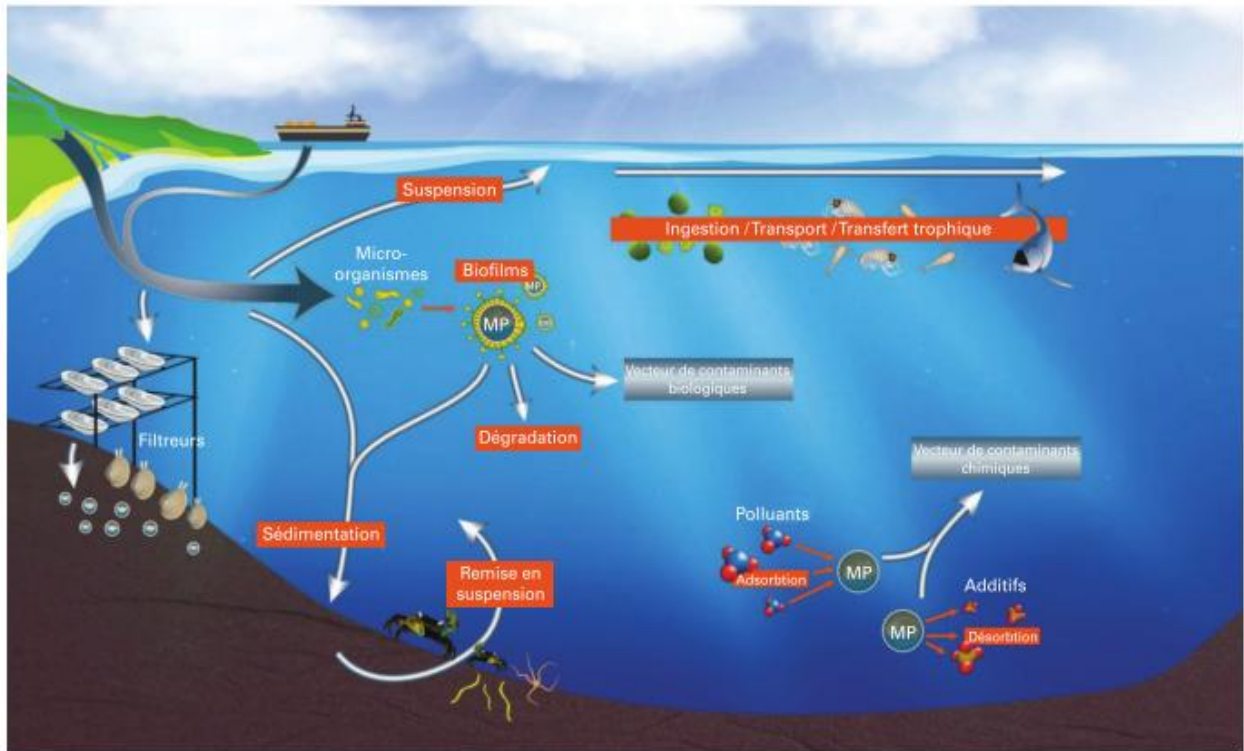


**Figure 1** : Illustration des impacts de la pollution plastique sur les oiseaux marins (Site 4)

Les microplastiques ressemblent au phytoplancton et parfois les plastiques se mélangent aux aliments souhaités des poissons et des cétacés. Les cétacés sont confrontés à une mortalité directe ou peuvent devenir faibles et sujets à la prédation ou aux maladies en raison de l'effet des débris plastiques. Par conséquent, les fragments de plastique peuvent s'accumuler chez les prédateurs au sein de la chaîne alimentaire. En particulier, les nanoplastiques dérivés du polystyrène (PS) diminuent le taux d'alimentation par filtration des moules bleues et ont un impact sur les niveaux cellulaires et organisationnels. De plus, les microplastiques de polystyrène réduisent le nombre et la taille des ovules, la motilité des spermatozoïdes et le nombre de larves des huîtres (Rossi *et al.*, 2014).

#### II.4.4. Bioaccumulation

Les microplastiques peuvent être ingérés par une variété d'organismes aquatiques à différents niveaux trophiques, soit directement soit indirectement, puis être transférés le long des chaînes alimentaires aquatiques, entraînant divers impacts sur les fonctions vitales de ces organismes. De plus, les microplastiques ont la capacité d'absorber une gamme de contaminants chimiques présents dans l'environnement, et peuvent également libérer des additifs plastiques toxiques. Ainsi, ils agissent à la fois comme des puits et des sources de ces contaminants chimiques, ce qui peut potentiellement modifier leur toxicité, leur biodisponibilité et leur devenir dans l'écosystème (Huang *et al.*, 2021).



**Figure 29 :** Cycle du plastique dans l'environnement aquatique. (Galgani *et al.* , 2020).

## II.5. Impact des débris plastiques sur la santé publique

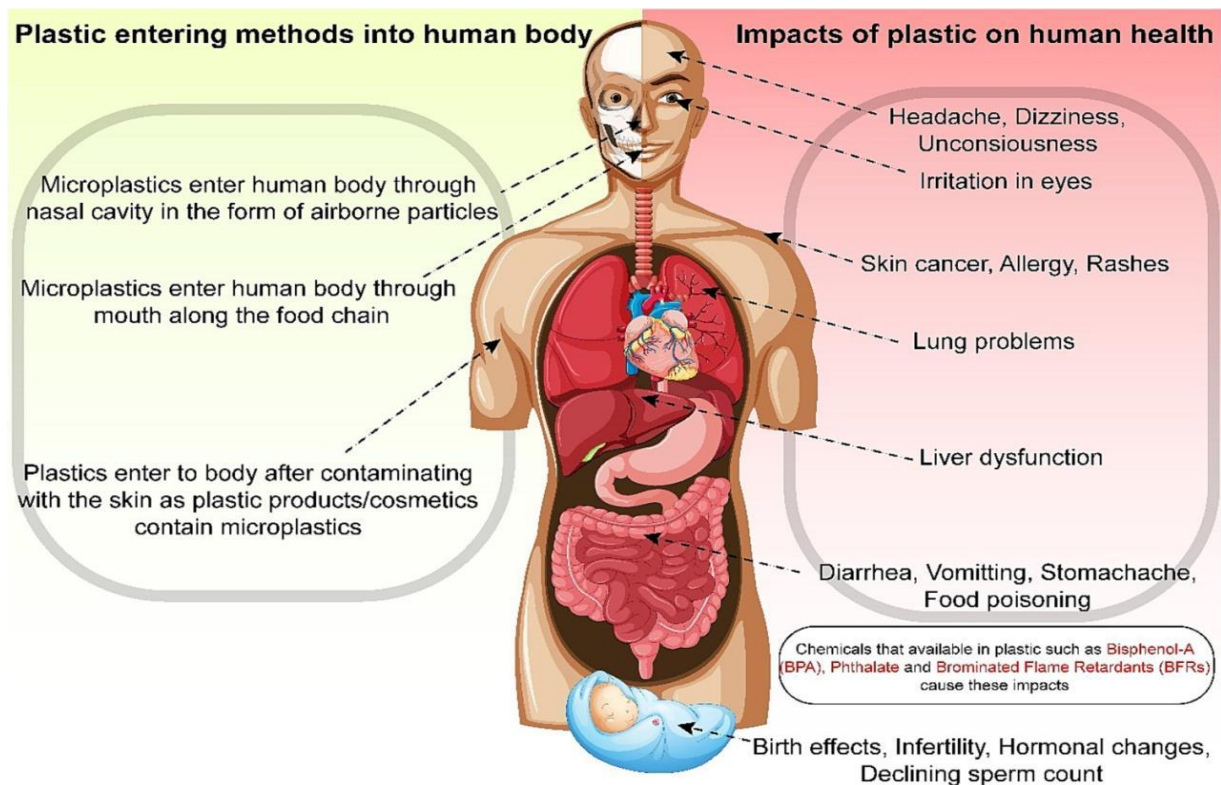
Au-delà des frontières environnementales, les plastiques interrompent également la vie humaine. Les humains pourraient être exposés aux microplastiques principalement par trois voies d'entrée principales, à savoir l'ingestion, l'inhalation et le contact dermique. L'ingestion par voie orale est actuellement la principale voie d'exposition, car des études récentes ont trouvé une grande quantité de microplastiques dans les sources alimentaires, l'eau potable et à partir de l'utilisation quotidienne de matériaux plastiques en contact avec les aliments.

Les microplastiques dans la gamme submicronique et, en particulier, les nanoplastiques de moins de 100 nm pourraient être capables de pénétrer les membranes cellulaires et de franchir la barrière intestinale, atteignant éventuellement le flux sanguin, suivi de la translocation vers d'autres organes. Presque tout le sang provenant du tractus intestinal passe par le foie avant d'être distribué dans le corps, ce qui conduit à l'accumulation possible de microplastiques qui pénètrent la barrière épithéliale dans le foie. Les microplastiques sont également susceptibles de franchir la barrière hémato-encéphalique, de s'accumuler dans le cerveau et de manifester une neurotoxicité (Xu *et al.*, 2022).

Les additifs chimiques disponibles dans les plastiques tels que le bisphénol A (BPA), les phtalates et les retardateurs de flamme bromés (BFR) peuvent causer des dommages critiques à la santé publique.

Le bisphénol A, un plastifiant synthétique à base de carbone, est constitué de deux anneaux phénoliques insaturés attachés au carbone de pontage. Il est connu comme perturbateur endocrinien et le BPA est utilisé en grande quantité comme plastifiant dans divers produits commerciaux (par exemple, emballages d'aliments et de boissons, disques compacts, canettes en plastique, bouchons de bouteilles, lunettes de soleil, dispositifs médicaux et conduites d'eau), en raison de sa grande durabilité, sa capacité de résistance à la chaleur et ses propriétés de résistance à l'éclatement.

Les gens sont exposés au BPA par diverses sources telles que l'air, la poussière et l'eau, mais la principale source est l'alimentation. La dégradation du BPA se produit en raison de l'hydrolyse à des températures élevées et dans diverses conditions de pH (Chouhan *et al.*, 2014; Campanale *et al.*, 2020; Katyal *et al.*, 2020).



**Figure 30 :** Voies d'exposition humaine aux microplastiques et leurs impacts potentiels sur la santé (Pilapitiya et Ratnayake, 2024).

La présence de BPA est détectable dans le sang des femmes enceintes, le liquide amniotique, le tissu placentaire et le sang de cordon, indiquant une exposition fœtale. Les jeunes nourrissons sont souvent exposés au BPA via l'utilisation de biberons contenant du plastique.

Le bisphénol A peut causer de graves problèmes de santé humaine, tels que des maladies cardiovasculaires, des maladies rénales chroniques, des malformations congénitales et des troubles du développement, le cancer et les maladies respiratoires chroniques.

En outre, les données épidémiologiques suggèrent qu'une variété de maladies chroniques pourraient être liées à l'exposition aux microplastiques (**Li *et al.*, 2023**).

# Chapitre 3

*La stratégie nationale de la gestion des déchets  
plastiques et ses implications au niveau de la  
wilaya de Khenchela*

Ce chapitre s'attèle à présenter la stratégie nationale Algérienne de la gestion des déchets plastique et ses répercussions au niveau local, en l'occurrence la wilaya de Khenchela.

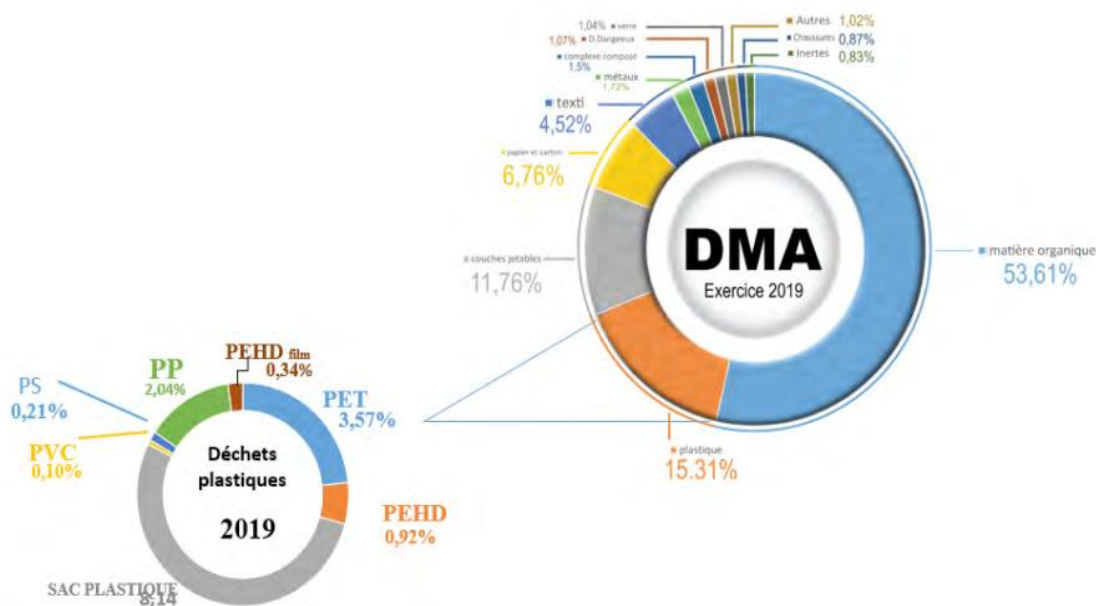
### **I. Consommation des matières plastiques en Algérie**

L'Algérie se place au peu enviable rang de cinquième plus gros consommateur au monde de sacs en plastique, après les Etats-Unis d'Amérique, la France et l'Australie. Près de 7,7 milliards de sacs en plastique sont utilisés annuellement en Algérie et une moyenne de 200 sachets est utilisée annuellement par chaque citoyen. (Dorbane, 2023).

Selon les chiffres du Centre National de l'Informatique et des Statistiques (CNIS), L'Algérie a importé près de 2,03 milliards de dollars d'intrants pour l'industrie de plastique en 2017, contre 1,9 milliards de dollars en 2016 et 1,7 milliards en 2015. En termes de consommation de cette matière, une augmentation de 11 % par an a été enregistrée durant ces dix dernières années, passant d'un usage de 10 kg par habitant en 2007 à 23 kg en 2017, avec une estimation de 25,8 kg en 2020, 60 % de cette consommation est consacrée aux emballages, 20% au secteur du bâtiment et de la construction et le reste à d'autres industries (CNIS, 2020).

### **II. Les déchets plastiques en Algérie**

En Algérie, les déchets plastiques représentent 15.31 % des déchets ménagers et assimilés (DMA) générés annuellement, soit environ 2.1 millions de tonnes (Figure 30).



**Figure 31 : Composition des déchets plastiques (par sous-catégories) (Agence Nationale des Déchets, 2019).**

La répartition des déchets plastiques en sous-catégories a montré que le PEBD est majoritaire avec près de 8.14 % suivi du PET qui représente environ 3.57 % de la quantité globale de déchets produites (**Agence Nationale des Déchets, 2019**).

A défaut d'une gestion rationnelle des déchets, ces derniers continuent à s'entasser dans les décharges sauvages sans aucune norme d'hygiène ou de sécurité, encore moins de protection de l'environnement. En Algérie, 3 723 décharges anarchiques ont été recensées dont 606 à proximité des cours d'eau, 1 063 aux abords des voies publiques, 237 autres à proximité des forêts, 1 377 près des marchés de proximité, et 440 à proximité des gares de transport de voyageurs et le long du périmètre des voies ferroviaires (**Site 4**)

### **II.1. Gestion des déchets en Algérie**

La gestion des déchets en Algérie suit à priori une logique dite "linéaire", qui consiste à collecter les déchets et à les transporter vers les lieux de stockage ou d'enfouissement, avec un référentiel hygiénique et environnemental. Tel qu'il est conçu dans les pays développés, pays "d'origine" de cette technique, l'enfouissement est réservé exclusivement aux déchets ultimes. Alors qu'en Algérie, c'est la pratique de "tout à l'enfouissement" qui domine. Il en résulte des tendances lourdes en matière de saturation précoce des CET, de prolifération des dépôts "anarchiques" des déchets, du besoin en foncier pour construire d'éventuelles installations d'élimination des déchets, etc (**Dorbane, 2023**).



**Figure 32 :** Pollution des plages Algériennes par les déchets plastiques

L'Algérie dispose d'une bande littorale s'étendant sur plus de 1 600 km. Cette zone représente un écosystème fragile et constamment menacé par diverses pollutions, notamment

les déchets plastiques à usage unique. Ainsi, au regard de l'enjeu majeur qui découle de la gestion de ces déchets, les pouvoirs publics se penchent vers une nouvelle stratégie qui met en avant, la prévention et la réduction de ce type de déchets.

## **II.2. Législation Algérienne des déchets plastiques**

La non-gestion des déchets plastiques en Algérie est un problème d'environnement et de santé humaine de plus en plus compliqué. Cette situation impacte négativement sur l'économie nationale qui connaît d'ores déjà un ralentissement sensible suite à la chute des cours du pétrole. La politique du recyclage des déchets existe mais elle n'est pas appliquée sur le terrain. Le gouvernement a certes mis en place en 2001, la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Mais cette loi n'a pas été révisée depuis maintenant 18 ans. Beaucoup reste à faire pour améliorer ce secteur qui demeure vierge en Algérien (**Agence Nationale des Déchets, 2020**).

En Algérie, Les déchets plastiques et les déchets d'emballages sont régis par un ensemble de textes réglementaires :

- La Loi 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Le Décret exécutif du 6 Ramadhan 1423 correspondant au 11 novembre 2002 relatif aux déchets d'emballages.
- Le Décret exécutif du 10 Jomada Ethania 1425 correspondant au 28 juillet 2004 définissant les modalités de détermination des caractéristiques techniques des emballages destinés à contenir directement des produits alimentaires ou des objets destinés à être manipulés par les enfants.
- Le Décret exécutif du Aouel Jomada Ethania 1425 correspondant au 19 juillet 2004 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système de reprise et de valorisation des déchets d'emballages (**Agence Nationale des Déchets, 2019**).

Une étude sur les taux de valorisation des déchets tous types confondus a fait ressortir que le taux de valorisation des matières plastiques est de l'ordre de 15% (**AND, 2020**).

Quant au nombre de recycleurs et récupérateurs enregistrés à la base de données de l'AND, ils sont aux alentours de 358 pour les PET (polyéthylène téréphtalate), 343 pour les PEHD (polyéthylène haute densité) et 336 pour les films plastiques». En dépit des efforts déployés, la filière de recyclage des déchets plastiques reste loin des objectifs visés, une cause

pour laquelle des investissements en termes de capacité de recyclage et de qualité de traitement doivent être réalisés afin de permettre au pays de rattraper son retard en matière de retraitement des plastiques. (AND, 2020).

### **III. Les déchets plastiques dans la wilaya de Khenchela**

La situation de l'environnement dans la wilaya de Khenchela ne cesse de s'aggraver, notamment ces dernières décennies, en effet les ordures ménagères jonchent les trottoirs, et les champs sont transformés en décharges sauvages ce qui risque de contaminer l'eau, l'air et le sol et par conséquent nuire à la santé publique et à l'image de la wilaya.



**Photographie 1** : Pollution visuelle par les déchets plastiques

Face à la production importante des déchets plastiques et à la faiblesse des taux de valorisation, la wilaya est confrontée à de nombreux enjeux économiques, environnementaux et sociaux inhérents justement au mauvais traitement des déchets plastiques. Au niveau local où interagissent les acteurs et ressentent les problèmes environnementaux, la crise des déchets plastiques se manifeste, entre autres, par :

- ✓ La pollution visuelle et ses conséquences notamment sur le cadre de vie et le tourisme;
- ✓ La saturation des installations d'élimination des déchets: décharges, CET, incinérateurs et autres;

### **III.1. Gestions des déchets dans la wilaya de Khenchela**

La valorisation des déchets plastiques pratiquée au niveau de la wilaya de Khenchela est la valorisation matière ou mécanique, qui repose sur la technique de la régénération utilisée pour les thermoplastiques (matières plastiques dominantes, telles que le PET, le PEHD, le PEBD, le PP, le PVC, etc.). A cet effet, des circuits d'acteurs formels et informels se sont mis en place, constituant des réseaux d'acteurs intervenant à plusieurs niveaux: la collecte, le tri et le stockage, la commercialisation et la transformation.

Cette technique, très répandue dans les pays en voie de développement, permet d'obtenir des matières secondaires sous forme de granulés (PEHD), de poudre (PVC), de paillettes (PET), en fonction du type des matières plastiques récupérées des déchets plastiques. Cette dernière sera destinée au recyclage ou à l'industrie en vue de remplacer les matières plastiques vierges.

### **III.2. Secteur formel du recyclage des déchets plastiques**

#### **III.2.1. Le centre d'enfouissement technique (C.E.T)**

Dans le cadre de la nouvelle politique environnementale recommandée par le gouvernement Algérien et le programme national de gestion intégrée des déchets ménagers et assimilés (PROGDEM), la wilaya de Khenchela a confié la gestion des traitements des déchets ménagers au Centre d'enfouissement Technique. L'ouverture d'un centre d'enfouissement technique (CET) à Khenchela, constitue un pas important dans la réalisation des objectifs de la wilaya dans le cadre du développement durable, il s'agit des fermetures de cinq décharges sauvages, préservation de l'hygiène publique, la propreté des agglomérations, l'élimination saine, écologique et rationnelle des déchets, la valorisation des déchets recyclables et la création d'emplois verts. Les informations et les données recueillis dans cette partie du mémoire nous ont été procurées par l'établissement Public De Wilaya de Gestion des Centres d'Enfouissement EPWGCET Khenchela de Baghai, Appelé « NDIF Khenchela ».

Le centre d'enfouissement technique (CET) de la commune de Baghai (Khenchela) est le premier équipement du genre dans cette wilaya. Il est entré en service en décembre 2010 en même temps que la fermeture de cinq décharges sauvages à Baghai, El-Hamma, N'sigha et El-Mehmel. Il est situé à 8 km du chef-lieu de wilaya. Ce CET offre à ces clients des six Communes : Khenchela, El Hamma, Mahmel, Baghai, Mtoussa et N'sigha un service de traitement des déchets dans les normes environnementales et en plein respect avec la loi 01-19 du 12-12-2001 relative à la gestion au contrôle et à l'élimination des déchets.



**Photographie 2** : Centre d'enfouissement technique Khenchela (C.E.T.)

### III.2.1.1. Procédés de traitement des déchets

#### Réception des déchets

Pour être admis dans l'installation de stockage les déchets doivent satisfaire :

\* Un contrôle de la qualité : C'est-à-dire la vérification des déchets autorisés. Il s'agit des ordures ménagères et assimilées, les déchets de service de nettoyage, les déchets des écoles, les déchets des bâtiments publics, les déchets des services d'administration et les déchets encombrants. Les déchets interdits sont : les déchets de soins, les déchets inertes (gravats) les cadavres d'animaux, les carcasses des véhicules, les déchets contaminés, les déchets industriels dangereux et les déchets liquides.

\* Un contrôle de la quantité : C'est-à-dire le pesage par pont de bascule au niveau du poste de contrôle, l'enregistrement et la délivrance d'un accusé de réception écrit pour chaque livraison admise sur le site.

Après la pesée les déchets sont triés. Cette opération vise à séparer la fraction plastique des autres fractions à savoir : le papier les textiles, les métaux et les verres et de séparer ensuite les différents types de matières plastiques par catégories (PEHD, PET clair, PEBD...etc).

La chaîne de tri est actuellement non fonctionnelle. Le tri se fait manuellement par des opérateurs.



**Photographie 3 :** Chaîne de tri des déchets plastiques

Après le processus de tri, le plastique est compressé en forme de balles, chaque type individuellement et séparé des autres types, à l'aide d'un compresseur hydraulique pour réduire la taille du plastique et faciliter son transport.



**Photographie 4 :** Presse hydraulique pour compresser les déchets



**Photographie 5 :** Plastique trié par catégorie et compressé en balles

Enfin, le plastique compressé est vendu au plus offrant par une vente aux enchères publiques selon les prix figurant sur le **tableau 1**.

**Tableau 1** : Les prix de vente du plastique

Type de plastique	Le prix Da/kg
Polyéthylène téréphtalates (Pet)	10 à 80
Polyéthylène à haute densité (PEHD)	40
Film plastique	80 à 90

### III.2.2. Unité Hepta recyclage

L'unité HEPTA recyclage est une entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée (EURL) privée constituée d'un seul associé. Responsable de récupération des matières non métalliques recyclables. Elle est située dans la zone Oulad Jebel, commune de Nsigha, district de Hamma, Etat de Khenchela, à côté de la route principale.



**Photographie 6** : L'unité de recyclage HEPTA

Les activités commerciales de cette entreprise sont

- ✓ Récupération des matières plastiques (PET et PEHD), et des caoutchoucs.
- ✓ Récupération des vieux papiers (fabrication de pâtes de papier recyclé à partir de vieux papiers, désencrage des vieux papiers...).
- ✓ Récupération de matières non métalliques à partir de déchets contenant des produits chimiques (surfaces sensibles, résidus de détartrage, etc...).
- ✓ Récupération des huiles usagées.

- ✓ Equarrissage.
- ✓ Récupération de verre.
- ✓ Récupération de déchets textiles.

Après une entrevue avec le directeur de l'entreprise, nous avons visité l'atelier pour mieux comprendre de principe du travail. Les étapes de l'opération de recyclage sont :

**La première étape :** consiste à collecter le plastique, que ce soit en l'achetant aux enchères publiques ou en l'achetant auprès des propriétaires du parc (parc de plastique) et auprès du grand public

**La deuxième étape :** est le processus de broyage du plastique pour obtenir des morceaux plus petits. Cette opération se déroule selon les étapes suivantes :

✓ Mettre les déchets plastique dans le tapis de tri mobile roulant. Les déchets sont triés manuellement par quatre ouvriers pour séparer les bouteilles en plastique des autres déchets.

✓ Le passage des bouteilles plastiques vers la déchiqueteuse, cette machine enlève le couvercle en verre plastique et le récupère automatiquement dans sa propre cage connectée à la machine.



**Photographie 7 :** Le tri manuel des déchets plastiques

✓ Les morceaux de plastique déchiquetés sont acheminés vers un broyeur où ils seront broyés en paillettes de taille similaire.

✓ Les paillettes de plastique sont acheminées vers le bassin de lavage qui est remplie de l'eau, l'agitation se fait grâce à 6 racleurs qui sont émergés dans le bassin. La température de lavage ne dépasse pas 30 °C à cause de la sensibilité des paillettes à la chaleur.

✓ L'essorage : à la sortie du bassin de lavage, les paillettes sont envoyées vers une centrifugeuse d'une vitesse (1480 rpm) et d'une capacité de 1 tonnes par heure, pour enlever tout le reste des impuretés (papier, terre,...).

✓ Les particules subissent ensuite un deuxième lavage pour assurer la propreté du produit puis un essorage de finition.



**Photographie 8 :** Broyage du plastique en paillettes, premier lavage et essorage des paillettes



**Photographie 9 :** Deuxième lavage et essorage de finition.

✓ Les particules essorées sont agitées mécaniquement par brassage et exposées à un air chaud, produit par des résistances électriques (sècheur) dont la température est réglée à 40°C. A la sortie, les paillettes sont dirigées vers la tête de récupération et de remplissage des big bag



**Photographie 10** : Séchage des paillettes de plastique

✓ Les matériaux finaux sont collectés dans des sacs spéciaux et acheminés vers des entreprises privées, où ils seront transformés en fibres polyester et ouate destinées à l'industrie textile et literie en générale, couettes matelas, salon fauteuils, poufs, oreillers, rembourrage des peluches,...etc



**Photographie 11** : Tête de récupération des paillettes et sac rempli du produit final

### III.3. Secteur informel du recyclage des déchets plastiques.

La défaillance des pouvoirs publics locaux, notamment dans le domaine de la valorisation des déchets, a créé un contexte favorable à l'émergence d'initiatives privées, portées par des acteurs locaux, essentiellement informels de valorisation des déchets plastiques.

En effet, sur le plan opérationnel, la collecte est pratiquée directement au niveau des dépôts de déchets ou des bacs à ordures. Les collecteurs sillonnent ainsi ces lieux très tôt le

matin avant le passage des camions de collecte des déchets du service communal. Face à la concurrence accrue dans la captation des déchets valorisables, de nouvelles stratégies de captations de ces flux de déchets plastiques, qui deviennent de plus en plus importants, se sont développées en milieu urbain : les récupérateurs placiers disposant d'une aire de ramassage de déchets plastiques instaurent une certaine relation avec les générateurs de déchets de l'aire en question.

Nous avons visité deux recycleurs informels à la commune d'El Mahmel, où ils collectent et achètent différents types de déchets plastiques.

Le premier collecte et achète principalement du PEHD, ensuite il pratique un tri manuel selon la couleur du plastique, puis il le passe dans une granuleuse artisanale et finalement le vend en granules à des entreprises privées où il sera transformé en d'autres matériaux plastiques. Les prix varient entre 70 et 100 Da/kg.



**Photographie 12** : Procédé de recyclage chez le premier recycleur

Le deuxième recycleur utilise un broyeur artisanal pour broyer les bouteilles en plastique en petits morceaux et vend le produit final aux entreprises qui les transforment en fibre polyester et ouate destinées à l'industrie textile et literie en générale, couettes matelas, salon fauteuils, poufs, oreillers, rembourrage des peluches,...etc



**Photographie 4** : Procédé de recyclage chez le deuxième recycleur

L'enquête a montré que les récupérateurs locaux enquêtés refusent d'acheter les déchets plastiques des CET de la wilaya pour deux raisons : l'impureté des déchets qui génère des coûts supplémentaires et le paiement de droit d'accès à ces CET pour y déposer les rebuts résultant du pré-tri des déchets achetés.

La seconde catégorie d'acteurs de cette filière correspond à des micro-entreprises, appelées des parcs de déchets (généralement informels) dits aussi des récupérateurs intermédiaires, qui rachètent aux collecteurs tous les déchets récupérés recyclables, pas uniquement les déchets plastiques, déjà pré-triés. A ce niveau, les déchets plastiques seront triés par couleur et par catégorie de plastique.

Il est admis que les récupérateurs informels pratiquent les activités de récupération des déchets plastiques dans un but purement lucratif, et cela au détriment parfois de leur santé. Ils se préoccupent moins de leur santé et de la préservation de l'environnement que de capter le maximum de déchets plastiques valorisables. En effet, l'observation sur le terrain montre que les récupérateurs travaillent dans des conditions sanitaires et hygiéniques déplorables. Ils sont sans cesse exposés aux risques sanitaires majeurs, notamment ceux qui font de la récupération sur le site des décharges et des CET. Il convient de noter également que parfois les déchets qui résultent de la récupération sont abandonnés sur des dépôts illégaux pour ne pas payer les droits d'accès aux CET d'ordre de 1000DZD/tonnes.

*Conclusion*  
*et perspectives*

### Conclusion et perspectives

La pollution causée par les polymères plastiques est une menace environnementale majeure, car ces matériaux mettent des centaines d'années à se décomposer, entraînant une accumulation massive de déchets. Ces plastiques contaminent les océans et les sols, perturbant les écosystèmes et mettant en danger la faune et la flore.

Les microplastiques, issus de la dégradation des plastiques, infiltrent les chaînes alimentaires et ont des effets néfastes sur la santé des animaux et des humains. Limiter les apports de déchets plastiques dans l'environnement constitue la première solution visant à améliorer l'état de nos mers et de nos océans. La règle des 3R basée sur la Réduction, la Réutilisation et le Recyclage doit être développée et suivie par tous les acteurs de la société (industriels, grands distributeurs, collectivités, citoyens, etc.). Dans cette perspective, il s'agit de réduire considérablement les pertes de plastiques, ce qui nécessite la mise en place d'efforts communs dans l'amélioration des infrastructures de collecte et de traitement dans les pays où les pertes sont importantes ; l'augmentation de l'attractivité économique et des performances des matériaux maintenus dans le système et enfin, la réduction de l'impact négatif des emballages plastiques qui échappent aux systèmes de collecte et de traitement.

La nouvelle économie des plastiques repose sur les principes de l'économie circulaire, c'est-à-dire sur un principe de production industrielle de restauration et de régénération des produits plastiques. Outre la réduction, cette approche favorise le recyclage et la réutilisation et tend à percevoir les produits en fin de vie comme une ressource destinée à être réinjecté dans un nouveau cycle industriel.

Les substituts au plastique ou les bioplastiques, fabriqués à partir de matières organiques renouvelables, offrent une alternative biodégradable prometteuse. Par ailleurs, l'adoption de produits réutilisables, tels que les sacs et les bouteilles, contribue significativement à réduire la consommation de plastiques à usage unique. En outre, améliorer les technologies de recyclage permet de valoriser les plastiques existants, diminuant ainsi le volume des déchets.

Toutefois, les défis demeurent, notamment en matière de coût et d'accessibilité des alternatives durables. Afin de pallier ces limitations, il est crucial de renforcer les politiques de réduction des plastiques et de sensibiliser le public aux impacts environnementaux. Promouvoir des comportements plus responsables et durables est essentiel pour atténuer l'impact des plastiques sur notre planète et préserver l'environnement pour les générations

futures. Il est impératif que la recherche continue d'explorer de nouvelles solutions et que les gouvernements, les entreprises et les citoyens collaborent pour mettre en œuvre des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Un large éventail d'actions a été mises en place par les gouvernements pour éliminer/réduire les déchets plastiques à usage unique. Les principaux obstacles, restent l'absence d'alternatives et le manque d'applications. D'où le développement du marché noir notamment pour les sacs plastiques.

Dans ce contexte, les pouvoirs publics algériens se penchent vers la prévention et la réduction des plastiques à usage unique. Une réduction progressive de l'utilisation est envisagée tout en promouvant les alternatives concernant les sacs plastiques, une telle démarche va donner le temps aux opérateurs de se redéployer, quant aux citoyens ils auront le temps de modifier leurs modes de consommation.

La valorisation des déchets plastiques pratiquée au niveau de la wilaya de Khenchela est la valorisation matière ou mécanique, qui repose sur la technique de la régénération utilisée pour les thermoplastiques (matières plastiques dominantes, telles que le PET, le PEHD, le PEBD, le PP, le PVC, etc.). A cet effet, des circuits d'acteurs formels et informels se sont mis en place, constituant des réseaux d'acteurs intervenant à plusieurs niveaux: la collecte, le tri et le stockage, la commercialisation et la transformation.

À la lumière de ce travail de recherche, on voit comme perspectives d'avenir :

- La recherche des microplastiques dans l'eau potable fournie aux habitants de la wilaya de khenchela.
- La recherche des microplastiques dans quelques légumes et fruits arrosées avec des eaux usées traitées.
- La recherche des microplastiques dans le sol surtout les terrains agricoles.

*References*

*bibliographiques*

### A

**Abrha, H., Cabrera, J., Dai, Y., Irfan, M., Toma, A., Jiao, S., & Liu, X. (2022).** Bio-based plastics production, impact and end of life: A literature review and content analysis. *Sustainability*, *14*(8), 4855.

**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.

**Andrady, A. L. (2011).** Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, *62*(8), 1596-1605

**Althoff, J., Hebert, J., Grisoni, A., Châtel, L., Benattar, L., & Buttin, G. (2020).** Atlas du plastique.

**Agence Nationale des Déchets. (AND). (2019).** “ Campagne de caractérisation des déchets ménagers et assimilés”. Algérie.

**Agence Nationale des Déchets. (AND). (2020).** Les déchets plastiques en Algérie, regard croisé sur les plastiques à usage unique. Quelles perspectives pour les déchets plastiques à usage unique en Algérie? ”.

**Addou, A. (2009).** Traitement des déchets: valorisation, élimination. *Ellipses*.

**Alhazmi, H., Almansour, F. H., & Aldhafeeri, Z. (2021).** Plastic waste management: A review of existing life cycle assessment studies. *Sustainability*, *13*(10), 5340.

**Ali, S. S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Zhu, D., Mahmoud, Y. A. G., Koutra, E., ... & Sun, J. (2021).** Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects. *Science of The Total Environment*, *780*, 146590.

**Ali, S. S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E. A., ... & Sun, J. (2021).** Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of The Total Environment*, *771*, 144719.

**Atiwesh, G., Mikhael, A., Parrish, C. C., Banoub, J., & Le, T. A. T. (2021).** Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon*, *7*(9).

**B**

**Beghetto, V., Sole, R., Buranello, C., Al-Abkal, M., & Facchin, M. (2021).** Recent advancements in plastic packaging recycling: A mini-review. *Materials*, 14(17), 4782.

**Bissagou Koumba, G. (2018).** Fragmentations chimique et physique de plastiques et microplastiques en eau douce sous irradiation UV-visible (Doctoral dissertation, *Université Clermont Auvergne* (2017-2020)).

**Bodor, A., Feigl, G., Kolossa, B., Mészáros, E., Laczi, K., Kovács, E., ... & Rákhely, G. (2024).** Soils in distress: The impacts and ecological risks of (micro) plastic pollution in the terrestrial environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269, 115807.

**Bucknall, D. G. (2020).** Plastics as a materials system in a circular economy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2176), 20190268.

**Bilal, H., Raza, H., Bibi, H., & Bibi, T. (2021).** Plastic biodegradation through insects and their symbionts microbes: a review. *Journal of Bioresource Management*, 8(4), 7.

**C**

**Catarino, A. I., Macchia, V., Sanderson, W. G., Thompson, R. C., & Henry, T. B. (2018).** Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental pollution*, 237, 675-684.

**Can-Güven, E. (2021).** Microplastics as emerging atmospheric pollutants: a review and bibliometric analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14(2), 203-215.

**Chen, G., Fu, Z., Yang, H., & Wang, J. (2020).** An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 130, 115981.

**Chouhan, S., Yadav, S. K., Prakash, J., Swati, & Singh, S. P. (2014).** Effect of Bisphenol A on human health and its degradation by microorganisms: a review. *Annals of microbiology*, 64, 13-21.

**Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020).** A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International journal of environmental research and public health*, 17(4), 1212.

**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

**Centre National de l'Informatique et des Statistiques (CNIS). 2020.** <https://www.cnis.fr/>

**Chow, J., Perez-Garcia, P., Dierkes, R., & Streit, W. R. (2023).** Microbial enzymes will offer limited solutions to the global plastic pollution crisis. *Microbial Biotechnology*, 16(2), 195-217.

**Cornejo-D'Ottone, M., Molina, V., Pavez, J., & Silva, N. (2020).** Greenhouse gas cycling by the plastisphere: The sleeper issue of plastic pollution. *Chemosphere*, 246, 125709.

### **D**

**Dhahak, A. (2019).** Modélisation chimique détaillée de la combustion de la biomasse dans les appareils de chauffage domestique en vue de réduire leurs émissions polluantes. (Detailed chemical modeling of biomass combustion in domestic heating appliances in order to reduce their polluting emissions) (*Doctoral dissertation, University of Lorraine, Nancy, France*).

**Desidery, L., & Lanotte, M. (2022).** Polymers and plastics: Types, properties, and manufacturing. In *Plastic waste for sustainable asphalt roads* (pp. 3-28). Woodhead Publishing.

**Delamarche, E. (2021).** Développement d'une méthodologie d'évaluation de la dégradabilité, dédiée à l'éco-conception. Application à des formulations à base de polyesters biosourcés et biodégradables (*Doctoral dissertation, Université de Lyon*).

**Degruson, M. L. (2016).** Biobased Polymer Packaging, Reference Module in Food Science.

**Deshoules, Q. (2020).** Influence du vieillissement des polymères sur la formation et le comportement des microplastiques en milieu marin (*Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest*).

**Ding, L., Zhang, S., Wang, X., Yang, X., Zhang, C., Qi, Y., & Guo, X. (2020).** The occurrence and distribution characteristics of microplastics in the agricultural soils of Shaanxi Province, in north-western China. *Science of the Total Environment*, 720, 137525.

**Dorbane-Nasri, N. (2023).** *La valorisation des déchets plastiques en Algérie comme stratégie durable. Approche en termes du triptyque acteurs/activités/ressources au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE DE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU).

### **E**

**Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC). 2020.** Évaluation scientifique de la pollution plastique. *Santé canada*.

**Eastman, C. B., Farrell, J. A., Whitmore, L., Rollinson Ramia, D. R., Thomas, R. S., Prine, J., ... & Duffy, D. J. (2020).** Plastic ingestion in post-hatchling sea turtles: assessing a major threat in Florida near shore waters. *Frontiers in Marine Science*, 7, 693.

### **F**

**Facciola, A., Visalli, G., Pruiti Ciarello, M., & Di Pietro, A. (2021).** Newly emerging airborne pollutants: current knowledge of health impact of micro and nanoplastics. *International journal of environmental research and public health*, 18(6), 2997.

**Fonty, G. (2021).** L'effet des plastiques sur les écosystèmes marins. *Numéros*, 2, 23.

### **G**

**Galgani, F., Bruzard, S., Duflos, G., Fabre, P., Gastaldi, E., Ghiglione, J., ... & Ter Halle, A. (2020).** Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. *Techniques de l'Ingénieur*.

**Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017).** Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.

**GRID-Arendal. (2021).** **From collection :** Drowning in Plastics: Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics.

**Gao, H., Liu, Q., Yan, C., Mancl, K., Gong, D., He, J., & Mei, X. (2022).** Macro-and/or microplastics as an emerging threat effect crop growth and soil health. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106549.

### H

**Harrison, R. M., & Hester, R. E. (Eds.). (2018).** *Plastics and the Environment. Royal Society of Chemistry.*

**He, L., & Liu, D. F. (2024).** *Emerging Challenges and Future Directions in Insect-Mediated Plastic Degradation.* *Environmental Science & Technology Letters.*

**Huang, W., Song, B., Liang, J., Niu, Q., Zeng, G., Shen, M., ... & Zhang, Y. (2021).** Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124187.

**Harris, P. T., Maes, T., Raubenheimer, K., & Walsh, J. P. (2023).** A marine plastic cloud-Global mass balance assessment of oceanic plastic pollution. *Continental Shelf Research*, 255, 104947

**Huang, J., Veksha, A., Chan, W. P., Giannis, A., & Lisak, G. (2022).** Chemical recycling of plastic waste for sustainable material management: A prospective review on catalysts and processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111866.

**Haque, F., & Fan, C. (2023).** Fate of microplastics under the influence of climate change. *Isience.*

**Hassan, T., Srivastwa, A. K., Sarkar, S., & Majumdar, G. (2022).** Characterization of plastics and polymers: A comprehensive study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1225, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.

### I

**Ilyas, M., Ahmad, W., Khan, H., Yousaf, S., Khan, K., & Nazir, S. (2018).** Plastic waste as a significant threat to environment—a systematic literature review. *Reviews on environmental health*, 33(4), 383-406.

### K

**Kedzierski, M. (2017).** *Pollutions du milieu littoral par les microplastiques: Méthodes d'évaluation (Doctoral dissertation, Lorient).*

**Kirstein, I. V., Wichels, A., Gullans, E., Krohne, G., & Gerdt, G. (2019).** The plastisphere—uncovering tightly attached plastic “specific” microorganisms. *PLoS One*, *14*(4), e0215859.

**Katyal, D., Kong, E., & Villanueva, J. (2020).** Microplastics in the environment: impact on human health and future mitigation strategies. *Environmental Health Review*, *63*(1), 27-31.

### L

**Lambert, S., Sinclair, C., & Boxall, A. (2013).** Occurrence, degradation, and effect of polymer-based materials in the environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, *Volume 227*, 1-53.

**Leal Filho, W., Salvia, A. L., Bonoli, A., Saari, U. A., Voronova, V., Klõga, M., ... & Barbir, J. (2021).** An assessment of attitudes towards plastics and bioplastics in Europe. *Science of the Total Environment*, *755*, 142732.

**Li, W., Zu, B., Yang, Q., Guo, J., & Li, J. (2023).** Sources, distribution, and environmental effects of microplastics: a systematic review. *RSC advances*, *13*(23), 15566-15574.

**Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., & Song, M. (2023).** Potential health impact of microplastics: a review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects. *Environment & Health*, *1*(4), 249-257.

**Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016).** Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the total environment*, *566*, 333-349.

### M

**Martínez-Narro, G., Hassan, S., & Phan, A. N. (2024).** Chemical recycling of plastic waste for sustainable polymer manufacturing-A critical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 112323.

**Mathur, A. B. (2003).** Testing and evaluation of plastics. *Allied Publishers*.

**McGain, F., McAlister, S., McGavin, A., & Story, D. (2010).** The financial and environmental costs of reusable and single-use plastic anaesthetic drug trays. *Anaesthesia and intensive care*, *38*(3), 538-544.

**Maxit, B. (2007).** Organisation de nanoparticules dans des phases ordonnées de copolymères diblocs amphiphiles (Doctoral dissertation, *Université Sciences et Technologies-Bordeaux I*).

**Ma, Y. B., Xie, Z. Y., Hamid, N., Tang, Q. P., Deng, J. Y., Luo, L., & Pei, D. S. (2023).** Recent advances in micro (nano) plastics in the environment: Distribution, health risks, challenges and future prospects. *Aquatic Toxicology*, 106597.

### N

**Nathanson, J. A. (2020).** Pollution environment. *Retrieved. Edited. Pollution*, 14-4.

### O

**Oehlmann, J., Schulte-Oehlmann, U., Kloas, W., Jagnytsch, O., Lutz, I., Kusk, K. O., ... & Tyler, C. R. (2009).** A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2047-2062.

**Organisation for Economic Cooperation and Development OCDE. (2023).** Perspectives mondiales des plastiques : Déterminants économiques, répercussions environnementales et possibilités d'action, *Éditions OCDE, Paris*, <https://doi.org/10.1787/5c7bba57-fr>.

**Ouassini, M. B. M. (2015).** Étude Des Polymères Par Dynamiques Moléculaire. p. *Université des Sciences et de la Technologie d'Ora*

### P

**Pan, D., Su, F., Liu, C., & Guo, Z. (2020).** Research progress for plastic waste management and manufacture of value-added products. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3, 443-461.

**Peng, B. Y., Sun, Y., Wu, Z., Chen, J., Shen, Z., Zhou, X., ... & Zhang, Y. (2022).** Biodegradation of polystyrene and low-density polyethylene by *Zophobas atratus* larvae: Fragmentation into microplastics, gut microbiota shift, and microbial functional enzymes. *Journal of Cleaner Production*, 367, 132987.

**Phuong, N. N. (2018).** Développements analytiques pour la caractérisation et la quantification de la contamination en microplastiques de matrices sédimentaires et biologiques: application aux zones conchylicoles des Pays de la Loire (*Doctoral dissertation, Nantes*).

**Pilapitiya, N. T., & Ratnayake, A. S. (2024).** The world of plastic waste: a review. *Cleaner Materials*, 100220.

**Plastics Europe. (2015).** Plastics the facts 2014/2015 : an analysis of European plastics production, demand and waste data. *Plastic Europe, Brussels.*

**Plastics Historical Society (PHS) (2010).** An Introduction to Plastics. In Plastics Historical Society. *Plastics Historical Society.*

**Prakash, S. (2017).** Impact of Plastic Pollution on Environment and Human Health: An Overview.

### R

**Rai, M., Pant, G., Pant, K., Aloo, B. N., Kumar, G., Singh, H. B., & Tripathi, V. (2023).** Microplastic pollution in terrestrial ecosystems and its interaction with other soil pollutants: a potential threat to soil ecosystem sustainability. *Resources, 12(6), 67.*

**Rahmani, M. (2023).** Solution to plastic waste in Algeria. *دراسات اقتصادية, 17(2), 12-33.*

**Reyne, M. (1998).** Les plastiques. Paris, Presses universitaires de France. 125 p.

**Ritchel, A. (2022).** Plastiques biodégradables: et si ce n'était pas une bonne solution pour l'environnement ? <https://www.chem4us.be/environnement/biodegradation/>

**Rossi, G., Barnoud, J., & Monticelli, L. (2014).** Polystyrene nanoparticles perturb lipid membranes. *The journal of physical chemistry letters, 5(1), 241-246.*

### S

**Saharan, R., & Kharb, J. (2022).** Exploration of Bioplastics:(A Review). *Oriental Journal of Chemistry, 38(4).*

**Soares, J., Miguel, I., Venâncio, C., Lopes, I., & Oliveira, M. (2021).** Public views on plastic pollution: Knowledge, perceived impacts, and pro-environmental behaviours. *Journal of hazardous materials, 412, 125227.*

**Shen, M., Song, B., Zeng, G., Zhang, Y., Huang, W., Wen, X., & Tang, W. (2020).** Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution?. *Environmental pollution, 263, 114469.*

**Sharma, S., Sharma, V., & Chatterjee, S. (2023).** Contribution of plastic and microplastic to global climate change and their conjoining impacts on the environment-A review. *Science of the total environment, 875, 162627*

**Simon, N., & Schulte, M. L. (2017).** En finir avec la pollution plastique mondiale: les arguments en faveur d'une convention internationale.

**Sokolova, T., Krishna, A., & Döring, T. (2023).** Paper meets plastic: The perceived environmental friendliness of product packaging. *Journal of Consumer Research*, 50(3), 468-491.

### **T**

**Tang, K. H. D. (2023).** Attitudes towards Plastic Pollution: A Review and Mitigations beyond Circular Economy. In *Waste* (Vol. 1, No. 2, pp. 569-587). MDPI.

**Tian, L., Jinjin, C., Ji, R., Ma, Y., & Yu, X. (2022).** Microplastics in agricultural soils: sources, effects, and their fate. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25, 100311.

**Thiunn, T., & Smith, R. C. (2020).** Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. *Journal of Polymer Science*, 58(10), 1347-1364.

**Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004).** Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.

**Torres-Agullo, A., Karanasiou, A., Moreno, T., & Lacorte, S. (2021).** Overview on the occurrence of microplastics in air and implications from the use of face masks during the COVID-19 pandemic. *Science of the total environment*, 800, 149555.

**Traore, B. (2018).** Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): Amélioration de la résistance par des charges en argiles (*Doctoral dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté; Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire)*).

### **W**

**Welden, N. A. (2020).** The environmental impacts of plastic pollution. In *Plastic waste and recycling* (pp. 195-222). Academic Press.

**Williams, A. T., & Rangel-Buitrago, N. (2022).** The past, present, and future of plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113429.

**Wahl, A., Le Juge, C., Davranche, M., El Hadri, H., Grassl, B., Reynaud, S., & Gigault, J. (2021).** Nanoplastic occurrence in a soil amended with plastic debris. *Chemosphere*, 262, 127784

**Wright, R. J., Langille, M. G., & Walker, T. R. (2021).** Food or just a free ride? A meta-analysis reveals the global diversity of the Plastisphere. *The ISME Journal*, 15(3), 789-806.

**Wu, J., Eduard, P., Thiyagarajan, S., Noordover, B. A., van Es, D. S., & Koning, C. E. (2015).** Semi-Aromatic Polyesters Based on a Carbohydrate-Derived Rigid Diol for Engineering Plastics. *ChemSusChem*, 8(1), 67-72.

### X

**Xu, J. L., Lin, X., Wang, J. J., & Gowen, A. A. (2022).** A review of potential human health impacts of micro-and nanoplastics exposure. *Science of the Total Environment*, 851, 158111.

### Y

**Yang, Y., Liu, W., Zhang, Z., Grossart, H. P., & Gadd, G. M. (2020).** Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments. *Applied microbiology and biotechnology*, 104, 6501-6511.

**Yang, X. G., Wen, P. P., Yang, Y. F., Jia, P. P., Li, W. G., & Pei, D. S. (2023).** *Plastic biodegradation by in vitro environmental microorganisms and in vivo gut microorganisms of insects.* *Frontiers in Microbiology*, 13, 1001750.

**Yu, H., Zhang, Y., Tan, W., & Zhang, Z. (2022).** Microplastics as an emerging environmental pollutant in agricultural soils: effects on ecosystems and human health. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 855292.

### Z

**Zhou, K., Liu, Q., Feng, J., Chang, T. et Liu, J. (2023).** *Performance environnementale globale du recyclage bouteille à bouteille de bouteilles PET basée sur un système de consigne-remboursement en Chine.* *Gestion des déchets*, 172, 90-100.

**Zhang, P., Liu, Y., Zhang, L., Xu, M., Gao, L., & Zhao, B. (2022).** *The interaction of micro/nano plastics and the environment: Effects of ecological corona on the toxicity to aquatic organisms.* *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 243, 113997.

### Les sites Web

Site 01: <https://miao.ensad.fr/2018/08/21/les-polymeres/>

Site 02 : <https://www.camerecole.org/classes/2304-les-matieres-plastiques.html>

Site 03 : <https://www.statista.com/statistics/report-content/statistic/281126>

Site 04 : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/le-plastique-veritable-menace-pour-la-faune-mondiale>

Site 05 : [https://www.afrik21.africa/algerie-une-initiative-permet-la-collecte-de-71-tonnes-de-dechets-dans-les-wilayas /](https://www.afrik21.africa/algerie-une-initiative-permet-la-collecte-de-71-tonnes-de-dechets-dans-les-wilayas/)

الأطروحة : البوليميرات البلاستيكية: مشاكل التلوث وحلول الاستبدال

اللقب والإسم : بضياف رحمة و مصابحية شيماء

المؤطر : أ.د. شرفي كلثوم

ملخص :

البلاستيكات، بسبب تنوع استخداماتها وتكلفتها المنخفضة، تعتبر شائعة في حياتنا اليومية. لكن، يؤدي تحملها الشديد إلى تلوث هائل، حيث تستمر النفايات البلاستيكية في البقاء في البيئة لقرون.

تشكل البلاستيكات الدقيقة التي تنتج عن تحلل البلاستيك أحد أنواع التلوث الأكثر انتشاراً في البيئة، و يؤثر التلوث بالبلاستيك الدقيقة بشكل كبير على النظم البيئية البرية والبحرية، مما يضر بالحياة البرية ويلوث التربة والمياه، وبالتالي يؤثر على الصحة البشرية.

الجزائر هي واحدة من أكبر مستهلكي البلاستيك في العالم، حيث تحتل المرتبة الثالثة عشرة عالمياً والخامسة على مستوى أفريقيا. والوضع مقلق، حيث يبلغ إنتاج النفايات البلاستيكية السنوية حوالي ١,٢ مليون طن، ولم يتم تدوير معظمها.

ولاية خنشلة هي منطقة معرضة للخطر بشكل مزدوج نتيجة لسيطرة البلديات الريفية والعمران غير المنظم، بالإضافة إلى الكثافة السكانية المرتفعة نسبياً. هذه الخصائص المحلية ستؤثر على إدارة البيئة بشكل عام وإدارة النفايات البلاستيكية بشكل خاص.

لتقييم وإعادة تدوير النفايات البلاستيكية، تم تأسيس دوائر للفاعلين الرسميين وغير الرسميين (مثل معاد تدوير في بلدية المحمل)، مما يشكل شبكات للفاعلين الذين يعملون على مستويات مختلفة: جمع النفايات وفرزها وتخزينها وتسويقها وتحويلها.

الفاعلين الرسميين هم المركز التقني للتخلص من النفايات في بغاي وشركة هيبنا لإعادة التدوير. يركز المركز الأول بشكل رئيسي على إدارة النفايات البلاستيكية، في حين تظل جهود إعادة التدوير محدودة. ومع ذلك، تلعب شركة هيبنا لإعادة التدوير، والتي تقع أيضاً في

المنطقة، دوراً رائداً في مجال إعادة تدوير البلاستيك، مما يقلل من كمية النفايات البلاستيكية التي يتم إرسالها إلى المكب. تعمل هيبنا لإعادة التدوير بالتعاون مع السلطات المحلية والمجتمعات لتوعية الناس بأهمية إعادة التدوير وتعزيز الممارسات المستدامة.

يعتبر تطوير بنية إعادة التدويرية في المركز التقني للتخلص من النفايات في بغاي، بالإضافة إلى مبادرات الشركات مثل هيبنا لإعادة التدوير، أمراً حاسماً لإدارة النفايات البلاستيكية بشكل أكثر استدامة في خنشلة.

كلمات مفتاحية : بلاستيك، نفايات، تلوث، إعادة تدوير، ميكروبلستيك

**Thesis: Plastic polymer pollution issues and replacement solutions**

**First name and Name : Beddiah Rahma - Messabhia Chaima**

**Directed by: CHORFI Keltoum**

**Abstract:**

Plastics, due to their versatility and low cost, are ubiquitous in our daily lives.

However, their extreme durability leads to massive pollution, with plastic waste persisting in the environment for centuries. Microplastics resulting from plastic degradation are the most prevalent type in the environment, severely affecting terrestrial and marine ecosystems, harming wildlife, and contaminating soils and waters, thus impacting human health.

Algeria is one of the world's largest consumers of plastic, ranking 13th globally and 5th in Africa. The situation is concerning, with an annual production of approximately 1.2 million tons of plastic waste, most of which is not recycled.

The wilaya of Khenchela is a territory doubly vulnerable due to the dominance of rural municipalities and poorly managed urbanization, coupled with a relatively high population density. These local specificities will undoubtedly impact environmental management in general and plastic waste management in particular.

For the valorization and recycling of plastic waste, formal and informal actor networks (recyclers in the El Mahmel municipality) have been established, operating at multiple levels: collection, sorting and storage, marketing, and transformation.

Formal circuits are represented by the Technical Landfill Center (TLC) in Baghai and the company HEPTA Recycling. The former primarily focuses on plastic waste management, while recycling efforts remain limited. However, HEPTA Recycling, also located in the region, plays a pioneering role in plastic recycling, thus reducing the quantity of plastic waste sent to landfills. HEPTA Recycling collaborates with local authorities and communities to raise awareness of the importance of recycling and promote sustainable practices.

The development of recycling infrastructure at the TLC in Baghai, combined with initiatives from companies like HEPTA Recycling, is crucial for more sustainable plastic waste management in Khenchela.

**Keywords:** Plastics, Waste, Pollution, Recycling, Microplastics