

Université A.MIRA de Bejaïa

Faculté des Sciences Exactes

Département de Chimie



Polycopié de cours

Prévention et gestion des déchets plastiques



GRABA Zahra épouse BENKHODJA

PREFACE

Le présent polycopié de cours intitulé «Prévention et gestion des déchets plastiques» est le fruit de l'enseignement du cours de « Prévention et gestion des déchets » que j'ai assuré aux étudiants de Doctorat 3^{ème} Cycle LMD, Spécialité Chimie de l'environnement. Il est destiné principalement aux étudiants des niveaux licence, master et doctorat en chimie et en biologie dans le domaine de l'environnement.

Ce présent polycopié de cours est consacré notamment à l'impact des déchets plastiques sur la santé humaine, sur la vie terrestre, sur la vie marine ainsi que sur les méthodes de prévention et traitement (recyclage, incinération....).

Le présent travail est structuré en quatre chapitres portant sur des généralités sur les plastiques, les déchets plastiques, la gestion des déchets plastiques et les déchets plastiques en Algérie.

SOMMAIRE

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les plastiques

I.1. Historique.....	3
I.2. Définition.....	3
I.3. Classification.....	4
I.3.1. Les thermoplastiques.....	4
I.3.2. Les thermodurcissables.....	5
I.3.3. Les élastomères.....	5
I.4. Types de plastiques.....	5
I.5. Principales caractéristiques de la matière plastique.....	7
I.5.1. Caractéristiques chimiques.....	7
I.5.2. Caractéristiques physiques.....	7
I.6. Domaines d'application.....	7
I.7. Avantages du plastique.....	9
I.7.1. Les grands avantages économiques.....	11
I.8. Les bienfaits pour l'environnement.....	11
I.9. Les nouvelles vies des plastiques.....	12

Chapitre II : Les déchets plastiques

II.1. Définition d'un déchet.....	13
II.2. Approches environnementale, sanitaire et économique des déchets.....	13
II.2.1. Approche environnementale et sanitaire.....	13
II.2.2. Approche économique.....	13
II.3. Généralités sur les déchets plastiques.....	14
II.3.1. Sources de déchets plastiques.....	14
II.3.1.1. Déchets plastiques post-industriels.....	15
II.3.1.1.1. Production de polymères.....	15

II.3.1.1.2. Mélanges de polymères.....	16
II.3.1.1.3. Assemblage ou installation de composants plastiques.....	16
II.3.1.2. Déchets plastiques post-consommation.....	16
II.3.1.3. Résidus urbains et ménagers.....	17
II.3.1.4. Déchets plastiques de la distribution et de la grande industrie.....	18
II.3.1.5. Déchets plastiques agricoles.....	18
II.3.2. Classification des déchets plastiques.....	18
II.3.3. Inconvénients des matières plastiques.....	19
II.3.4. Dangers des plastiques.....	19
II.3.4.1. Dangers des plastiques sur la santé humaine.....	19
II.3.4.2. Dangers des plastiques sur la vie terrestre.....	20
II.3.4.3. Dangers des plastiques sur la vie marine.....	21

Chapitre III : Gestion des déchets plastiques

III.1. Biodégradation.....	22
III.2. Dégradation par la lumière (photo dégradation).....	24
III.3. Dégradation par l'eau (hydrolyse).....	25
III.3.1. Hydrolyse chimique.....	25
III.4. Problématique environnementale.....	25
III.5. Modes d'élimination des déchets plastiques.....	25
III.5.1. Le recyclage.....	26
III.5.1.1. Définition du recyclage.....	27
III.5.1.2. But du recyclage des déchets.....	27
III.5.1.3. Etapes du recyclage.....	27
III.5.1.4. Avantages du recyclage.....	29
III.5.1.5. Inconvénients du recyclage.....	30
III.5.1.6. Le recyclage et le développement durable.....	30
III.5.1.7. Les types de matières plastiques recyclables et recyclés.....	31
III.5.1.8. Les différents types de recyclage du plastique.....	32
III.5.1.8.1. Recyclage primaire ou ré-extrusion.....	33
III.5.1.8.2. Recyclage mécanique.....	33
III.5.1.8.3. Le recyclage chimique.....	34
III.5.1.8.3.1. Avantages et inconvénients.....	35

III.5.1.8.4. Recyclage énergétique.....	36
III.5.1.9. Impacts du recyclage sur l'environnement.....	36
III.5.1.10. La collecte et le recyclage	37
III.5.2. L'incinération.....	38
III.5.2.1. Revalorisation énergétique par incinération.....	38
III.5.2.2. Etapes de l'incinération.....	38
III.5.2.3. Pouvoir calorifique des matériaux plastiques.....	39
III.5.2.4. Avantages et inconvénients de l'incinération.....	39
III.6. Les bioplastiques.....	40
III.6.1. Avantages de l'utilisation des bioplastiques.....	40
III.6.3. Applications des bioplastiques.....	41

Chapitre IV : Les déchets plastiques en Algérie

IV.1. Cadre réglementaire.....	43
IV.2. Consommation des plastiques en Algérie.....	44
IV.2.1. Les plastiques à usage unique dans les DMA.....	44
IV.2.2. Les plastiques à usage unique dans les plages.....	44
IV.3. Recyclage.....	46
IV.4. Politiques internationales des plastiques à usage unique.....	46

Conclusion et perspectives.....	48
----------------------------------------	-----------

Références bibliographiques

Introduction

La pollution est un phénomène qui existe depuis longtemps, causé par les pratiques nuisibles et agressives de l'homme. Ces dernières sont de plus en plus répandues et proportionnelles au développement et à la croissance des différentes activités industrielles, et leurs effets affectent tous les milieux, terrestres et marins. Parmi les diverses perturbations anthropiques affectant l'environnement, on peut citer la pollution par les matériaux plastiques.

L'importante croissance de la demande et donc la production de plastique a entraîné une augmentation, à l'échelle mondiale de 1,7 à 311 millions de tonnes de déchets en un demi-siècle en Europe (20,4 % de la production mondiale en 2013). La quantité de plastique produite dans le monde est aujourd'hui 170 fois supérieure à ce qu'elle était il y a soixante ans, à savoir 288 millions de tonnes par an. En 2018, l'Organisation des Nations Unies (ONU) pour l'environnement a publié un rapport sur le plastique. Elle y dresse un constat alarmant sur la consommation mondiale des emballages et des sacs en plastique et propose une feuille de route pour les gouvernements, les entreprises et les citoyens afin d'enrayer la pollution causée par ce matériau. Selon les chiffres de l'ONU, environ 5000 milliards de sacs en plastique sont consommés chaque année dans le monde, soit 10 millions de sacs par minute. Or, seulement 9 % des 9 milliards de tonnes de plastique produit sur terre sont recyclées. Le reste est jeté soit dans des décharges soit dans la nature, les mers et les océans, causant ainsi un véritable fléau mondial. L'Algérie, cinquième consommateur des sacs en plastique dans le monde, a toujours des difficultés pour la gestion optimale de ses déchets. Selon le dernier rapport de l'Agence Nationale des Déchets (AND), les déchets en plastique sont les plus fréquents, ce qui représente un fléau pour la biodiversité et pour la faune marine.

Le plastique est une matière qui présente aujourd'hui, de nombreux enjeux environnementaux, liés d'une part à la consommation de ressources qu'il requiert pour sa fabrication et, d'autre part, à la production de déchets qu'il entraîne du fait de sa courte durée de vie.

Aujourd'hui 6 % de la production de pétrole au niveau mondial est utilisée pour produire du plastique. On estime que ce chiffre sera de 20 % en 2050. La tendance actuelle des investissements en matière d'installations de production de plastique révèle une logique absurde, où la production de plastique n'est plus justifiée par un besoin réel mais par la disponibilité de matières fossiles à bas prix.

Il est important de noter qu'environ 5 billions de sacs plastiques sont utilisés chaque année. Ils sont répartis comme suit :

- 13 millions de tonnes de plastique se retrouvent dans les océans chaque année ;
- 17 millions de barils de pétrole sont utilisés pour la production de plastique chaque année ;
- 1 million de bouteilles en plastique sont achetées chaque minute ;
- 100 000 animaux marins sont tués en raison de la pollution par les plastiques chaque année ;
- 50 % des plastiques utilisés pour la consommation sont à usage unique.

Cette situation fait du plastique une matière fortement émettrice de gaz à effet de serre. La Commission Européenne estime ainsi que la production et l'incinération du plastique est responsable de l'émission de 400 millions de tonnes de CO₂ dans le monde chaque année, soit l'équivalent des émissions annuelles d'un pays comme la France, tous secteurs confondus.

Les plastiques sont parfois abandonnés ou rejetés dans la nature, où ils mettent entre 100 et 1000 ans à disparaître complètement. Les déchets plastiques abandonnés dans la nature terminent leur vie dans les océans. Cette situation a des conséquences désastreuses sur la flore et la faune marine pour laquelle les déchets plastiques sont sources de mortalité ou de maladies, par suffocations, enchevêtrements ou intoxications. Une fois dans l'océan, les plastiques se fragmentent et deviennent des micro-plastiques (diamètre inférieur à 5 mm) et des nano-plastiques (inférieur à un demi-millimètre), qui sont si petits qu'ils peuvent pénétrer les membranes cellulaires des animaux marins. Ces débris invisibles intègrent notre chaîne alimentaire, ingérés par des poissons. Un déchet plastique mesurant quelques millimètres produit ainsi 1000 milliards de nanoparticules de 100 nanomètres.

Chapitre I

Généralités sur les plastiques

I.1. Historique

L'histoire du plastique débute en 1838 lorsque 'Henri Regnault synthétise du polychlorure de vinyle pour la première fois. Cependant, cette découverte n'est pas approfondie. C'est en 1869 que les frères Hyatt mettent au point le celluloïd, considéré comme la toute première matière plastique artificielle. Le polychlorure de vinyle (PVC) est inventé en 1880. En 1889, le chimiste français Jean-Jacques Trillat obtient de la galalithe en durcissant la caséine du lait. Cette matière, plus dure que la corne, sera ensuite utilisée pour fabriquer les boules de billard ainsi que d'autres articles courants (boutons, bijoux fantaisie, stylos). C'est en 1890 que les Britanniques Cross et Bewan découvrent la viscose en dissolvant de l'acétate de cellulose dans du chloroforme. La découverte de la bakélite par le Belge Leo Hendrik Baekeland datant de 1907 est suivie par celle de la cellophane en 1908. En 1927 apparaît le poly-méthacrylate de méthyle (PMMA), commercialisé sous les noms de plexiglas et d'altuglas. En 1930, Wallace Carothers invente le polystyrène et le polyamide, qui fut le premier plastique technique à haute performance. Les découvertes s'enchaînent rapidement avec le polyéthylène basse densité en 1933, le poly-tétrafluoréthylène, commercialisé sous le nom de téflon en 1938 et le polyuréthane en 1940. La mélamine et la silicone font leur apparition en 1941, alors même que la production du caoutchouc synthétique prend son essor pour répondre aux besoins des pays en guerre. En 1953 le polyéthylène haute densité est mis au point par le chimiste allemand Karl Ziegler. L'année suivante, le chimiste italien Giulio Natta invente le polypropylène. En 1963, ils obtiennent le Prix Nobel de chimie pour leur étude sur le polymère. En l'an 2000, le polyéthylène et le polypropylène, sont les matières plastiques les plus produites. L'ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrene), plus résistant et plus brillant, remplace progressivement la mélamine et est utilisé pour l'emballage, la fabrication d'équipements électroménagers ou d'accessoires de salle de bains. Le Kevlar, matériau plastique inventé dans les années 1990, est un polyamide très résistant aux chocs et au feu. Il est utilisé pour la fabrication des gilets pare-balles ainsi que des vitres pare-balles, et pour celle des casques, des vestes des sapeurs-pompiers ou des gants de cuisine.

I.2. Définition

Le terme « plastique » provient du latin plasticus, « relatif au modelage », emprunté du terme grec plastikos, « malléable, qui sert à modeler ». La matière plastique se définit de la manière

suivante : « matière synthétique, constituée de macromolécules obtenues par polymérisation ou polycondensation et qui peut être moulée ou modelée ». La définition du terme plastique ramène prioritairement à la notion de mise en forme : qui a le pouvoir de donner la forme. En effet, le terme plastique, a d'abord été employé en tant qu'adjectif qui vise la reproduction ou la création de formes par modelage, se rapprochant de l'expression art plastique. Ainsi, le terme plastique semble avoir été depuis toujours associé à la mise en forme. Il est à noter que le terme plastique, utilisé comme nom commun, constitue une ellipse de matière plastique.

Dans le domaine de la chimie, plusieurs définitions sont proposées. Des définitions partielles, très larges et incomplètes, sont données : n'importe quelle matière qui peut être chauffée ou moulée et qui conserve sa forme une fois refroidie est un plastique ou matière intrinsèquement sans forme pouvant être moulée ou modelée sous la chaleur et/ou la pression.

I.3. Classification

Il existe plusieurs modes de classification des plastiques. Ils sont classés selon divers critères : On peut citer : les thermoplastiques, Les thermodurcissables et les élastomères.

I.3.1. Les thermoplastiques

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles (physiques) qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes. Elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme, ils représentent 80 % des matières plastiques consommées en Europe en 2000 soit plus de 35 millions de tonnes avant leur transformation. Ils sont sous forme de granulés ou de poudres dans un état chimique stable et définitif car il n'y a pas de modification chimique lors de la mise en forme. Les granulés sont chauffés puis moulés par injection et le matériau broyé est réutilisable.

Exemples : le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) (sacs, les bouteilles, etc.).

I.3.2. Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent. Les molécules de ces polymères sont organisées sous forme de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes. Les thermodurcissables représentent 20 % des matières plastiques consommées en Europe en 2000 soit environ 10 millions de tonnes. Les plus connus sont les polyuréthanes, les polyesters, les phénoplastes, les aminoplastes, les élastomères, les résines époxydes et phénoliques. Au départ, les thermodurcissables se présentent sous forme de poudres ou de résines qui subissent une transformation chimique au cours de leur chauffage, de leur refroidissement ou par l'action de durcisseurs.

Exemples : polyurethane (poignées des casseroles, four, etc.).

I.3.3. Les élastomères

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes. Sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer. Pour que le matériau de base présente une bonne élasticité, il doit subir une vulcanisation. C'est un procédé de cuisson et de durcissement qui permet de créer un réseau tridimensionnel plus ou moins rigide sans supprimer la flexibilité des chaînes moléculaires. On introduit dans l'élastomère au cours de la vulcanisation du soufre, du carbone et de différents agents chimiques. Différentes formulations permettent de produire des caoutchoucs de synthèse en vue d'utilisations spécifiques. Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants, des semelles de chaussures ou des pneus.

Exemple : le caoutchouc naturel (pneus des voitures).

I.4. Types de plastiques

Généralement, il n'est plus possible de reconnaître et de trier les plastiques au premier coup d'œil. Le moyen le plus simple pour reconnaître un plastique est d'utiliser si possible le code d'identification des résines. On peut aussi utiliser un dispositif Infra-rouge (IR). Des systèmes

d'identification ont été développés par la société de l'industrie plastique du Canada dans l'objectif de défavoriser le tri et le recyclage des bouteilles et contenants en plastique. Repris en Allemagne, puis en Europe, son application est volontaire de la part des fabricants. Il existe environ 20 types de plastiques : près de 20 types de plastiques. Chacun d'eux comprend de nombreux grades permettant de conférer des propriétés précises en fonction de l'application choisie. Ce sont les familles d'utilisation courante telles que : Le Polystyrène (PS), le Polypropylène (pp), le Polychlorure de vinyle (PVC), le Polyéthylène (PE), le Polytétrafluoroéthylène (PTFE, teflon), le Polyéthylène basse densité (PELD) et le Polyéthylène haute densité (PEHD).

a. Le Polystyrène (PS) : $(\text{CH}_2\text{-CH- C}_6\text{H}_5)_n$

Se prête facilement au moulage et l'extrusion. Il est utilisé pour les objets domestiques, les éléments électriques et les peintures. Le PS expansé (obtenu en réchauffant les granulés de PS contenant un agent gonflant) est utilisé dans l'isolation thermique.

b. Le Polypropylène (PP) : $(\text{-CH}_2\text{-CH (CH}_3\text{)-})_n$

Est dur et insoluble dans n'importe quel solvant organique. Il est caractérisé par une haute résistance mécanique et chimique au-dessus de 100°C. Il est utilisé pour les appareils sanitaires et les conduites d'eau et il est fortement utilisé dans la construction automobile et pour les emballages alimentaires.

c. Le Polychlorure de vinyle (PVC) : $(\text{-CH}_2\text{-CH(Cl)-})_n$

Il est dur, inflammable, résistant aux acides et bases. Il se ramollit à une température de 80°C. On lui adjoint souvent des plastifiants pour former des produits rigides, semi-rigides flexibles ou élastiques (selon la quantité). Il est utilisé pour les tuyauteries d'eau potable ou usée et pour les gaines de ventilation.

d. Le Polyéthylène (PE) : $(\text{-CH}_2\text{-})_n$

Il est utilisé pour la fabrication de feuilles barrières, récipients domestiques, canalisation des eaux usées. Il est fragilisé par les rayons UV.

e. Le Polytétrafluoroéthylène (PTFE, teflon)

Il est caractérisé par une grande stabilité, il a une faible friction mécanique et il est peu inflammable. Il est utilisé comme ruban dans les joints de tuyaux, mélangé avec des fibres de verre dans des toitures.

f. Le Polyéthylène basse densité (PELD)

On le trouve souvent sous forme de film plutôt que de récipient. Il n'est pas recyclé. LE PELD s'écrit parfois plus simplement PE. Exemple : Films plastiques souples, Récipients souples

g. Le Polyéthylène haute densité (PEHD)

Le HDPE ou PEHD est recyclable. Exemple : Bouteilles (lait et jus de fruits), et jerricans en plastiques.

I.5. Principales caractéristiques de la matière plastique**I.5.1. Caractéristiques chimiques**

Les matières plastiques sont constituées d'enchaînements de séquences identiques (ou polymères) de molécules carbonées. Leurs principales propriétés comprennent la flexibilité, la résistance à la corrosion, la résistance au choc ainsi qu'une imperméabilité à l'air et à l'eau.

I.5.2. Caractéristiques physiques

Les plastiques, présentent une haute résistance au vieillissement et une biodégradation minimale. En effet, ils se fragilisent très lentement en se fragmentant en de petites particules (micro-plastiques). Ils sont omniprésents et leur persistance amène à leur accumulation dans l'environnement.

I.6. Domaines d'application

Le plastique est connu pour être un matériau polyvalent, léger, solide, transparent, idéal pour une variété d'applications. Il a remplacé beaucoup d'autres matériaux comme le verre, le bois...etc. Les applications des plastiques sont nombreuses et variées. Les matières plastiques les plus utilisées ainsi que leurs secteurs d'applications sont présentés dans le tableau 1. Les secteurs les plus demandeurs sont l'emballage (39,9 %), l'aménagement et la construction (19,8 %) et l'automobile (9,9 %). Le tableau 1, montre que les matières plastiques sont omniprésentes dans notre quotidien et sont devenues indispensables. L'augmentation de la consommation des

plastiques a soulevé la problématique du traitement des matières après leur utilisation. Dans les années 1970, les premiers rapports sur la pollution plastique dans les océans sont publiés. Depuis ces années, cette problématique ne cesse de s'accroître. Après leur utilisation, en Europe, une partie des plastiques sont collectés (42,6 %), soit pour produire de l'énergie (32,5 %), soit pour être recyclés (24,9 %), ou soit pour être stockés dans des décharges. La part non collectée (57,4 %) est considérée comme abandonnée.

Tableau 1 : Les différents types de polymères, leurs densités et leurs utilisations.

Type de polymère	Densité	Utilisations
Polyéthylène (PE)	0,917–0,965	Basse densité bouteilles, jouets, sacs, plastiques, revêtements, emballages, tubes pour le transport du gaz ou de l'eau, haute densité : jouets, articles de ménage et de cuisine, isolants électriques, sacs plastiques, emballages alimentaires.
Polypropylène (PP)	0,9–0,91	Récipients alimentaires type Tupperware, industrie automobile
Polychlorure de vinyle (PVC)	1,16–1,58	Bâtiments, transport, emballages, électronique et domaine médical
Polytéréphtalates d'éthylène (PET)	1,37–1,45	Bouteilles, barquettes pour plats cuisinés allant au four
Polystyrène (PS)	1,04–1,1	Emballages alimentaires, Emballages
Polyuréthane (PUR)	1,20	Rouleaux d'impression, pneus, semelles de chaussures, pare-chocs, matelas, siège auto, usages biomédicaux
Polycarbonate (PC)	1,01-1,08	Bouteilles, récipients, appareils électriques, usages médicaux.
Polyméthylpentène (PMP)	0,9-1,2	Matériel médical, seringues, abat-jour, radars, emballages alimentaires allant aux micro-ondes
Polytétrafluoroéthylène (PTFE)	1,1-1,2	Revêtements antiadhésifs, joints, usages électriques et médicaux,

		matériel de laboratoire, pièces de pompes.
Polysulfure de phénylène (PPS)	0,8-0,92	Utilisations dans l'électronique, la cuisine, et l'automobile, matériel de laboratoire.
Polyisoprène (NR)	1,2-1,85	Gants, pneus, bottes, élastiques, gommes, tuyaux, usages médicaux.
Polybutadiène (BR)	1,20-1,32	Pneus, balles de golf, intérieur des tuyaux
Acrylonitrile butadiène Styrène (ABS)	0,8-1,04	Instruments de musique, bordures de cordon, usages électriques et médicaux, casques, canoës, appareils de cuisine, jouets.
Styrène butadiène	1,0-1,2	Pneus, chaussures, bâtiments, enduction du papier
Polyhydroxyalcanoate (PHA)	1,04-1,51	Appareils médicaux
Nylon	1,02-1,05	Agent d'étoffement, contrôle de viscosité, opacifiant (crème antiride)
Polyvinyle d'alcool (PVA)	1,16-1,30	Film, papier, containers

I.7. Avantages du plastique

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent particulièrement :

- Sa polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques ;
- Son poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport ;
- Sa bonne sécurité d'hygiène pour les emballages alimentaires ;
- Sa longévité et sa durabilité ;
- Sa résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact ;
- Ses excellentes propriétés d'isolation thermique et électrique ;

- Son coût de production relativement bas ;
- Sa capacité de se combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium et le papier ;
- C'est un matériau de choix pour l'utilisation de tous les jours, style de vie humain et matière plastique son actuellement inséparables.

Durabilité : Le plastique présente un cycle de vie plus élevé que les autres alternatives (carton ou bois), ce qui entraîne un meilleur impact environnemental et économique en réduisant le nombre d'unités nécessaires au fil du temps.

Recyclable : Indique que le produit a été ÉCO dessiné et peut être déconstruit à la fin de sa vie utile, pour permettre son recyclage tout en évitant la création de nouveaux résidus.

Hygiène : Ils sont imperméables à l'eau, de sorte qu'ils peuvent être lavés après chaque utilisation. Ils n'absorbent pas les bactéries ou les parasites et sont idéaux pour des exportations sûres. N'étant pas nécessaire l'utilisation de traitements supplémentaires pour la conformité avec ISPM-15 (International Standards For Phytosanitary Measures 15).

Légereté : Ils sont légers par rapport à d'autres alternatives (bois ou métal), ce qui se traduit par des économies de l'utilisation des combustibles fossiles et des émissions de CO₂ tant pendant la production que dans le transport.

Inaltérable : Ils sont inaltérables en poids et en forme. Contrairement à d'autres alternatives, ils n'absorbent pas l'eau ou l'humidité.

Manipulation : Dès la phase de conception, les produits sont conçus pour être ergonomiques et faciles à manipuler. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des gants pour les manipuler car ils n'ont ni éclats ni éléments pointus.

Esthétique : Ils rendent un meilleur impact visuel du linéaire aidant à améliorer l'expérience de magasinage et de générer un environnement plus propre sur le point de vente.

Entretien : Ils sont plus résistants à l'usure que les autres alternatives (bois ou carton) et, composés de moins de composants et sont plus faciles à classer et à entretenir.

Nettoyage : Moins d'entretien des installations, car ils minimisent les déchets générés lors de la manipulation (éclats ou fragments) sur les lignes de production et/ou les points de vente.

Réparation : Quelques produits sont réparables, ce qui permet d'augmenter leur cycle de vie en remplaçant certaines de leurs pièces.

Optimisation : Quelques produits sont emboîtables ou pliables, ce qui entraîne une optimisation de l'espace de stockage et de transport sous vide.

I.7.1. Les grands avantages économiques

Cette croissance rapide de l'utilisation des plastiques interpelle néanmoins pour plusieurs raisons : une matière première non renouvelable (des hydrocarbures), un impact négatif sur l'environnement et une faible intégration dans une économie circulaire. À cet égard, la comparaison des courbes de la production mondiale des plastiques et de l'acier semble pleine d'enseignements. Si, de 1950 jusqu'aux années 1970, les deux courbes ont crû de façon parallèle, la production d'acier s'est stabilisée à partir de cette date alors que celle des plastiques a poursuivi sa croissance inexorable. Ainsi, en 1989, des produits en volume (mais pas en poids) autant de plastiques que d'acier. Un des facteurs déterminants de cette stabilisation de la courbe de l'acier résulte des efforts qui ont été entrepris pour le recycler. Aux États-Unis, 72% de l'acier est produit à partir de la ferraille récupérée, tandis que seulement 9 % des plastiques étaient recyclés en 2017. Le fort taux de recyclage de l'acier a été rendu possible par une organisation du marché de la ferraille et par le développement des fours à arc électrique permettant de produire de l'acier, y compris de haute performance, en utilisant de la ferraille. A contrario, la forte production d'acier par la Chine, sans recours significatif à la ferraille récupérée, a provoqué à partir de l'année 2000 la très vive reprise de la croissance de la production mondiale. Il est donc essentiel d'examiner les voies qui pourraient conduire à une économie des plastiques plus maîtrisée, permettant d'accompagner les besoins des pays émergents dans le cadre de leur développement et de répondre aux besoins essentiels des pays industrialisés sans mettre en danger les écosystèmes et la santé des humains.

I.8. Les bienfaits pour l'environnement

Les nouveaux plastiques sont toujours plus respectueux de l'environnement (recyclage et biodégradabilité améliorés), moins dépendants du pétrole (réduction de coût), thermostables (qui résiste à une élévation de la température), plus transparents, de moins en moins fragile (les nouveaux sacs plastiques peuvent donc porter une charge plus lourde), ininflammables et surtout irremplaçables. Les plastiques sont des matériaux souples et facilement transformables comparés à d'autres matériaux tels que le verre.

I.9. Les nouvelles vies des plastiques

Si le plastique n'existait pas, il faudrait l'inventer ! Facile à mettre en forme, résistant aux chocs, à l'humidité, aux détergents, aux changements de température, biocompatible, malléable à souhait, coloré, moins cher que d'autres matériaux, le plastique, ou plutôt les plastiques ont tout

envahi sur notre planète : nos magasins, nos véhicules, notre corps, nos habitations, nos océans, nos sols, notre eau, nos aliments, etc..

Dans l'industrie du textile, il existe toute une génération de fibres synthétiques, dont plus de 60 % sont à base de plastique. Plus économiques, ils rendent aussi les tissus plus performants et plus innovants.

L'élasthane par exemple, s'est imposé dans les vêtements de sport grâce à son élasticité. Aujourd'hui, on fabrique même des tissus synthétiques bi-élastiques capables d'allongements multidimensionnels qui épousent encore mieux les mouvements du corps, stimulent la circulation sanguine et améliorent l'oxygénation.

Tout aussi pratique, certaines de ces fibres permettent aussi de stocker ou de restituer la chaleur. Résistant à des températures extrêmes, le plastique est un vrai levier en termes de sécurité. La plupart d'entre eux supportent jusqu'à 200°C, un niveau suffisant pour les usages courants. Certains conservent même leurs performances jusqu'à 350 °C, comme ceux utilisés dans la fabrication des poêles à frire, ou bien encore des tenues de protection des militaires ou des pompiers.

Encore plus héroïques, certaines fibres composées de plastiques donnent des casques de combats des marines de l'armée américaine jusqu'à 100 fois plus résistantes que l'acier. Hautement performant et très léger, le plastique est déjà un matériau de référence. Cela commence par un écran de télévision qui au fil des années est devenu extra-plat et même flexible grâce à des diodes organiques. On peut aussi varier la lumière d'une maison dans des teintes chaudes ou froides avec une plaque éclairante ultra-mince.

Enfin, pour les mêmes raisons, le plastique remplace petit à petit les plaques de verre des panneaux solaires, et deviendra à terme leur unique composant.

Les enjeux du recyclage des emballages en plastique sur le transport sont immenses car ils diminuent considérablement la consommation d'essence et les rejets de CO₂. On utilise en effet de plus en plus de plastiques recyclés dans les voitures, les camions, les bus, les trains et les avions. Concrètement, concernant les voitures, on recense de nombreuses pièces en plastique recyclé qui se substituent aux pièces en métal. Il s'agit par exemple de passages de roues, de pièces sous le moteur ou encore du réservoir. Ainsi, les véhicules actuels sont plus légers, ils consomment moins de carburant et donc ils sont moins polluants.

Chapitre II

Les déchets plastiques

II.1. Définition d'un déchet

Les déchets peuvent être classés selon leur état physique (solide, liquide, gazeux), leur provenance (ménagers, industriels, agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (inertes, banals, spéciaux). La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel.

La définition du déchet est établie par la loi française de 1975 qui a initié la politique de gestion des déchets en France. Le déchet y est défini comme tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

II.2. Approches environnementale, sanitaire et économique des déchets

II.2.1. Approche environnementale et sanitaire

Le déchet est représenté comme une menace, un risque dès que l'on envisage son contact, direct ou après traitement, avec l'environnement. La diffusion des polluants dans le milieu s'accompagne souvent d'un risque sanitaire. L'approche environnementale et sanitaire a fortement influencé la réglementation relative aux déchets. Le premier objectif de gestion étant de prévenir ou de réduire la production et la nocivité des déchets.

II.2.2. Approche économique

Le déchet est de plus en plus considéré comme une richesse potentielle dont on peut, grâce à des techniques novatrices, extraire une nouvelle valeur apte à réintégrer le circuit économique. C'est tout l'enjeu de la valorisation, dont la part croissante doit permettre d'exploiter la richesse contenue dans les déchets et faire baisser la part des quantités stockées. Le stockage qui ne doit en principe concerner que les déchets ultimes.

II.3. Généralités sur les déchets plastiques

Le plastique n'est pas mauvais en soi ; il s'agit d'une invention créée par l'homme, source d'importants avantages pour la société. Malheureusement, la façon dont les industries et les gouvernements ont géré le plastique et la manière dont la société l'a converti en une commodité jetable à usage unique ont transformé cette innovation en un désastre environnemental à l'échelle planétaire. Près de la moitié de l'ensemble des produits en plastique ont été créés après l'an 2000. Alors que ce problème ne date que de 21 décennies, plus de 75 % de l'ensemble du plastique ayant déjà été produit est aujourd'hui un déchet.

Au niveau des déchets, les matières plastiques sont issues principalement des ordures ménagères (bouteilles, flacons, films), mais aussi des secteurs industriels (emballages, rebuts des industries du plastique, broyage automobile, démolition), et encore des secteurs agricoles (films de serre, de petits tunnels, de paillage, d'enrubannage, d'ensilage, bâches noires, etc.). Nous donnons dans le tableau 2, la durée de vie de quelques déchets.

Tableau 2 : Durée de vie de quelques déchets.

Type de déchet	Durée de vie
Papier toilette	2 à 4 semaines
Mégot de cigarette	1 à 2 ans
Chewing-gum	5 ans
Boite de conserve	50 ans
Canette en aluminium	10 à 100 ans
Récipient en polystyrène	50 ans
Briquet plastique	100 ans
Sac en plastique	450 ans
Filet de pêche moderne	600 ans
Carte téléphonique	1000 ans
Bouteille en plastique	100 à 1000 ans

II.3.1. Sources de déchets plastiques

La quantité totale de déchets plastiques générés est considérablement moindre que la quantité de plastiques produits. Cela est attribuable aux applications dans lesquelles le plastique répond à un besoin à long terme et n'est donc pas encore entré dans les flux de déchets en grande quantité.

La majeure partie des déchets plastiques viennent de sources post-utilisation. Les déchets post-utilisation dans les pays de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques) se trouvent essentiellement dans les Résidus Urbains Solides (RUS) et sont générés également par la distribution, la construction et la démolition, l'industrie automobile, l'agriculture électronique et les secteurs électriques. En conséquence, le traitement des déchets pré et post-utilisation diffèrent. Les déchets plastiques pré-utilisation, qui représentent généralement moins de 10 % des déchets produits, sont générés durant la production de plastiques vierges à partir de matières premières (pétrole, gaz naturel, etc.) ainsi que durant la transformation de matières plastiques en produits en plastique.

II.3.1.1. Déchets plastiques post-industriels

Les plastiques générés par les fabricants de résines sont souvent utilisables et peuvent être récupérés et vendus, encore qu'un certain traitement intermédiaire soit requis. Mais, certains déchets plastiques ne peuvent être utilisés comme matières premières dans aucun processus. C'est le cas des plastiques suivants :

- Plastiques qui sont trop dégradés pour avoir les propriétés requises soit pour un traitement soit en tant que sous-produits ;
- Déchets contaminés (par exemple les balayures).

Les industries de transformation du plastique sont la source habituelle de ces déchets. Globalement, les déchets plastiques pré-utilisation tendent à être bien utilisés. Les contraintes pesant sur le recyclage de ces déchets tiennent, semble-t-il, plus à la qualité du matériau qu'à l'absence de technologies disponibles pour les traiter.

II.3.1.1.1. Production de polymères

Le secteur s'efforce de ne produire que des matériaux de première qualité, mais il est probable qu'une petite proportion des polymères de base ne répondent pas au cahier des charges et ne conviennent pas pour les applications prévues. Ces matériaux peuvent néanmoins trouver une utilisation appropriée dans d'autres applications spécifiques pour lesquelles :

Ils répondent aux restrictions réglementaires concernant le contenu en monomères et/ou les contaminants.

Sont mélangés avec des additifs appropriés et répondent aux réglementations locales.

Contiennent les additifs nécessaires pour se conformer au cahier des charges de l'application finale.

II.3.1.1.2. Mélanges de polymères

Le mélange de polymères avec des additifs peut donner lieu à des matériaux qui ne répondent pas au cahier des charges initial mais qui conviennent néanmoins pour d'autres applications. La formule ou la recette exacte pour l'association des quantités de résine et des divers additifs n'ayant pas nécessairement été suivie, le matériau ne répond pas au cahier des charges et n'a pas la couleur, la dureté ou les caractéristiques de traitement requises. Avant le recyclage pour d'autres applications, il est indispensable de s'assurer que ces mélanges de polymères :

Correspondent à une formule connue et sont adaptés à la nouvelle application.

Sont traités dans des conditions adaptées compte tenu de leur composition.

Répondent aux obligations réglementaires en matière de composition pour l'application proposée.

Entrent dans une même catégorie ou un ensemble connu de catégories proches.

II.3.1.1.3. Assemblage ou installation de composants plastiques

Certains plastiques sont fournis sous la forme de produits semi-finis. Lorsqu'ils sont transformés, des résidus ou chutes sont produits qui peuvent être recyclés dans la même application ou dans d'autres applications. Par exemple, les chutes de l'assemblage de cadres de fenêtre en PVC-U peuvent être recyclées dans de nouveaux cadres de fenêtres ou pour la fabrication de conduites et de canalisations. Les chutes du moulage de tasses en feuilles de polystyrène peuvent être recyclées pour la fabrication d'autres tasses ou de casiers à cassettes, par exemple. L'installation de canalisations, tuyaux ou gouttières en PVC ou en polyéthylène génère aussi des chutes qui peuvent être recyclées pour la fabrication d'autres tuyaux ou canalisations.

Ces matériaux recyclés donnent les meilleurs résultats lorsque :

Les déchets sont triés en divers groupes exempts de contaminations.

Les matériaux alvéolaires sont séparés des matériaux solides.

Les conditions de transformation prennent en compte le traitement déjà subi par le matériau.

II.3.1.2. Déchets plastiques post-consommation

Les composants plastiques arrivent souvent à la fin de leur premier cycle de vie sans que les caractéristiques du matériau plastique aient beaucoup changé. Les déchets pré consommation sont en général propres, séparés des autres résines, physiquement proches d'un lieu où ils peuvent être recyclés et bien définis pour ce qui est de leur origine et de leurs propriétés

physiques. Ce n'est habituellement pas le cas pour les déchets plastiques post-utilisation. En outre, les déchets post-consommation revêtent souvent la forme de matériaux composites, mélanges de différents plastiques et/ou mélanges de plastiques et de déchets non plastiques. Pour être recyclés, les plastiques doivent d'abord être nettoyés et séparés en matériaux homogènes. Tous ces facteurs contribuent à la difficulté de l'opération et à l'augmentation des coûts du recyclage des déchets post-utilisation par rapport au recyclage des déchets pré-utilisation. De plus en plus de pays adoptent des lois exigeant que les plastiques en fin de cycle soient récupérés en vue d'un recyclage. Le retour des composants aux fournisseurs peut aussi faire partie du contrat de vente. Extraire les plastiques des équipements en fin de cycle peut être difficile et coûteux, mais ces matériaux peuvent effectivement être recyclés. Chaque source de déchets a ses caractéristiques particulières on peut citer :

Les Résidus Urbains Solides (RUS) et les déchets plastiques agricoles qui sont géographiquement plus dispersés que les déchets de distribution.

Les déchets du secteur agricole et les déchets de la distribution sont plus homogènes que les RUS ou les déchets de l'industrie automobile.

Les déchets de la construction/démolition et les RUS contiennent plus de contaminants que les déchets plastiques des secteurs électrique et électronique. En Europe de l'Ouest, les quatre principaux plastiques (PE, PP, PVC et PS) représentent 80 % environ des flux totaux de déchets plastiques. En Algérie les plastiques les plus utilisés sont (PP, PEBD, PET et PS).

II.3.1.3. Résidus urbains et ménagers

En général, les plastiques ménagers contiennent un ensemble de différents matériaux qui sont difficiles à identifier :

- Le polyéthylène (PE), par exemple : films, sacs et bouteilles de lait.
- Le polyéthylène haute densité (PEHD) par exemple : bidons, seaux et jouets.
- Le polychlorure vinyle (PVC), par exemple : bouteilles avec ligne de soudure, câbles et châssis.
- Le polyéthylène téréphtalate (PET) par exemple : bouteilles sans soudure avec un point dans le font, et pull ;
- Le polypropylène (PP) par exemple : bacs et pare-chocs.
- Le polystyrène (PS), par exemple : bouteilles et pots de yaourt.
- Le polyamide (PA), par exemple : les tissus.

II.3.1.4. Déchets plastiques de la distribution et de la grande industrie

Ce secteur produit un volume de déchets plastiques qui n'est devancé que par celui des RUS. Dans ces déchets entrent les sacs, les fûts et les conteneurs pour les industries alimentaires et chimiques, les films d'emballage, le matériel mis au rebut, les caisses, etc. Les principaux plastiques utilisés sont les PE, PP, PS et PVC. Dans ce secteur, la collecte de matériaux plastiques correctement identifiés est plus facile que dans le secteur des ménages.

II.3.1.5. Déchets plastiques agricoles

L'agriculture utilise des plastiques PP, PE et PVC qui ont généralement une durée de vie utile courte à intermédiaire.

Les films agricoles représentent un gisement important (170.000 tonnes) relativement facile à récupérer auprès d'une profession organisée (coopératives etc.). Même souillés (terres, végétaux, etc.), ils peuvent être transportés après un minimum de traitement (séchage) et être utilisés dans les filières encore en gestation des plastiques mélangés. Mais c'est la filière de récupération qui fait encore défaut. Le plastique a aussi investi l'agriculture. L'industrie du plastique propose aux agriculteurs une large panoplie de matières et de films répondant à leur besoin. Chaque année, 170.000 tonnes de plastiques sont utilisés en agriculture. La matière a même fait naître un nouveau secteur : « la plasticulture », c'est-à-dire la culture mise en place sous ou sur un film plastique.

II.3.2. Classification des déchets plastiques

Le passage de l'état de déchets micro-déchets, s'effectue par le phénomène de fragmentation sous l'action combinée des rayons Ultra-Violets, de la chaleur et de phénomènes d'abrasion mécanique. On obtient alors des déchets de grandes et petites dimensions, la dernière a la caractéristique du plancton et plus communément appelé par les scientifiques plancton plastique, formant ainsi les débris plastiques. Une classification des déchets par taille a été proposée :

- Micro-déchets : < 5mm ;
- Mésodéchets : 5-20 mm ;
- Macro-déchets : 20-100 mm ;
- Mégadéchets : > 100 mm.

II.3.3. Inconvénients des matières plastiques

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement dangereux pour la nature terrestre, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants dans la fabrication des plastiques. La plupart des plastiques ne sont pas biodégradables et mettent beaucoup de temps, voire des centaines d'années, à se décomposer. Les produits en plastique, en particulier les emballages en plastique que les humains se débarrassent juste après leur achat affectent ainsi l'aspect environnemental et la santé publique. Leur collecte pour le recyclage demeure insuffisante. Quant à leur distribution dans des centres d'enfouissement technique (C.E.T), elle demeure une préoccupation majeure pour les pouvoirs publics.

II.3.4. Dangers des plastiques

La combustion des déchets plastiques a un impact nocif sur l'environnement et la santé humaine. Pour atténuer ces effets négatifs, il conviendrait de s'équiper de masque à gaz pour éviter l'inhalation, de lunettes pour éviter le contact avec les yeux et de blouses pour éviter le contact avec la peau. Il est également conseillé d'effectuer la combustion dans des endroits aérés ou prévoir un système de récupération et de traitement des fumées.

La pollution par le plastique est aussi désastreuse pour les animaux terrestres, que les êtres humains, tout au long de son cycle de vie. Il y a non seulement des effets secondaires liés aux produits chimiques contenus dans les plastiques et qui passent des emballages dans les aliments, mais leur fabrication est aussi mauvaise pour la santé à cause de l'inhalation de nano et micro-plastiques, en particulier dans les environnements industriels, ce qui augmente les risques de contracter une maladie respiratoire. Des recherches ont mis à jour un lien entre l'exposition aux phtalates, des produits chimiques utilisés pour accroître la souplesse des plastiques, et de nombreux problèmes de santé, notamment un risque potentiellement plus élevé de naissances prématurées, mais aussi de résistance à l'insuline chez les adolescents. Un autre produit chimique dangereux pour la santé, le bisphénol A (BPA), a disparu en grande partie des processus modernes de fabrication du plastique. Mais des voix s'élèvent aujourd'hui pour signaler que ses ersatz, le bisphénol S et le bisphénol F, sont loin d'être sans danger.

II.3.4.1. Dangers des plastiques sur la santé humaine

Les études sont encore peu nombreuses, mais la question peut s'avérer légitime et particulièrement préoccupante avec l'exposition croissante à cette pollution plastique parfois invisible. Face à ce risque, l'OMS a estimé un impact "faible" pour l'eau potable sur notre santé,

en analysant les risques d'ingestion, chimiques et bactériologiques. Le danger pourrait provenir de l'ingestion des nanoparticules de plastique, assez petites pour pénétrer dans notre organisme et s'infiltrer dans notre circulation sanguine. L'étude principale de l'Université de Newcastle met quant à elle en avant une influence possible des résidus de production du plastique, avec des effets sur le système immunitaire et hormonal, ainsi que sur de possibles mutations génétiques et l'augmentation de cancers. Contrairement aux agents auxiliaires qu'on met au cours de la préparation des polymères, les additifs sont ajoutés ultérieurement et peuvent donc s'échapper du polymère par diffusion. C'est pourquoi, le consommateur risque d'être exposé aux additifs. Différents composés métalliques sont utilisés comme stabilisants et colorants dans les polymères. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé les composés de plomb dont on se sert pour stabiliser le PVC parmi les substances possiblement cancérigènes pour les humains. Le plomb est également considéré comme un perturbateur endocrinien et peut avoir des effets sur la fonction reproductrice des hommes et des femmes. Lorsque le cadmium est employé comme pigment dans les thermoplastiques, le procédé de moulage par injection produit des concentrations mesurables dans l'air. Le CIRC a classé le cadmium parmi les substances cancérigènes pour les humains.

II.3.4.2. Dangers des plastiques sur la vie terrestre

Les déchets plastiques peuvent être sources de contaminants (perturbateurs endocriniens, polluants organiques persistants) par le biais des substances chimiques qu'ils contiennent leurs plastifiants et additifs en particulier) susceptibles d'être larguées lors de leur séjour dans l'environnement ou dans les organismes. Ces études ne permettent pas de conclure avec certitude sur la nature des impacts des plastiques dans le milieu naturel où l'exposition (de nature chronique) est sensiblement différente de celle simulée au laboratoire (qui s'apparente davantage à une exposition aiguë). Les déchets plastiques peuvent également être vecteurs de contaminants, en particulier de polluants organiques persistants et auraient ainsi un effet amplificateur de la pollution chimique déjà présente dans l'environnement. Enfin, les déchets plastiques peuvent servir de supports physiques pour des espèces invasives ou pathogènes. Des travaux récents de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), encore inédits, montrent que des espèces comme les dinoflagellés toxiques ou d'autres pathogènes d'huîtres se fixent sur les plastiques qui les véhiculent et les dispersent dans le milieu marin. En l'état actuel des connaissances, il est possible d'affirmer que la pollution

plastique fait peser un risque sur la biodiversité. En revanche, il reste difficile de quantifier les risques qu'elle fait peser sur la santé humaine.

II.3.4.3. Dangers des plastiques sur la vie marine

Tous les rejets plastiques déversés à la surface de l'océan ou des mers flottent et sont entraînés sur de grandes distances par les courants marins. Ils constituent un vecteur pour des espèces envahissantes. Dans les différents bassins océaniques, les tourbillons de grande échelle concentrent ces débris dans les zones où les vents provoquent la convergence des flux de surface, d'où l'image d'un septième continent de plastique popularisée par les médias. Les mers intérieures ne sont pas épargnées car leurs côtes sont souvent densément peuplées. En particulier, la Méditerranée est très polluée par les plastiques du fait de son caractère de mer semi-fermée ainsi que du temps de résidence de ses eaux, voisin de 80 ans.

Les micro-plastiques sont maintenant présents dans toute la colonne d'eau jusqu'aux plus grandes profondeurs et dans tous les sédiments océaniques. Les mollusques (moules, huîtres, etc.), les poissons d'élevage et ceux pêchés dans les eaux côtières ingèrent ces particules et leurs produits de dégradation, dont la toxicité est maintenant bien établie. Dans les sédiments de l'océan Atlantique, de la Méditerranée et de l'océan Indien, les fibres de micro-plastiques sont 10 000 fois plus abondantes en volume que dans les eaux de surface contaminées. Les micro-plastiques rejoignent ainsi le cycle biogéochimique des particules en suspension dans la mer, où ils peuvent être ingérés par toute la faune sauvage, zooplancton et vertébrés marins. Par ailleurs, les plastiques transportés par les courants marins constituent également un support pour une flore microbienne dont on ignore le degré de pathogénicité. Même si les données quantitatives sur les concentrations de micro- et nano-plastiques sont très mal connues, les quelques mesures effectuées en océan ouvert montrent qu'aucun de ses compartiments n'est épargné. Pire encore ces micro-plastiques constituent des niches aux microorganismes provenant du sol et qui arrivent à servir dans l'eau de mer à cause de ces niches.

Chapitre III : Gestion des déchets plastiques

Les matières plastiques sont connues pour leur stabilité et leur durabilité, en particulier les plastiques dits « conventionnels » (par opposition à biodégradables), produits en très grandes quantités depuis les années 50. 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, mer,.....). Les matières plastiques connaissent une dégradation plus ou moins rapide, qui peut s'opérer sous l'effet de trois grands mécanismes (figure 1) :

- l'action des rayons ultraviolets (UV), ou photo-dégradation.
- l'action de l'eau, ou hydrolyse.
- l'action de micro-organismes qui viennent coloniser les déchets.

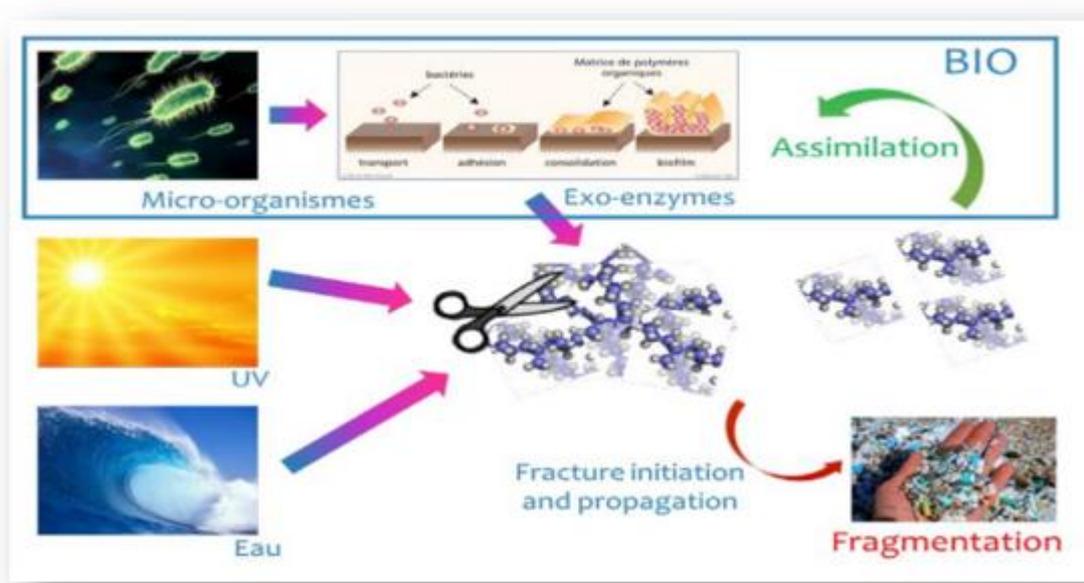


Figure 1 : Mécanismes impliqués dans la dégradation des plastiques, vue générale.

III.1. Biodégradation

La dégradation d'un matériau signifie la perte de ses propriétés physico-chimiques. Dans le cas d'un matériau polymère, cette perte de propriétés peut se produire en raison de modifications physico-chimiques dans l'assemblage des macromolécules qui forment le matériau et/ou suite à une rupture de ces macromolécules. Selon la norme ASTM D6400, un plastique biodégradable résulte de l'action de microorganismes naturellement présents dans le milieu tels

que les bactéries, les mycètes ou les algues. Lorsque le processus se déroule en présence d'oxygène, les résidus de cette biodégradation sont le dioxyde de carbone, l'eau, des composés inorganiques et de la biomasse. Un point important à retenir est que le terme biodégradable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique. La biodégradation comprend quatre étapes successives : la bio-fragmentation, la bio-fragmentation, l'assimilation et la minéralisation (figure 2).

a. La bio-détérioration

Elle est engendrée par l'action mécanique du biofilm bactérien qui se forme à la surface du plastique et qui va pouvoir agrandir les fissures déjà présentes. Une dégradation chimique peut également être réalisée par la grande diversité des espèces présentes dans le biofilm, telle que la production de composés acides par les bactéries chimio-lithotrophes et chimio-organotrophes.

b. La bio-fragmentation

C'est l'action d'enzymes bactériennes libérées à l'extérieur des cellules pour cliver les polymères plastiques en séquences plus courtes, oligomères et monomères. Les oxygénases, par exemple, rendent les polymères de plastique plus hydrosolubles et donc plus facilement dégradables par les bactéries. Les lipases et les estérases attaquent spécifiquement les groupes carboxyliques, les endopeptidases et les groupements amines. Différentes espèces bactériennes sont impliquées dans ce processus.

c. L'assimilation

Elle consiste à transférer des molécules plastiques de taille inférieure à 600 daltons dans les cellules bactériennes et à leur transformation en composés cellulaires et en biomasse.

d. La minéralisation

Elle correspond à la dégradation complète du plastique en molécules oxydées (CO_2 , N_2 , CH_4 , H_2O). Des études ont démontré que la souche incubée 30 jours sur du polyéthylène photo-oxydé conduisait à la formation d'un biofilm et contribuait à la perte de 8 % du poids sec du plastique. Si d'autres exemples de ce type ont été rapportés dans la littérature, ces observations reposent néanmoins sur des études en condition de laboratoire qui utilisent une seule espèce bactérienne.

Or, le processus en milieu naturel est beaucoup plus complexe et fait intervenir de nombreuses espèces bactériennes.

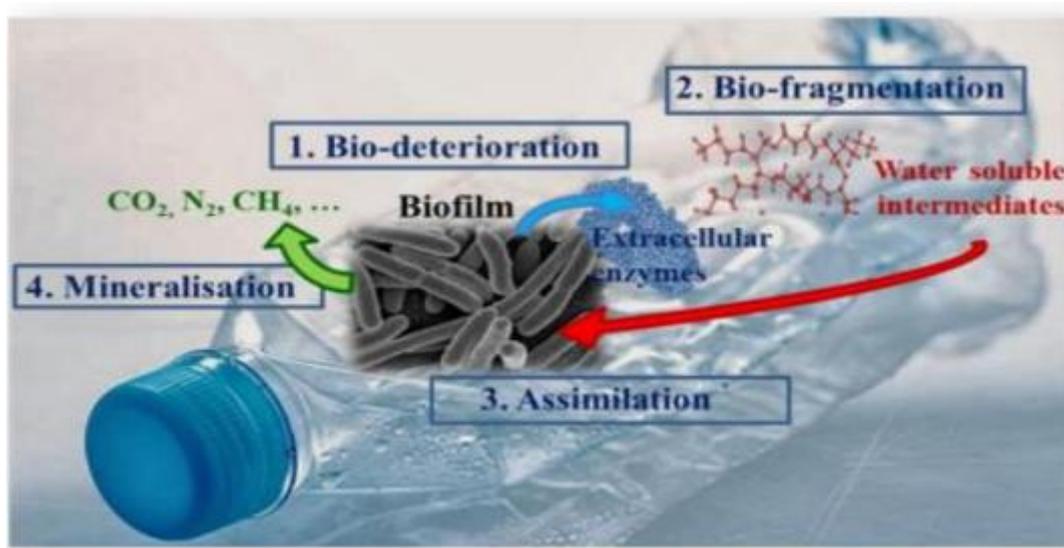


Figure 2 : Différentes étapes de la biodégradation du plastique par les bactéries.

e. Hydrolyse biologique

Contrairement à l'hydrolyse chimique, l'hydrolyse biologique est catalysée par des enzymes. Un nombre important d'enzymes est utilisé, dépendant du type de liaisons à hydrolyser. En général, ce sont des dépolymérase. Les liaisons glycosidiques, peptidiques et esters sont affectées par ce type de réaction.

Les produits de dégradation d'une hydrolyse biologique ou chimique sont les mêmes. La différence réside dans le type de catalyse mise en œuvre.

A cause de la taille des enzymes, les réactions biologiques ont lieu à la surface du polymère. Ainsi, avec une hydrolyse enzymatique, la masse du polymère décroît, alors que sa masse molaire ne change pas. Le phénomène contraire est observé pour l'hydrolyse chimique.

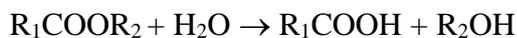
III.2. Dégradation par la lumière (photo dégradation)

Les matières plastiques se décomposent en premier lieu par la dégradation photo-oxydative activée par le rayonnement solaire. La plupart des dégradations photo-oxydatives se produisent dans les courtes longueurs d'onde (280-420) nm. Ce dernier est capable de briser des liens solides. Ainsi l'effet du rayonnement solaire sur le plastique dépend de la longueur d'onde du rayonnement, de la force des liens à l'intérieur du polymère, mais aussi de la présence de qui peuvent absorber des longueurs d'onde plus longues que 290 nm.

III.3. Dégradation par l'eau (hydrolyse)

III.3.1. Hydrolyse chimique

D'une manière générale, l'hydrolyse est caractérisée par l'équation bilan suivante :



Cette réaction est catalysée par un acide ou une base. Les polyesters sont les plus sensibles à l'hydrolyse. L'hydrolyse basique du poly (acide lactique) (PLA) engendre une rupture statistique de la chaîne alors que l'hydrolyse acide engendre une dégradation en bout de chaîne. Dans le cas du PLA (et des poly (α -esters) de manière générale), le mécanisme d'hydrolyse est clairement désigné comme une étape prédominante de la dégradation. Le pourcentage de rupture de liaisons ester déterminé par FTIR est peu différent en présence ou en absence de micro-organismes. L'hydrolyse conduit à la libération de fragments moléculaires de plus petites tailles. Ces fragments peuvent catalyser l'hydrolyse et diffuser dans le milieu extérieur où ils pourront être assimilés par les micro-organismes.

III.4. Problématique environnementale

Les matières plastiques sont associées à une large problématique environnementale et sanitaire. Elles sont dérivées de ressources non renouvelables, tels que le pétrole et le gaz naturel. Mais avant leur développement, les premiers plastiques prenaient leur origine dans le monde végétal et animal. On utilisait alors les ressources naturelles telles que la corne, le caoutchouc, le coton, le bois et le sang pour élaborer des matières plastiques. Ces matières ont été délaissées au profit de ressources pétrolières pour des raisons économiques et techniques. Cependant, l'utilisation de matières renouvelables connaît depuis quelques années un regain de popularité. Ceci s'explique par le choc pétrolier des années 1970, amenant l'instabilité des prix des ressources pétrolières et la sensibilisation croissante de la population aux problèmes environnementaux. Afin de distinguer les plastiques issus de ressources renouvelables de ceux issus de ressources non renouvelables, le terme « plastique biosourcé » est né. Le potentiel des plastiques biosourcés apparaît très important. En effet, jusqu'à 90 % des plastiques pétrochimiques pourraient être biosourcés. Leur production ne cesse de croître. L'industrie fait valoir qu'ils constituent une avancée sur le plan environnemental, mais qu'en est-il vraiment ?

III.5. Modes d'élimination des déchets plastiques

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie. Au-delà de leurs atouts, une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux par rapport à leur poids. Ces déchets occupent un volume

important dans les points de collecte et autres installations de gestion de déchets dont les centres d'enfouissements techniques. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est dans la plupart des cas faible. Il y a donc lieu d'encourager leur traitement par le recyclage, l'incinération, ou encore, produire des plastiques biodégradables pour éviter ce problème. Les diverses options pour la gestion des déchets de matières plastiques sont présentées dans la figure 3.

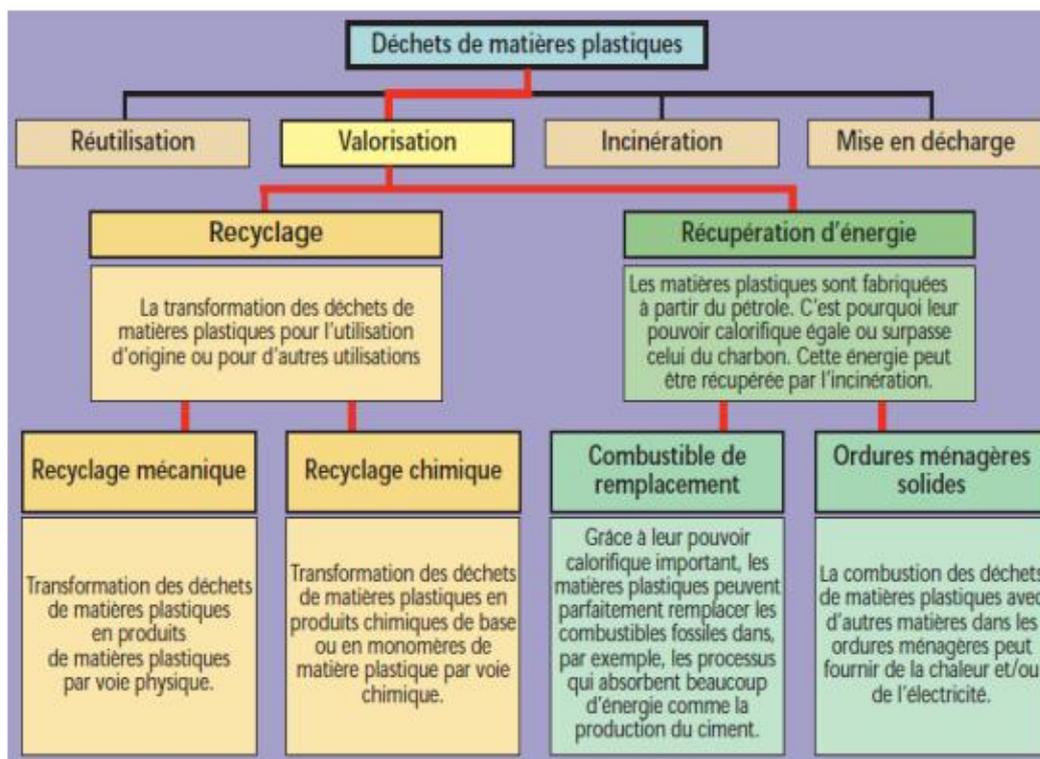


Figure 3 : Les diverses options pour la gestion des déchets de matières plastiques.

III.5.1. Le recyclage

Le recyclage est en cours de recherche, quelques solutions ont été apportées mais il y a au départ le difficile problème de récupération, de séparation, de manutention, de stockage... Les taux de récupération et de recyclage des plastiques sont très faibles, de l'ordre de quelques % ce qui constitue une singularité par rapport aux autres matériaux de grande consommation : métaux, verre et papier. Le plastique reste difficile à recycler. Les milliers de formules chimiques utilisées pour les différents produits gênent considérablement la récupération et le tri des déchets plastiques.

III.5.1.1. Définition du recyclage

Le recyclage du plastique est un processus qui implique la conversion des déchets plastiques en matériaux utiles. Le processus comprend la collecte des plastiques recyclables, leur tri selon leurs polymères respectifs, puis leur fusion en granulés qui peuvent être utilisés pour fabriquer des articles tels que des gobelets en plastique, des chaises, des tables et des sacs en polyéthylène pour protéger l'environnement.

III.5.1.2. But du recyclage des déchets

Le recyclage est facile à faire et peut vraiment faire la différence.

- Le recyclage préserve les ressources : la transformation des produits recyclés en nouveaux produits, réduit notre consommation en ressources naturelles et contribue à diminuer le bilan carbone.
- Le recyclage contribue à la protection de l'environnement : Il réduit la nécessité d'extraire, de raffiner et de traiter les matières premières, ce qui entraîne une pollution de l'air et de l'eau. Il réduit également les émissions de gaz à effet de serre pour s'inscrire dans la lutte contre le changement climatique.
- Le recyclage réduit la mise en décharge : lorsque nous recyclons, les matériaux recyclables sont retraités pour fabriquer de nouveaux produits. En conséquence, la quantité de déchets envoyés dans les filières de destruction diminue au profit des filières de valorisation.

La tendance constatée est que le coût de recyclage augmente considérablement si l'on désire un matériau de grande pureté. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- **Réduire** : regroupe les actions au niveau de la production pour réduire les tonnages d'objets (par exemple les emballages) susceptibles de finir en déchets.
- **Réutiliser** : regroupe les actions permettant de réemployer un produit usagé pour lui donner une deuxième vie, pour un usage identique ou différent.
- **Recycler** : désigne l'ensemble des opérations de collecte et de traitement des déchets permettant de réintroduire dans un cycle de fabrication les matériaux qui constituaient le déchet.

III.5.1.3. Etapes du recyclage

Le recyclage des déchets plastiques implique un certain nombre de traitements et étapes de préparation. Généralement la première étape consiste à réduire la taille de ces plastiques

(pastilles, poudre ou flocons), ceci est généralement accompli par un broyage et un déchiquetage. Tout d'abord, deux étapes principales sont à considérer : la collecte et le tri.

a. La collecte

La collecte constitue une contrainte majeure, ce qui impose une organisation efficace afin de diminuer le coût de transport. Les déchets en phase post-consommation sont généralement mélangés et pollués lorsqu'on les récupère dans le flux des déchets municipaux. C'est pour cette raison que des efforts ont été faits pour encourager les consommateurs à séparer les types de déchets de matières plastiques, au moins ceux qui sont faciles à identifier. Il peut s'agir par exemple de bouteilles ou de sacs de supermarché. Il existe plusieurs types de collecte, on peut citer particulièrement :

- **La collecte globale** : c'est une collecte multi-matériaux où la phase organique des ordures ménagères est mélangée avec l'ensemble des autres déchets.
- **la collecte sélective** : elle a pour objectif de trier, au départ des ménages, un ou plusieurs types de matériaux afin de faciliter leur valorisation ou leur élimination ultérieure.
- **La collecte spécifique** : Exemple : les bouteilles en polyéthylène transparentes.

b. Le tri

La récupération des matières plastiques dans les déchets municipaux mélangés, demande beaucoup de main d'œuvre et il faudra se concentrer sur la mise au point de systèmes automatisés économiques. La capacité à séparer les matières plastiques pour un coût raisonnable est un facteur clé dans le développement éventuel d'une technologie de recyclage. Il s'agit de séparer la fraction plastique des autres fractions à savoir : les papiers, les textiles, les métaux et les verres et de séparer ensuite les différents types de matières plastiques. Le schéma le plus général du recyclage mécanique est présenté dans la figure 4, dont les étapes de tri sont les suivantes :

- **Découpage/ déchiquetage** : les grandes parties du plastique sont découpées par des scies pour former des petits flocons pour un usage ultérieur.
- **Séparation des contaminants** : papier, poussière et tout autre type d'impuretés sont éliminés dans un cyclone.
- **Flottation** : les différents types de flocons plastiques sont séparés selon leur densité dans une cuve de flottage.

➤ **Broyage** : les flocons en plastique séparés, sont broyés ensemble. Cette étape est généralement prise comme première étape par plusieurs recycleurs dans le monde.

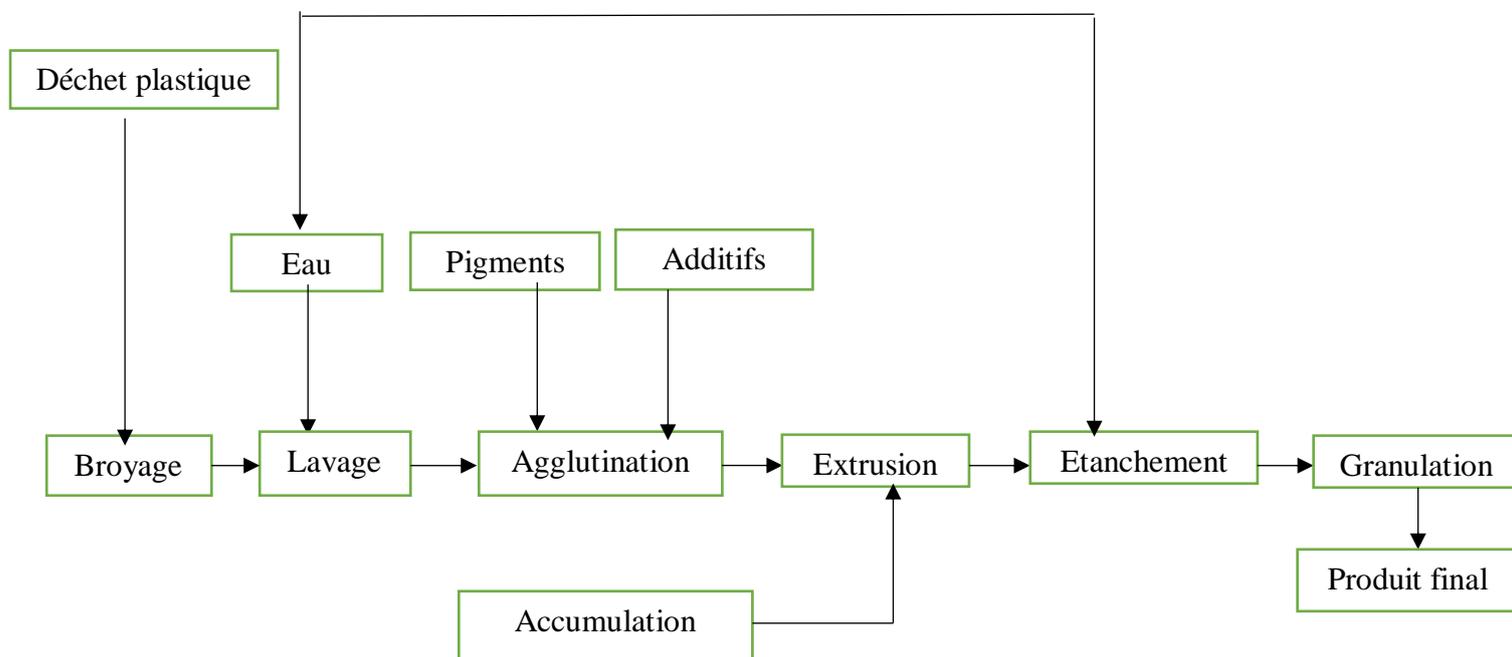


Figure 4 : Etapes du recyclage.

Les étapes qui suivent l'étape de tri sont :

➤ **Lavage et séchage**

Cette étape se réfère au stade de pré-lavage (début de la ligne de lavage). Le lavage réel des plastiques se fait après, si un traitement ultérieur est exigé. Les deux étapes de lavage se font avec de l'eau puis un lavage chimique où la soude caustique et des tensio-actifs sont employés.

➤ **Agglutination** : le produit est assemblé soit pour être emmagasiné et vendu après ajout de pigment et d'additifs, ou bien envoyé pour d'autres processus.

➤ **Extrusion** : le plastique est extrudé en brins ensuite coupés en granulés pour produire un plastique composé d'une seule matière polymère.

III.5.1.4. Avantages du recyclage

- Le recyclage permet d'économiser une grande quantité d'énergie primaire, notamment du pétrole, qui est la principale matière première de la plupart des matières plastiques.
- Le recyclage évite la mise en décharge ou l'incinération qui sont polluants pour le sol et l'air.

- Recycler une tonne de bouteilles en plastique permet d'économiser : 830 litres de pétrole (soit plus de 3 barils), 430 m³ de gaz naturel, la consommation en énergie d'un habitant durant 14 mois, la consommation domestique en eau d'un habitant durant 2 mois.
- Les plastiques recyclés peuvent devenir des objets que l'on utilise quotidiennement (tableau 3).

Tableau 3 : Possibilités de seconde vie pour les plastiques.

1 Bouteille	7 Cartes à puces
2 Bouteilles	1 Montre ou une écharpe en laine polaire
27 Bouteilles	1 Pull polaire
67 Bouteilles d'eau	1 Couette pour deux
11 Bouteilles de lait	1 Arrosoir
12 Bouteilles de soda	1 Oreiller
200 Flacons de produits d'entretien	1 Poubelle
450 Flacons de lessive	1 Banc de 3 places

III.5.1.5. Inconvénients du recyclage

La composition des plastiques devient de plus en plus complexe, ce qui constitue un frein à leur recyclage. Le problème du recyclage des matières plastiques est complexe, déjà, il existe de nombreuses matières plastiques, dont le tri est difficile. Les progrès dans les technologies du tri sont spectaculaires et des technologies de pointe ont été développées. Les plastiques ne se recyclent pas comme le fer, le verre, l'aluminium. De nombreux types de plastiques ont des propriétés qui se dégradent lorsque l'on les recycle par voie mécanique, mais aussi par la présence d'autres plastiques contaminants. Malheureusement, la multiplicité des types de matière plastique et de composition d'une même matière plastique, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes au niveau, notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de postconsommation.

III.5.1.6. Le recyclage et le développement durable

Pour que le recyclage soit le plus écologique possible, il faut que les filières de valorisation soient à proximité des lieux de production des déchets afin de réduire la pollution. Cependant, certaines étapes du recyclage comme la mise en poudre utilisent des produits cancérigènes.

III.5.1.7. Les types de matières plastiques recyclables et recyclés

Selon RIC (Resin Identification Code en ENG, Codes d'Identification des résines en FRANCE), Il existe 7 types de plastiques recyclables :

a. Le Polyéthylène Téréphtalate (PETE ou PET)

Ce plastique particulier est fait exclusivement de molécules composées d'hydrogène, de carbone et d'oxygène. Le PETE est connu car il est utilisé pour l'embouteillage depuis les années 90 (flacon, bouteille d'eau, shampoing. . .). Il offre de nombreux avantages : léger, solide, recyclable et est reconnu par l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du travail) pour le contact avec les aliments et préserve de toute contamination extérieure (il n'impacte pas le goût).

b. Le Polyéthylène haute densité (HDPE ou PE-HD)

Le PEHD est un dérivé du pétrole qui s'obtient en ajoutant différentes unités d'éthylènes (hydrocarbure). Il est reconnu pour sa densité puissante et durable. Il se durcit lorsque la température diminue et au contraire se ramollit lorsque la température augmente. Il est souvent utilisé dans le secteur médical et de la chimie.

c. Le Chlorure de polyvinyle (PVC ou V)

Le PVC est le troisième type de plastique le plus utilisé au monde. Il est composé de 57% de sel de mer et de 43 % de pétrole. Ce plastique est reconnu pour sa solidité et sa durabilité, il est très résistant à de nombreux agents agressifs. Il est très souvent utilisé dans le bâtiment : équipements électriques, canalisations. etc.

d. Le Polyéthylène basse densité (LDPE ou PE-LD)

Le LDPE est un des plastiques les plus demandés au monde et également le plus recyclé. Il est tout à fait différent du PEHD. C'est un matériau qui présente une résistance thermique et chimique importante, il est très souple et maniable. Il est également agréable à manipuler et est donc apprécié au niveau du marketing. Le LDPE est utilisé pour : les packagings (emballages : alimentaire/divers), en câblerie et autres. On le retrouve également dans les sacs plastiques, les flacons cosmétiques, les bouchons de lait, etc.

e. Le Polypropylène (PP)

Le PP est le deuxième matériau plastique le plus utilisé en Europe. Du fait de ces nombreux avantages, la grande consommation est le secteur qui utilise le plus ce plastique. Il est également utilisé dans d'autres secteurs, comme : l'automobile, la mode, etc.

Il possède des avantages tels que :

- il est facile à colorer, il est résistant, son prix est abordable, il est non toxique.

f. Le Polystyrène (PS)

Il existe différents types de Polystyrène dont :

- le plastique cristal : sert souvent à protéger les objets du fait de sa dureté.
- le polystyrène choc : un assemblage de plastifiant et de caoutchouc.
- Le polystyrène expansé et le polystyrène extrudé.

Il est utilisé dans différents secteurs : agroalimentaire, automobile, électroménager et autres. Cela est dû à ses caractéristiques bénéfiques : imperméable, résistant au choc, facilement nettoyable et résistant à la compression.

g) Autres types de plastiques (O)

Les plastiques les plus connus dans cette catégorie sont le polycarbonate et le polylactide. Ils sont utilisés dans la fabrication des bouteilles de lait pour bébé, boucliers anti-émeute, lunette de soleil, etc. Ces plastiques sont difficiles à recycler.

Comment aider le recyclage ? On doit surtout :

- Eviter d'imbriquer les bouteilles dans des boîtes de conserves ou des cartons ;
- Ne mettre que des bouteilles et flacons vides ;
- Quand on veut gagner de la place, on doit aplatir les bouteilles dans le sens de la longueur plutôt que de les compacter verticalement.

III.5.1.8. Les différents types de recyclage du plastique

Contrairement au verre, le plastique n'est pas recyclable à l'infini. Des méthodes innovantes émergent pour le recycler mais la plupart des processus actuels ne font que retarder son incinération ultime. De ce fait, il est impératif d'avoir une consommation responsable des matières plastiques.

III.5.1.8.1. Recyclage primaire ou ré-extrusion

Cette méthode de recyclage est basée sur la réintroduction de déchets industriels ou de monomères plastiques qui ont des caractéristiques similaires dans une extrudeuse, afin de produire le même type de matériaux. Le recyclage primaire nécessite la présence de matériaux polymères semi-propres et donc la nécessité d'introduire des étapes supplémentaires relativement coûteuses de triage et de séparation des déchets. Il est de ce fait impopulaire auprès des industriels.

III.5.1.8.2. Recyclage mécanique

Au niveau mondial, le recyclage mécanique est la méthode la plus utilisée pour donner aux déchets de nouvelles utilisations. Grâce à cette méthode, les plastiques qui proviennent de déchets industriels ou de l'élimination domestique ou commerciale sont transformés mécaniquement sans changer leur structure chimique. Ainsi, ils peuvent être utilisés pour produire de nouveaux matériaux. Aujourd'hui, les plastiques recyclés mécaniquement sont utilisés pour fabriquer de nouveaux emballages, des sacs à ordures, des sols, des tuyaux et des pièces automobiles, entre autres. Il s'agit de la technologie la plus utilisée pour les polyoléfines (PE et PP). Ce recyclage se fait en trois étapes.

- le premier stade est la transformation d'un produit en fin de vie en flux de déchets de différentes natures (ou différents matériaux). Une fois séparés des éléments métalliques et autres (métaux ferreux, métaux non ferreux, bois, ...) un flux de déchets de fragments plastiques est isolé.
- le second stade est la séparation de ces flux de fragments plastiques en flux de plastiques de même nature type polypropylène PP, polyéthylène basse densité PEBD, polyéthylène haute densité PEHD, polystyrène PS, polyéthylène téréphtalique PET, polychlorure de vinyle PVC, etc.
- le troisième stade est la régénération de ces fragments plastiques pour obtenir une matière plastique recyclée (généralement sous forme de granulés) apte à la transformation et à l'utilisation pour la fabrication de nouveaux produits.

Une étude de l'Institut de recherche néerlandais (TNO) estime que la proportion maximum de déchets de plastiques à recycler par voie mécanique est comprise entre 15 et 20 %. Ceci est d'abord lié à la perte de la qualité qui résulte du mélange et de la pollution des déchets de matières plastiques. Mais aussi des problèmes pratiques liés à la collecte séparée et au tri qui font que le prix de revient du produit de recyclage est supérieur à celui du produit à l'état neuf.

Une étude scientifique de la bibliographie menée pour l'EEB (European Environmental Bureau), conclut qu'il est écologiquement justifié de recycler mécaniquement les déchets de matières plastiques d'emballage jusqu'à une proportion de 30 %.

III.5.1.8.3. Le recyclage chimique

De ces trois procédés, le recyclage primaire ou ré-extrusion, le recyclage mécanique et le recyclage chimique, le recyclage chimique est le plus complexe. Avec cette méthode, les plastiques sont retraités et leur structure chimique est modifiée afin qu'ils puissent être utilisés comme matière première pour différentes industries ou comme intrant de base pour la fabrication de nouveaux produits en plastique. Toutefois, le recyclage chimique est plus coûteux et nécessite de grandes quantités de plastique pour être économiquement viable.

Il faut savoir qu'il est trop tôt pour parler du potentiel du recyclage chimique car il est encore en cours de développement. Le recyclage chimique sera probablement développé pour proposer des solutions alternatives pour des déchets difficilement recyclables par des moyens énergétiques ou mécaniques.

Le recyclage chimique des plastiques est défini selon la norme ISO 15270 comme la conversion en monomère ou la production de nouvelles matières premières par modification de la structure chimique des plastiques par cracking, gazéification ou dépolymérisation. Il est représenté dans la figure 5. On distingue :

La pyrolyse : c'est la décomposition des molécules par chauffage sous vide. Ce procédé conduit à des hydrocarbures liquides ou gazeux utilisables ultérieurement dans les raffineries.

L'hydrogénation : c'est le traitement par l'hydrogène et la chaleur des macromolécules qui sont craquées en huiles hydrocarbonées utilisables dans les raffineries et les usines de produits chimiques.

La gazéification : les plastiques sont chauffés en présence d'air ou d'oxygène. Le gaz de synthèse résultant est constitué de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui peut être utilisé dans la production de méthanol, d'ammoniac ou comme agent réducteur dans la production d'acier.

La décomposition chimique proprement dite : on applique des procédés tels que l'hydrolyse, l'alcoolyse, etc. Les applications de cette voie de recyclage, attrayante dans son principe, sont jusqu'à présent limitées, à des polymères comme le polyamide (PA), le polyéthylène téréphtalate (PET) et le poly méthacrylate de méthyle (PMMA), du fait des problèmes pratiques

et de rentabilité. Ce principe de recyclage n'en est encore qu'à un stade pilote.

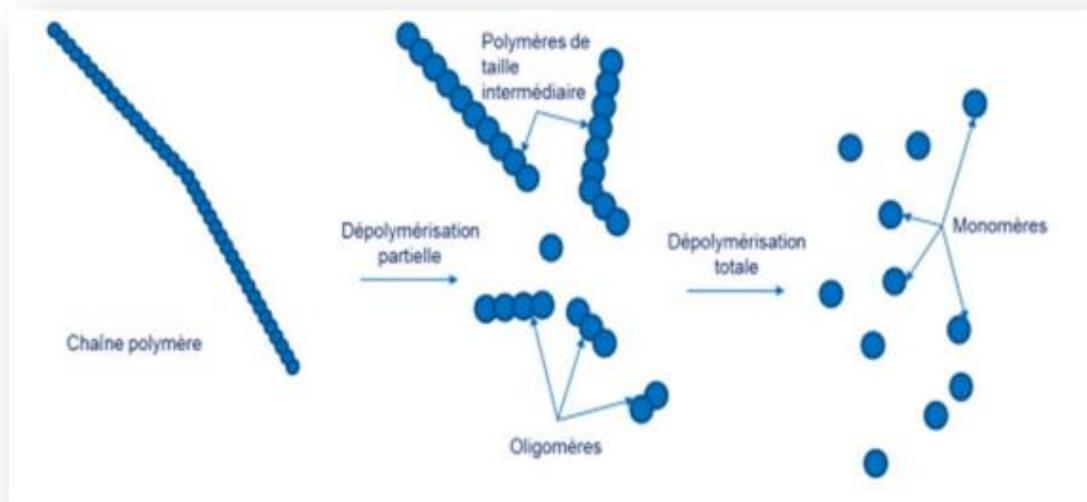


Figure 5 : Représentation schématique du recyclage chimique.

III.5.1.8.3.1. Avantages et inconvénients

Parmi les avantages du recyclage chimique on peut citer :

- la production d'un combustible alternatif qui peut remplacer les combustibles fossiles non renouvelables.
- Absence de rejets gazeux pendant la phase de thermolyse mais uniquement lors de l'utilisation des combustibles produits.
- la taille modulable des unités et une souplesse d'utilisation. Les fours peuvent en effet tourner de 40 à 100 % de leur capacité nominale, ce qui permet de suivre les variations de production de déchets. Contrairement aux incinérateurs qui doivent recevoir toujours la même quantité de déchets pour pouvoir fonctionner correctement.
- de petites unités peuvent être dispersées sur l'ensemble du territoire, ce qui permet leur installation près des endroits où l'on a besoin des combustibles alternatifs et près des lieux de production de déchets. Conséquence : limitation du transport des déchets sur de longues distances et meilleure répartition des risques et des nuisances pour la population.
- des études sont encore en cours, mais cette technique semble globalement moins chère que l'incinération en masse.

Cette méthode comporte donc des avantages par rapport à l'incinération et la valorisation thermique mais :

- elle est aussi plus exigeante. En effet, la qualité du coke produit est directement liée à la composition des déchets qui sont crackés. Il faut donc bien les trier avant.

- Elle n'évite pas la production de résidus dangereux qui doivent être mis en décharge de classe 1 (0,1 à 3 % des déchets entrants). D'autres résidus inertes sont également produits (15 à 20 % des déchets entrants), tout comme dans le procédé d'incinération classique.

III.5.1.8.4. Recyclage énergétique

Ce type de recyclage constitue une méthode de récupération par incinération de l'énergie chimique stockée dans les déchets plastiques sous forme d'énergie thermique. Il est considéré comme indésirable car il provoque la pollution de l'air ainsi que des risques sanitaires à cause des gaz toxiques produits. L'incinération propre des déchets plastiques, à défaut de pouvoir les intégrer dans un cycle économique fermé, permet d'éviter leur dissémination et de récupérer au moins une partie de l'énergie qui a été nécessaire à leur fabrication. Le but ultime est en tout état de cause d'éviter les plastiques dans les décharges, car l'écrasante majorité des polymères synthétiques n'est pas biodégradable. Les organismes (micro-organismes) vivants ne sont pas adaptés pour digérer et décomposer en gaz carbonique et en eau ces matériaux synthétiques ayant à peine un siècle d'existence. La situation n'est pas sans précédent, il a fallu des millions d'années avant que n'apparaissent des organismes capables de biodégrader les polymères naturels telle la cellulose constituant l'essentiel des plantes (exemple les champignons sur les bois). Dans ce contexte, des efforts considérables sont déployés pour synthétiser des plastiques spécifiquement conçus dès l'origine pour être biodégradables. La difficulté majeure est de concilier cet objectif avec des cahiers des charges exigeants. Le succès de l'acide polylactique (PLA), polymère biodégradable en compostage industriel et de plus biosourcé, en tant que matériau de choix pour l'impression 3D et certains emballages, démontre qu'il est possible de trouver des substituts respectant l'environnement sans pour autant sacrifier les exigences techniques et économiques. Néanmoins le PLA est encore non recyclé.

III.5.1.9. Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer.
- Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.

- Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité (E).
- L'aluminium est recyclable à 100 ; 1 kg d'aluminium donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- Chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2, 5 tonnes de bois. Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l d'eau et 2, 5 kWh d'électricité en plus de 15 g de bois.

III.5.1.10. La collecte et le recyclage

D'une part, on ne peut pas récupérer 100 % de ce qui a été fabriqué. Les produits perdus dans la nature, pollués, stockés un peu partout dans nos maisons, non triés et incinérés ou enfouis, désagrégés sous forme de petits morceaux, on ne récupère jamais la totalité des déchets. Plus on utilise de produits jetables, plus on risque de les disperser. D'autre part, on ne recycle pas tout ce qu'on collecte. Certaines filières n'existent pas ou ne sont pas considérées comme efficaces ou rentables. On peut citer quelques statistiques :

- sur les 26 millions de tonnes de déchets plastiques produits par an en Europe seulement 30 % sont récupérés pour être recyclés.
- Si on se limite à considérer les plastiques d'emballage ménagers (bouteilles, films, raviers. . .), le résultat est meilleur : le recyclage est de 42 % en Europe et de 38 % en Belgique.
- Il n'en reste pas moins que 70 % de déchets de plastique qui ne sont pas recyclés, ils sont donc enfouis ou incinérés.
- Le taux de collecte et de recyclage est bien meilleur pour les autres matériaux comme le verre, le métal ou le papier-carton.

Comme dans tout processus (fabrication, traitement. . .), il y a des pertes lors du recyclage. Par exemple :

- une tonne de plastique collectée ne permet jamais de produire une tonne de plastique recyclée.
- La filière du recyclage du PET (plastique utilisé pour les bouteilles transparentes par exemple) Suisse affiche ainsi une perte de 3.
- Pour l'acier, il faudrait 1,092 kg d'acier à recycler pour produire 1 kg d'acier recyclé (soit une perte de 8). D'autres sources mentionnent une perte de 2 (figure 6).



Figure 6 : Les pertes lors d'un processus de recyclage.

III.5.2. L'incinération

III.5.2.1. Revalorisation énergétique par incinération

La revalorisation énergétique par incinération consiste à la combustion sous haute température entre 800°C et 1000°C afin de récupérer l'énergie ainsi produite. L'incinération se déroule dans une unité composée d'une fosse de stockage, un four, un système de refroidissement des gaz de combustion, un équipement de traitement des fumées et des mâchefers et enfin une cheminée. Cette opération concerne surtout les petits emballages plastiques légers et souillés pour lesquels le tri est techniquement et/ou économiquement inadapté.

III.5.2.2. Etapes de l'incinération

Les déchets sont tout d'abord déchiquetés, puis acheminés dans une zone de combustion de manière à assurer une alimentation continue et uniforme du foyer. On peut à tout moment régler la quantité d'air nécessaire pour assurer la combustion optimale des déchets solides et pour réaliser une postcombustion efficace au sein des effluents gazeux. La combustion donne naissance d'une part à des gaz chauds dont on va chercher à récupérer l'énergie et d'autre part

à des résidus de combustion qu'il faudra traiter pour les éliminer. On récupère de l'électricité et de la vapeur basse pression pour le chauffage.

III.5.2.3. Pouvoir calorifique des matériaux plastiques

Les matières plastiques permettent un gain calorifique, ce qui les rend aptes à la valorisation énergétique à titre d'exemple celui du PET (PCI=33 MJ/kg) qui est supérieur à celui du charbon 29 MJ/kg. Le tableau 4 illustre le pouvoir calorifique d'un certain nombre de polymères, comparativement à celui des carburants communs.

Tableau 4 : Pouvoir calorifique de certains polymères et carburants.

Article	Valeurs calorifiques (MJ/kg)
Polyéthylène	43,3-46,5
Polypropylène	46,5
Polystyrène	41,9
Kérosène	46,5
Gazole	45,2
Pétrole lourd	42,5
Mélange de déchets plastiques ménagers	31,8

III.5.2.4. Avantages et inconvénients de l'incinération

L'incinération des déchets plastiques permet une réduction de volume de 90 à 99 % dans les décharges. Elle entraîne une économie de combustibles fossiles tels que le gaz, le fioul ou le charbon. Elle permet ainsi la préservation des matières premières naturelles. Par la vente d'énergie ainsi produite, elle permet de diminuer d'au moins 20 % le prix de traitement des déchets urbains.

L'incinération détruit les microbes, les virus et les germes infectieux. Cependant, elle reste polluante et nocive. En effet, cette technique produit des polluants appelés POP (polluants organiques persistants) qui ont donné une mauvaise image à cette technique. Les particules produites sont toxiques pour l'homme et néfastes pour l'environnement. Elles sont persistantes et résistantes. Pouvant se déplacer sur de très longues distances elles s'accumulent dans les tissus vivants. Cependant, les filtres installés sur les incinérateurs ont permis l'élimination de ce risque.

L'incinération d'un sac plastique permet de produire l'électricité nécessaire à l'alimentation d'une ampoule de 60 W pendant 10 minutes. L'énergie récupérée peut être réutilisée pour le chauffage urbain comme c'est le cas pour la ville de Göteborg en Suède chauffée à 75% par la valorisation énergétique des déchets ménagers à laquelle les plastiques apportent une forte contribution. L'énergie récupérée peut aussi contribuer à la production d'électricité.

L'inconvénient de cette méthode est l'émission de gaz toxiques dans certains cas et de fumées contribuant à l'effet de serre en plus des résidus solides (mâchefers) et des cendres qui doivent être traités et stockés. Le traitement des polluants contenus dans les fumées peut se faire par voie humide, sèche ou semi humide/semi sèche.

III.6. Les bioplastiques

Le terme « bioplastique » est utilisé pour désigner deux réalités distinctes : l'origine de matériau et la gestion de sa fin de vie. Le terme nomme des matériaux différents selon l'origine et le pourcentage de matière d'origine végétale contenue qui est parfois minoritaire. Les bioplastiques lorsqu'ils sont issus de ressources renouvelables, présentent l'avantage de ne pas contribuer à l'augmentation de l'effet de serre dans leur fin de vie, pour autant que les ressources soient renouvelées.

Les bioplastiques ont la propriété d'être biodégradables, c'est-à-dire que des micro-organismes peuvent les décomposer naturellement en matière organique, dans des conditions de température, d'humidité et d'oxygénation adéquates. Etant biodégradables, les bioplastiques sont aussi compostables. Le compostage est la mise en œuvre optimisée et contrôlée du processus naturel de biodégradation.

Certaines communes et sociétés de collecte ont choisi le compostage industriel comme solution de traitement des déchets organiques. Dans les installations de compostage industriel, la quantité d'air, le taux d'humidité et la température peuvent être contrôlés ; la durée de compostage peut alors être inférieure à un mois. Un produit biodégradable a vocation à être composté en fin de vie, même s'il peut également être incinéré ou recyclé.

III.6.1. Avantages de l'utilisation des bioplastiques

Les bioplastiques proposent une solution durable aux enjeux économiques, sociaux et environnementaux. On peut citer particulièrement les solutions suivantes :

- valoriser les déchets organiques pour réduire leur mise en décharge et leur incinération. Dans les pays industrialisés, la voie majeure empruntée par les déchets en fin de vie est l'incinération,

dont les installations les plus anciennes sont encore à l'origine de pollutions de l'eau, de l'air ou du sol. L'enfouissement demeure une réalité dans de multiples pays, notamment dans les pays en développement. Etant biodégradables, les bioplastiques participent efficacement à la gestion de nos déchets. Ils facilitent la collecte et la valorisation sous forme de compost des déchets organiques. Cette voie de valorisation est encore peu développée car elle souffre d'un manque d'infrastructures dédiées.

- Limiter le recours aux matières fossiles et favoriser le renouvelable. Le développement économique des pays industrialisés a largement reposé sur l'exploitation intensive de ressources non renouvelables. Aujourd'hui, face à l'amenuisement des ressources fossiles et à l'augmentation de leur prix, les ressources végétales renouvelables constituent une proposition alternative durable. Les bioplastiques, qui incorporent des matières végétales dans leur fabrication, font partie d'une nouvelle génération de matériaux appelés biosourcés. Leur développement a permis de créer de nouvelles passerelles entre les filières agricoles, chimiques et plasturgiques, s'inscrivant dans une gestion durable de nos ressources.

- Réduire l'impact environnemental. L'impact environnemental d'un produit peut être estimé par le biais d'une Analyse de Cycle de Vie (ACV). Ce type d'étude quantifie tous les impacts d'un produit, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de production, de distribution et d'utilisation. L'utilisation des bioplastiques d'origine végétale en substitution aux polymères d'origine pétrolière permet d'éviter l'émission de 30 % à 75 % de CO₂ selon les types applications. De manière plus générale, ces comparaisons donnent l'avantage aux produits issus du végétal, en matière d'effet de serre, de pollution de l'air ou de métaux lourds.

III.6.2. Applications des bioplastiques

Les bioplastiques présentent plusieurs domaines d'applications dont notamment :

a. Emballages

Dans le secteur des emballages, l'offre des produits biodégradables est réellement aboutie pour de nombreuses applications : emballage alimentaire, capsules de café, particules de calage, sacherie, etc.

b. Sacs

Le segment du sac présente un fort potentiel de marché : sacs-poubelles, sacs de caisse, sacs fruits et légumes, sacs à sapin, sacs à ciment, etc.

c. Applications agricoles

En agriculture, les bioplastiques sont utilisés par exemple pour la fabrication de liens ou clips horticoles, d'agrafes de vigne, de ficelle ou de films de paillage biodégradables. Ils limitent les opérations de collecte et les coûts de ramassage.

d. Produits à usage unique

Les bioplastiques sont utilisés dans le secteur de la restauration hors domicile : couverts, gobelets, boîtes, etc.

e. Produits d'hygiène et cosmétiques

Des bioplastiques peuvent être incorporés dans des produits variés : coton-tige, couches culottes, produits d'hygiène féminine, etc.

f. Secteur automobile

Les bioplastiques peuvent aussi servir de composant pour des pneumatiques de véhicule ou entrer dans la fabrication de pièces automobiles.

g. Applications diverses

Des applications à durées de vie variables, sont également disponibles, comme des liens de parachutes, des manches de couteaux suisses, des os à mâcher pour les chiens, des coques de téléphone, etc.

Les bioplastiques biodégradables ne doivent pas être confondus avec les plastiques contenant un additif oxo-dégradant. Ces plastiques ne sont pas biodégradables au sens de **la norme NF EN 13432 : 2000**. Ils se fragmentent sous l'action de la lumière, de l'oxygène ou de la chaleur et non sous celle de micro-organismes. Il convient de les appeler « plastiques fragmentables ». Si les fragments ne sont pas toujours visibles à l'œil nu, leur présence en masse provoque une accumulation potentiellement polluante dans le milieu naturel. Ces plastiques ne sont ni recyclables (puisque fragmentables), ni compostables, ni biodégradables. Leur seule fin de vie possible est l'incinération. En aucun cas, ce ne sont des bioplastiques, puisqu'ils ne sont pas biodégradables.

Chapitre IV

Les déchets plastiques en Algérie

L'Algérie dispose d'une bande littorale s'étendant sur plus de 1600 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.

Dans son rapport, l'Agence Nationale des Déchets (AND), dans le cadre de ses missions de développement d'indicateurs et de publications d'informations scientifiques et techniques a publié les résultats des différentes campagnes de caractérisations des déchets de plages réalisées sur les quatorze wilayas côtières. Il retrace aussi, des portraits sur les différents plastiques à usage unique, le but est de sensibiliser les politiques, industriels et consommateurs à la réduction et au recyclage de ces matières oh combien nocives pour l'environnement et la santé publique.

IV.1. Cadre réglementaire

En Algérie, les déchets plastiques et les déchets d'emballage 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'emballage ;
- le décret exécutif du 10 Joumada 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 Joumada 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.

IV.2. Consommation des plastiques en Algérie

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 du plastique en 2017, contre 1,9 milliards de dollars en 2016 et 1,5 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 1 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.

IV.2.1. Les plastiques à usage unique dans les DMA

Afin d'apprécier l'évolution de la composition des Déchets Ménagers et Assimilés (DMA) et identifier leur potentiel de valorisation, une campagne nationale de caractérisation a été accomplie par l'Agence Nationale des Déchets entre Avril 2018 et Mars 2019. Cette campagne a touché les trois zones bioclimatiques : Nord, Semi-aride et Aride. L'étude a révélé que les déchets plastiques représentent 15,31 % des DMA générés annuellement, soit environ 2,1 millions de tonnes. 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 3,57 % de la quantité globale de déchets produits (tableau 5).

Tableau 5 : Composition des déchets plastiques dans les DMA recensés en 2019.

Type de plastiques	Pourcentage (%)
PEBD	8,14
PET	3,57
PP	2,04
PEHD	0,92
PEHD film	0,34
PS	0,21
PVC	0,10

IV.2.2. Les plastiques à usage unique dans les plages

S'il est difficile de connaître la nature et de suivre l'évolution des déchets présents sur la surface et dans les fonds marins, le littoral par contre, offre une interface entre la terre et la mer

facilement accessible, qui permet d'avoir une idée sur la composition et les sources de déchets pouvant potentiellement entrer dans les écosystèmes marins.

Une campagne saisonnière de surveillance et de suivi des déchets côtiers, a été lancée pour trois wilayas pilotes : Jijel 'Est', Tipaza 'Centre' et Ain Timouchent 'Ouest', à raison de deux plages par wilaya. Elle intervient en complément de la première campagne initiée par le Ministère de l'Environnement (ME) et ce dans le cadre du programme Horizon 2020 (H2020).

Le constat est impressionnant (figure 7) : Entre 80 et 85 % des déchets présents dans les plages sont des déchets plastiques, essentiellement : bouteilles de boissons, bouchons, sacs en plastiques (différentes formes), emballages alimentaires (biscuits, bonbons) filets et autres matériaux de pêche, pailles, vaisselle jetable, cotons -tige, bâtonnets de sucettes, fragments de Polystyrène, mégots de cigarettes, etc.

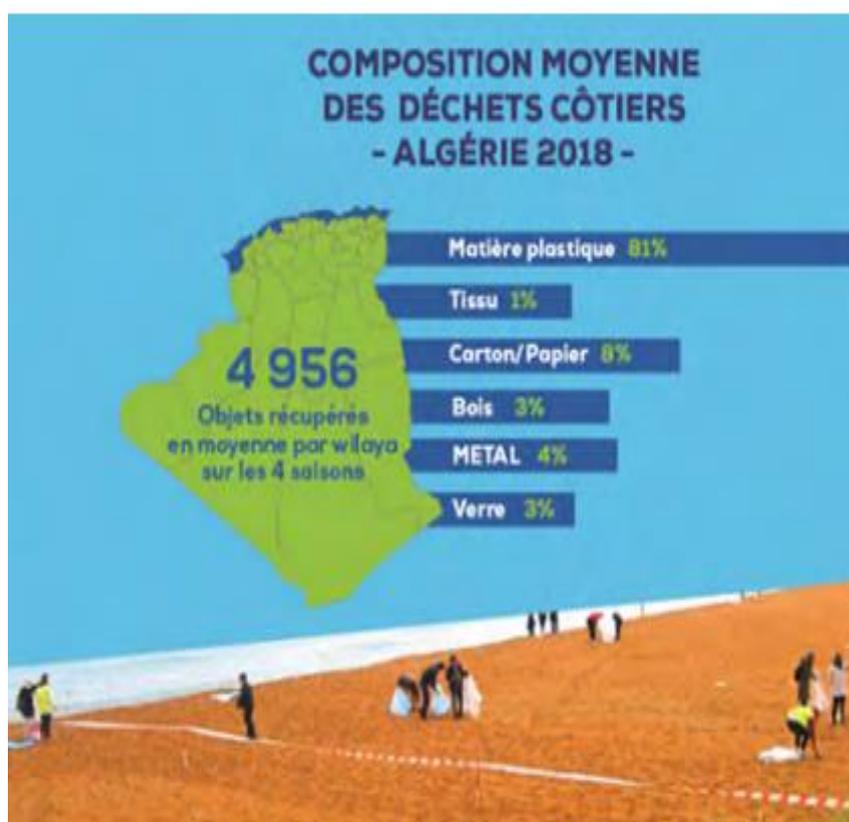


Figure 7 : Composition moyenne des déchets côtiers (plages)
(Algérie -2018)

On estime que ces déchets proviennent essentiellement des activités touristiques et du réseau d'assainissement, mais aussi ceux ayant échappé au circuit de collecte.

IV.3. Le recyclage

Sur les 13,1 Millions de tonnes de déchets générés en 2018, 2,1 millions de tonnes contiennent des résines plastiques, selon les chiffres de l'AND. Cette quantité est en légère diminution comparée aux chiffres obtenus en 2014. Ce qui peut être expliqué par le développement progressif de récupération et de recyclage des déchets plastiques.

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 des données de l'AND, ils sont aux alentours de : 358 pour les PET, 343 pour les PEHD et 336 pour les films plastiques.

Le développement du recyclage s'appuie sur d'importantes infrastructures de tri et de transformation du déchet plastique recyclé, voué à être utilisé par les industriels, mais aussi d'une réglementation incitative spécifique qui permet d'accroître la compétitivité du recyclage.

IV.4. Politiques internationales des plastiques à usage unique

La réduction des plastiques en général et ceux à usage unique en particulier, est actuellement le principal objectif de l'action mondiale. Avec la prise de conscience, plus de 60 pays ont introduit des interdictions et des taxes pour limiter les déchets plastiques à usage unique.

A l'échelle européenne, la commission a rendu publique le 28 Mai 2018 une proposition pour lutter contre le plastique à usage unique. Cette proposition a été adoptée lors des élections européennes de mai 2019 et le texte vise 15 produits. Les mesures proposées sont de différents ordres :

- Interdiction pure et simple du produit et remplacement par une alternative réutilisable ou biodégradable pour les cotons tiges, assiettes, couverts, pailles et tiges.
- Création (ou extension) d'une filière de responsabilité élargie des producteurs (REP), ce qui suppose que le producteur du déchet paye pour la gestion des déchets, y compris la récupération des déchets abandonnés dans la nature pour les mégots et les filets de pêche.
- Obligation d'information du consommateur quant aux impacts sur l'environnement pour les protections hygiéniques et les lingettes.
- Objectifs du recyclage à hauteur de 90 % pour les bouteilles plastiques d'ici 2025 et des obligations de conception (bouchon attaché à la bouteille).
- Objectifs de réduction 'significatifs' pour les contenants de vente à emporter et les gobelets.

a. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et l'ONU

Le PNUE a publié plusieurs rapports sur l'impact environnemental des plastiques, sur les plastiques à usage unique ainsi que sur des matières traitées avec des micro-plastiques et des déchets marins à l'occasion de la première et de la deuxième session de l'Assemblée des Nations Unies pour l'Environnement (ANUE) en 2014 et en 2016.

L'ONU a rassemblé à Nairobi, le 15 Mars 2019 plus de 170 états membres de l'Assemblée pour l'environnement pour prendre plusieurs engagements, dont la réduction significative des plastiques à usage unique.

b. La Convention de Bâle

La convention de Bâle adoptée en 1989 sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination est en cours de mise en œuvre. L'article 4 oblige les parties à s'assurer que la production de déchets dangereux et d'autres est réduite au minimum et d'assurer la présence d'installations de traitement des déchets adéquats pour une gestion écologique des déchets dangereux et autres déchets. Aujourd'hui, cette obligation s'applique aussi sur les déchets plastiques.

c. La Convention de Barcelone

Les parties contractantes à la convention de Barcelone ont approuvé les lignes directrices pour l'élimination des sacs en plastique à usage unique en Méditerranée lors de COP21 à Napoli (2-5 Décembre 2019) parmi d'autres décisions liées à la problématique des déchets marins, toutes incluses dans la décision IG.24/11. Les parties contractantes se sont engagées à utiliser au mieux ces lignes directrices. Ces dernières ont été élaborées par le SCP/RAC après examen approfondi des cas internationaux, des travaux pratiques dans un certain nombre de pays méditerranéens et à la suite de consultations d'experts.

Conclusion et perspectives

Le sujet du plastique est sur le devant de la scène de l'actualité environnementale depuis quelques années :

- Conscience croissante de la part des citoyens sur les problèmes liés au plastique (92 % des citoyens européens estiment qu'il faut prendre des mesures pour réduire le plastique à usage unique).
- Engagements internationaux pris (Résolution de l'ONU votée par l'ensemble des Etats membres en décembre 2017 pour agir contre la pollution marine).
- Réglementations nationales contraignantes notamment pour réduire la place de l'usage unique (Sacs plastiques à usage unique interdits dans de nombreux pays européens dont la France). La France a par ailleurs interdit les cotons -tiges en plastique et les cosmétiques rincés contenant des microbilles de plastiques. L'interdiction des gobelets et assiettes en plastique est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2020.

A l'échelle Européenne, la Commission Européenne a rendu publique une proposition de directive pour lutter contre le plastique à usage unique. Cette proposition a l'objet de négociations entre le Parlement et le Conseil Européen et a été définitivement adoptée aux élections Européennes de Mai 2019.

Le texte vise quinze (15) produits en plastique identifiés comme particulièrement problématiques pour l'environnement : les contenants alimentaires, les emballages en plastique souple, les pailles, les ballons et leurs tiges en plastique, les gobelets, les couverts, les assiettes, les bouteilles, les cotons -tiges, les lingettes, les protections hygiéniques, les sacs, les mégots et les filets de pêche. Les mesures proposées sont de différents ordres :

- Interdiction pure et simple du produit et remplacement par une alternative réutilisable ou biodégradable pour les cotons -tiges, assiettes, couverts, pailles et tiges pour les ballons.
- Création (ou extension) d'une filière de Responsabilité Elargie des Producteurs (REP), ce qui suppose que le producteur du déchet paye pour la gestion des déchets, y compris la récupération des déchets abandonnés dans la nature pour les mégots, les filets de pêche, les contenants de vente à emporter, les gobelets, les sacs, les lingettes et les emballages en plastique souple.
- Obligation d'information du consommateur quant aux impacts sur l'environnement pour les protections hygiéniques et les lingettes.
- Des objectifs de recyclage de 90 % pour les bouteilles plastiques d'ici 2025 et des obligations de conception (bouchon attaché à la bouteille).

- Des objectifs de réduction significatifs pour les contenants de vente à emporter et les gobelets.

Suite à l'épuisement des réserves d'hydrocarbures, l'homme doit essayer de donner une seconde vie au plastique avec l'upcycling ou les aménagements du bâtiment. L'upcycling est le fait de transformer des matériaux usés qui d'ordinaire auraient fini à la déchetterie en objets de meilleure qualité voir de luxe. C'est une façon de recycler qui n'utilise pas de transformation chimique contrairement à la méthode de recyclage classique. L'upcycling existait déjà depuis presque toujours dans les pays pauvres où l'art de tout réutiliser est essentiel. Aujourd'hui dans les pays développés les designers cherchent à imiter cette méthode et créent des objets décoratifs (tableau, meubles, etc.) ou de la maroquinerie avec tout ce qui leur tombe sous la main, notamment du plastique. La plupart du temps ce sont des objets uniques et peu accessibles au public. Il existe aussi de nombreux livres à ce sujets qui nous apprennent à « upcycler » nous-même.

➤ Le recyclage des plastiques pourrait aussi déboucher sur la construction de logements sociaux. Ainsi, des planches obtenues à partir de plastique recyclé permettent de fabriquer des habitations qui seront le plus efficaces contre le temps et les intempéries. Pourtant, il est composé presque exclusivement de PET recyclé (le plastique employé pour la fabrication des bouteilles en plastique). Le principal objectif de cette initiative consiste à acquérir un logement correct et écologique, pour un prix raisonnable. Il faut recycler près de 5 tonnes de plastique pour construire une maison dont le coût est estimé à un peu plus de 10 000 euros. Ce nouveau matériau recyclable ne se déforme pas, ne se fissure pas et il est inattaquable. Il existe aussi un autre matériau plastique pour construire des maisons : le TPR (Thermos Poly Rock) qui est léger cependant plus solide que le béton, a d'excellentes propriétés en tant qu'isolant thermique. Du point de vue économique, la meilleure solution réside dans la réutilisation du matériau recyclé en minimisant le nombre d'étapes nécessaires avant sa réutilisation. Cependant, il est possible d'améliorer les propriétés physico-chimiques du matériau, en le mélangeant avec d'autres matériaux pour obtenir des composites qui allient les qualités de l'un et de l'autre.

Fabriquer de l'énergie avec les déchets

Le recyclage des sacs plastiques n'est aucunement rentable au niveau environnemental et même économique. La valorisation énergétique semble la solution la plus adaptée pour l'élimination des sacs plastiques. Cette solution est la plus utilisée. Comme le plastique est issu du pétrole, on peut donc l'utiliser en tant que carburant qui peut être peu coûteux par exemple pour le fonctionnement de chaudières industrielles.

➤ Le plastique étant fabriqué à partir du pétrole, mais ne se décomposant pas, pourquoi ne pas le reconvertir...en pétrole ?

➤ Une machine révolutionnaire a fait son apparition au Japon, elle permet de transformer les déchets plastiques en pétrole. Cette invention est l'œuvre d'un Japonais : Akinori Ito. On introduit dans la machine des matières plastiques, le plastique fondu rejette des gaz, ceux-ci sont alors refroidis pour être reconvertis en pétrole. Ce dernier peut ensuite être raffiné en essence, en diesel ou en kérosène. Même si ce carburant est réutilisé dans les véhicules et donc que des émissions supplémentaires sont libérées dans l'atmosphère, cette forme de recyclage reste moins polluante que l'extraction du pétrole et la production actuelle de carburants.

Face à l'accumulation des déchets plastiques, l'homme doit se montrer efficace et responsable. Des mesures sont prises pour limiter le plastique dans nos vies : A titre d'exemples :

- Les grandes surfaces ne délivrent plus de sacs plastiques mais de grands sacs payants plus résistants, et réutilisables à l'infini.

- L'industrie alimentaire réduit les emballages.

- Les déchets sont triés.

➤ Le plastique est essentiel à notre quotidien, il est présent tout autour de nous et il semble indispensable mais il pollue l'environnement et empoisonne les êtres vivants. Si on le traite par les différentes méthodes (recyclage mécanique ou chimique, incinération) ou encore on fabrique du plastique biodégradable qu'on utilise comme compost par la suite, et que chacun se mobilise, on peut lutter contre le réchauffement climatique de la planète, la pollution et assurer ainsi notre avenir ;

➤ Plusieurs idées pourraient être creusées, que ce soit la récupération de ces plastiques, la limitation de leur utilisation (moins d'emballage, suppression de barquettes individuelles au collège, ...), leur recyclage qui doit être moins restrictif, la suppression de certaines molécules toxiques et l'amélioration de la biodégradation de ces objets ;

➤ En résumé, le plastique peut être polluant s'il n'est pas traité. Donc c'est à nous, citoyens, de le recycler afin de préserver la stabilité de notre environnement. Il est notre avenir car nous l'utilisons en permanence. Toutes les nouvelles technologies, les domaines de l'innovation, la recherche de nouveaux objets, utilisent les matières plastiques. Les plastiques sont

financièrement à la portée de tous, car fabriqués industriellement. De plus nous pouvons le trouver partout .Mais nous polluons la planète si nous ne traitons pas les matières plastiques et que nous les jetons dans la nature ;

➤ Bien que le coût du procédé des bioplastiques soit élevé, il est toujours essentiel d'encourager sa production car acheter un plastique moins cher et polluer l'environnement est moins intéressant qu'acheter un plastique cher et protéger l'environnement pour préserver la planète aux générations futures d'où la notion du développement durable qui devient incontournable de nos jours ;

➤ Enfin, grâce au recyclage, à l'incinération, les matières plastiques peuvent avoir plusieurs vies. Dans tous les cas il faudrait améliorer encore l'information des consommateurs et les sensibiliser car toute solution passe par une prise de conscience individuelle et collective.

Références bibliographiques

- A.G. ARTHUR, A. SALMIATON, J. HERNANDEZ-MARTINEZ, A. AKAH, (2004), «Feedstock recycling of polymer wastes», *Current opinion in solid state and materials science*, p 419–425.
- Abdaoui DR., (2019), *Matières plastiques. Toxicologie industrielle*. 1-8 pp.
- Addou A, (2009), *Traitement des déchets : valorisation, élimination*, éd. Ellipses.
- Ademe, (2015), *Recyclage chimique des déchets plastiques : situation et perspectives*.
- Aeschelmann F. & Carus M., (2014). *Bio-based Building Blocks and Polymers in the World Capacities, (2020), Production and Applications : Status Quo and Trends towards*.
- Alain D., (2013), *Guide du traitement des déchets réglementation et choix des procédés*. 6^{ème} édition, Paris, France, 461p.
- Alain G., (2001). *Le recyclage des plastiques*. Milieu Education, Nature & Société. 20p.
- Alimba CG and Faggio C (2019). *Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile*. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 68, pp 1-164.
- Andrady A.L., (2011). *Microplastics in the marine environment*. *Mar. Pollut. Bull.* 62(8), 1596–1605.
- Balet J- M., (2008). *Aide-mémoire : Gestion des déchets*, 2^{ème} éd. Dunod, Paris.
- Bliefert C., et Perraud R., (2001). *Chimie de l'environnement*. 2^{ème} édition française, de Boeck université, Bruxelles, Belgique, 478p.
- Bowmer, T.; Kershaw P., (2010). *Proceedings of the GESAMP International Workshop on Microplastic Particles as a Vector in Transporting Persistent, Bioaccumulating and Toxic Substances in the Oceans*. UNESCO-IOC, Paris. GESAMP Reports Stud. 82.
- Browne M.A., Crump P., Niven S.J., Teuten E., Tonkin A., Galloway T. & Thompson R., (2011). *Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks*. *Environ. Sci. Technol.* 45(21), 9175–9179. 63
- Brula P. & Thoumelin P., (2007). *Risques sanitaires engendrés par la valorisation des déchets (recyclage et réutilisation)*.
- Carrega, M. et al., (2012). *Matières plastiques : Propriétés, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères*. 3^e éd., Paris: Dunod L'usine nouvelle.

Références bibliographiques

- Christian Ngo., Alain Régent.,(2012).Déchets, effluents et pollution : impact sur l'environnement et la santé, 3ème éd Dunod, Paris.
- Combe M., (2016). Pollution des micro-plastiques : quelles solutions ? <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/pollution-micro-plastiques32900/>
- Crawford, C. B. and Quinn B., (2019). Microplastic Pollutants, Elsevier Limited.978-0-12-809406-8 ISBN : 978-0-12-809406-8
- Delavelle C. & Caével B. DE, (2015). Recyclage chimique des déchets plastiques : Situation et perspectives Etat de l'art et avis d'experts 1–9.
- Duplessy J., (2021).les plastiques dans l'environnement. Rapport de l'Académie des sciences, p 4-29.
- Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Borerro J.C., Galgani F. & Ryan P.G., (2014). Plastic Pollution in the World ' s Oceans : More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250 , 000 Tons Afloat at Sea 1–15.
- Fontanille M., Gnanou Y., 2005 Chimie et Physico-chimie Des Polymères (cours), 2e et 3e cycles. Dunod, Paris, 4-8.
- Freinkel, S., (2011). Plastic: A Toxic Love Story, Houghton Mifflin Harcourt.978-0-547-15240-0
- Galgani F., Bruzard S., Duflos G., Fabre P., Casdaldi E., Ghiglione J., Grimaud R., George M., Huvet A., Lagarde F., Paul-Pont I., Ter Halle A., (2020). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. Archimer, 29p.
- Gautron P.,(2001).Valorisation et recyclage des déchets. Les déchets : sensibilisation à une gestion écologique, éd. TEC et DOC, p11-114.
- Gélinas L., (2013). Plastiques Biosourcés : Étude De Leur Performance Environnementale Comparativement Aux Plastiques Pétrochimiques.
- Geyer, R., Jambeck J. R. and Law K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances 3(7): e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.
- Greenpeace, (2018). Microplastics and persistent fluorinated chemicals in the Antarctic 20.
- Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, (2016). Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment – Part Two of a Global Assessment. Hanvey.
- <http://www.ademe.fr/recyclage-chimique-dechets-plastiques-situation-perspectives-etat-lart-avisdexperts>
- https://www.foodandwaterwatch.org/sites/default/files/ib_1702_fracking-plastic-web.pdf
- <https://www.unenvironment.org/interactive/beat-plastic-pollution/fr/>

Références bibliographiques

- Lapointe R., (2013). Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour l'emballage alimentaire, distinctions subtiles mais significatives. *J. Chem. Inf. Model.*
- Lau et al. (2020). Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science*, 369, pp. 1455-1461.
- Laurent B., Pierre-François S., Rachid D., (2020). La pollution plastique, De nouvelles connaissances et des pistes pour l'action publique. Office français de la biodiversité, France, 116p.
- Lecomte P. & Das K., (2018). Printemps des sciences: Microplastiques et océan. Lee S.Y., 1996. Bacterial Polyhydroxyalkanoates. *Biotechnol. Bioeng.* 49, 1–14.
- Michaud J.-C., Farrant L., Jan O., Kjær B. & Bakas I., 2010. Environmental benefits of recycling) update. *Waste Resour. action Program. WRAP (March)*, 1–252.
- National waste agency, (2019). Bulletin de veille technologique. 2 ème édition, Alger, Algérie, 69p.
- Olivier, M. (2013). Notions de base sur les matières plastiques, 72-80.
- PlasticsEurope (2019). *Plastics—the Facts (2019): An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data* (PlasticsEurope, Brussels). Europe https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf
- Ragaert K., Delva L. & Van Geem K., (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manag.* 69, 24–58.
- Rustagi N., Pradhan S.K. & Singh R., (2011). Public health impact of plastics : An overview 15(3), 100–102. S.M. Al-Salem, Lettieri P. & Baeyens J., 2009. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Manag.* 29(10), 2625–2643.
- Shah A.A., Hasan F., Hameed A. & Ahmed S., (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnol. Adv.* 26(3), 246–265. Sheng H.P., 2004. Liquid mixture separators. Shivam P., 2016. Recent Developments on biodegradable polymers and their future trends 4(1), 17–26.
- Sites web
- Subramanian Senthilkannan Muthu (Ed.), (2017). *Textiles and Clothing Sustainability Recycled and Upcycled Textiles and Fashion*, Srpinger.
- T. ROGAUME, (2006). *Gestion des déchets : réglementation, organisation, mise en œuvre* , Ellipses, p 220, Paris.