

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité/ Option : Biodiversité et Environnement
Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

THEME

Devenir des déchets plastiques de la wilaya de Guelma.

Présenté par :

DJEBIHA Imane

GHERIB Ilyes

TALHI Imene

Devant le jury composé de :

Président : RAMDANI. K M.C.B Université 8 Mai 1945 Guelma

Examineur : TOUATI. H M.A.B Université 8 Mai 1945 Guelma

Encadreur : NEDJAH. R Pr Université 8 Mai 1945 Guelma

Juin 2022

Remerciements

Avant tout, on tient à exprimer nos profonde gratitude et on remercie ALLAH le tout puissant qui nous donné le courage, la patience et la force pour réaliser ce travail.

On veut traduire également nos vifs remerciements à mes sieurs les membres de jury **RAMDANI K**, Docteur à l'université de Guelma d'avoir accepté de présider ce jury. **TOUATI H**, Docteur à l'université de Guelma, de m'avoir fait l'honneur d'examiner et de juger ce travail.

Nous remercions **Pr. NEDJAH Riad**, Professeur à l'université de Guelma, pour son encadrement efficace, sa disponibilité, sa patience et surtout son aide et son soutien sans relâche tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements au direction de l'environnement , la direction générale des forêts et le centre d'enfouissement technique de la wilaya de Guelma.

Nous remercions Monsieur **DALLI Abderrahmen**, Président du Comité de la santé, de l'hygiène et de la protection de l'environnement de la commune d'Oued-Zénati, pour son aide et son soutien et pour avoir fourni tous les moyens nécessaires à la réussite de la formation.

Nous remercions surtout Madame **RACHRACHE Farah**, Inspecteur et Ingénieur du Comité de la santé, de l'hygiène et de la protection de l'environnement de la commune d'Oued-Zénati.

Enfin, un merci spécial pour Madame **LAKEHAL AYAT Somia**, Doctorante à l'université de Badji Mokhtar Annaba, pour sa gentillesse et son aide pour finaliser ce document.

DEDICACE

A mes très chers parents qui m'ont toujours encouragé et aidé tout le long de ma vie et qui n'ont jamais cessés de me soutenir, je leurs dis merci et que dieu vous gardes.

A ma chère sœur Kamilia,

A mes frères Tarek, Mouhamed et Yahia,

A ma chère adorable Sara,

A ma grande famille paternelle et maternelle,

A toute personne qui m'a aidé afin de mener à terme ce travail.

Imane djebiha

DEDICACE

Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce modeste travail :

A les deux personnes qui n'ont épargnés aucun effort pour me rendre heureuse, mes chères
parents

A mon petit frère MOHAMED ALI, mes soeurs MERIEM, SELMA ET MANEL qui ont été
toujours là pour moi et qui m'ont accompagné durant toutes mes études

J'adresse aussi mes dédicaces à mes amies et mes professeurs avec qui j'ai passé des moments
agréables à l'université.

A toute personne qui m'a aidé afin de mener à terme ce travail.

Talhi imene

Sommaire.

Sommaire

Liste d'abréviations.

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralité	3
1.2. Historique sur la matière plastique	6
1.3. Définition et caractéristiques de la matière plastique.....	9
1.3.1. Définition	9
1.3.2. Caractéristiques de la matière plastique.....	10
1.3.2.1. Caractéristiques chimiques.....	10
1.3.2.2. Caractéristiques physiques.....	10
1.3.3 .La production et l'utilisation du plastique dans le monde.....	13
1.3.4. Types de plastique et leur composition (Classification).....	14
1.3.5. Classification des plastiques.....	15
1.4. Les avantages des matières plastiques.....	16
1.4.1. Les grands avantages économiques.....	18
1.4.2. Les bienfaits pour l'environnement.....	18
1.4.3. Les nouvelles vies des plastiques.....	19
1.5. Les déchets plastiques.....	20
1.5.1. Source des déchets plastiques.....	21
1.5.1.1. Déchets plastiques post-industriels.....	21

Sommaire.

1.5.1.1.1. Production de polymères.....	22
1.5.1.1.2. Mélanges de polymères.....	22
1.5.1.1.3. Assemblage ou installation de composants plastiques.....	23
1.5.2. Déchets plastiques post-consommation.....	23
1.5.2.1. Résidus urbains et ménagers.....	24
1.5.2.2. Déchets plastiques de la distribution et de la grande industrie.....	25
1.5.2.3. Déchets plastiques agricoles.....	25
1.5.3. Classification des types de déchets plastiques.....	27
1.6. Les inconvénients des matières plastiques (utilisation).....	28
1.7. Influences et dangers des plastiques.....	28
1.7.1. Sur la santé humaine.....	29
1.7.2. Sur la vie terrestre.....	29
1.7.3. Sur la vie marine.....	30
1.8. Types et méthodes de la dégradation des déchets plastiques.....	31
1.8.1. Biodégradations.....	32
1.8.2. Dégradation par la lumière (photo dégradation).....	34
1.8.3. Dégradation par l'eau (hydrolyse).....	35
1.8.3.1. Hydrolyse chimique.....	35
1.8.3.2. Hydrolyse biologique.....	35
1.8.4. Problématique environnementale.....	36
1.9. Techniques de recyclage des matériaux plastiques.....	36
1.9.1. Définition de recyclage.....	36
1.9.2. Recyclage des plastiques.....	37

Sommaire.

1.9.2.1. Recyclage primaire ou ré-extrusion.....	37
1.9.2.2. Le recyclage mécanique des plastiques.....	38
1.9.2.3. Le recyclage chimique des plastiques.....	38
1.9.2.4. Incinération.....	39
1.9.3. Type des matières plastiques recyclables.....	40

Chapitre 02 : Matériels et méthodes

2.1. Description de site d'étude.....	43
2.1.1. Situation géographique de site d'étude.....	43
2.1.2. Le cadre naturel.....	44
2.1.2.1. Le contexte climatique.....	44
2.1.2.1.1. Précipitation.....	45
2.1.2.1.2. Température.....	45
2.1.2.1.3. Les vents.....	46
2.1.2.1.4. L'humidité.....	46
2.1.2.2. Le réseau hydrographique.....	47
2.1.2.2.1. Les Principaux oueds.....	47
2.1.2.2.2. les barrages.....	48
2.1.3. Climagramme d'Emberger.....	50
2.1.4. Relief.....	50
2.1.5. Couvert végétal.....	50
2.1.5.1. Potentialités forestières.....	51
2.1.5.2. Environnement industriel.....	52

Sommaire.

2.1.6. Le patrimoine naturel.....	53
2.2. Méthodologie adoptée.....	54
2.2.1. Méthodes de collecte des données.....	54
2.3. Elaboration du questionnaire.....	55
2.3.1. Direction de l'Environnement W de Guelma.....	55
2.3.2. Centre d'enfouissement technique de la wilaya (CET)	55
2.3.3. Direction générale des forêts DGF.....	56
2.4. Elaboration et Traitements des données collectées.....	56
2.5. Stage.....	56

Chapitre 03 : résultats et discussions.

3.1. Les déchets plastiques à l'échelle locale.....	58
3.1.1. Direction générale des forêts DGF.....	58
3.1.2. Direction de l'environnement.....	58
3.1.2.1. Quantités des déchets valorisables au cours de l'année 2018.....	60
3.1.2.2. Quantités des déchets valorisables au cours de l'année 2019.....	62
3.1.2.3. Évolution des déchets plastiques au cours de la période 2018/2019.....	63
3.1.3. Centre d'enfouissement technique CET	66
3.1.3.1. Comparaison entre la quantité des déchets collectés par an entre la wilaya de Guelma et Marrakech et Kairouan en (2021).....	69
3.2. Les déchets plastiques à l'échelle nationale.....	71
3.2.1. Nombre des entreprises de recyclage du plastique en Algérie.....	71
3.3. Les déchets plastiques à l'échelle internationale.....	73

Sommaire.

3.3.1. Comparaison avec les pays voisins.....	73
3.3.2. Comparaison avec les pays développés.....	74
<i>Conclusion</i>	73
<i>Références bibliographiques</i>	78
<i>Webographie</i>	84
<i>Résumés</i>	

Liste des tableaux

Tableaux	titres	pages
Tableau 01	Les différents types de polymères, leurs densités et leurs utilisations.	11
Tableau 02	Inventaire des plastiques agricoles - principaux types.	26
Tableau 03	Matières plastique recyclables.	41
Tableau 04	Caractéristiques générales de la wilaya de Guelma. (La direction de l'environnement, Guelma).	44
Tableau 05	Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Belkhir (2002-2017).	45
Tableau 06	Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières station de Belkhir (2002-2017).	46
Tableau 07	Humidité relative moyenne mensuelle de l'air à la station de Belkhir (2002-2017)	47
Tableau 08	Les barrages de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).	49
Tableau 09	La superficie des forêts de la wilaya de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).	51
Tableau 10	Les zones industrielles de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).	52
Tableau 11	Les zones d'activité de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).	53
Tableau 12	Les sites naturels de la wilaya de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).	54
Tableau 13	Quelques informations tirées de la direction de l'environnement de la Wilaya de Guelma 2022.	59
Tableau 14	Quantités des déchets valorisables récupérées au cours de l'année 2018.	60
Tableau 15	Quantité des déchets plastiques par rapport aux déchets valorisables en 2019.	62
Tableau 16	Quantités de déchets plastiques par Kg de la période 2018/2019.	64

La liste des tableaux

⚠️ La liste des tableaux est une liste de tableaux qui sont utilisés dans le rapport. Elle est présentée sous forme de tableau à trois colonnes : le numéro du tableau, le titre du tableau et le nombre de pages.

Tableau 17	Nombre de communes et d'entreprise de la wilaya de Guelma.	67
Tableau 18	Type de matériaux à recycler dans le centre d'enfouissement technique de la wilaya de Guelma (2021).	67

Liste des figures

Figures	titres	pages
Figure 01	Quelques objets en matière plastique (DJEBIHA).	03
Figure 02	La production mondiale de plastique.	04
Figure 03	Courbe démentant l'augmentation de la consommation du plastique en Algérie durant les 10 dernière années.	05
Figure 04	La production mondiale de plastiques	14
Figure 05	Durée de vie de quelques déchets	21
Figure 06	Impact de la pollution plastique sur les animaux marins.	31
Figure 07	Mécanismes impliqués dans la dégradation des plastiques, vue générale	32
Figure 08	Différentes étapes de la biodégradation du plastique par les bactéries.	34
Figure 09	Représentation schématique du recyclage chimique.	40
Figure 10	Situation administrative de la zone d'étude.	43
Figure 11	Carte d'Hydrographie de la wilaya de Guelma.	48
Figure 12	Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger (2004-2014)	50
Figure 13	les points noirs des décharges sauvages de la wilaya de Guelma.	58
Figure 14	Quantité des déchets plastiques par rapport aux déchets valorisables en 2018.	60
Figure 15	Représentation typologie des plastiques existants (2018).	61
Figure 16	Quantité des déchets plastiques par rapport aux déchets valorisables en 2019.	63
Figure 17	Représentation typologie des plastiques existants (2019).	63
Figure 18	La quantité des déchets plastique entre 2018 et 2019 en Kg.	64
Figure 19	variation spatiale des déchets plastiques en 2018/2019.	65
Figure 20	la quantité des déchets totale par moins en 2012.	66

La liste des figures

Figure 21	Le devenir des déchets plastiques de la wilaya de Guelma.	67
Figure 22	Un collecteur de déchets plastiques en noir.	68
Figure 23	la densité de population (hab/km ²).	69
Figure 24	Tonnage annuel des déchets collectés par an (2021).	69
Figure 25	Répartition des entreprises de recyclage en Algérie.	71
Figure 26	Distribution des entreprises de recyclage du plastique à l'échelle nationale.	71
Figure 27	Distribution des entreprises de recyclage du plastique dans l'Est Algérien.	72
Figure 28	Nombre d'entreprise par rapport aux pays voisins.	73
Figure 29	Nombre d'entreprise par rapport les pays développés.	74

Liste d'Abréviation

AND : Agence nationale des déchets

AKD : Alkyde

ABS : Acrylonitrile butadiène Styène

ASTM : American Society for Testing and Materials

BR : Polybutadiène

BPA : le bisphénol A

CET : Centre d'enfouissement technique

CO₂ : Le dioxyde de carbone

CH₄ : Le méthane

CIRC : Le Centre International de Recherche sur le Cancer

DGF : Direction générale des forêts

DE : Direction de l'environnement

ENPC : groupe industriel des plastiques et caoutchoucs

EEB : The European Environmental Bureau

FTIR : La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

H₂O : monoxyde de dihydrogène

ISO : Organisation internationale de normalisation

N₂ : Diazote

NR : Polyisoprène

ONA : office national de l'assainissement Algérie

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONA : Office national de l'assainissement Algérie

ONU : Organisation des Nations Unies

PE : Polyéthylène

PP : Polypropylène

PVC : Polychlorure de vinyle

PET : Polytéréphtalates d'éthylène

PS : Polystyrène

PUR : Polyuréthane

PMP : Polyméthylpentène

PTFE : Polytétrafluoroéthylène

PPS : Polysulfure de phénylène

PHA : Polyhydroxyalcanoate

PAN : Acrylique

PMMA : Polyméthyl méthacrylate

PVA : Polyvinyle d'alcool

POM : Polyoxyméthylène

PMMA : polyméthacrylate de méthyle

PTFE : Polytétrafluoroéthylène

PELD : Polyéthylène basse densité

PEHD : Polyéthylène haute densité

PSE : Le polystyrène expansé

PVC : polyéthylène génère

PLA : l'acide polylactique

PUR : Polyuréthane

RUS : les résidus urbains solides

SBR : Styène butadiène

TNO : Les Territoires du Nord-Ouest

UV : Ultra-violets

Z.A.C : zone d'activité commerciale

Introduction

Introduction

Introduction

L'homme est une partie de l'écosystème de la terre. Il influence son environnement et réciproquement : l'homme utilise l'environnement et le transforme à travers l'économie, la technologie etc..., ainsi il crée son espace vital et assure ses besoins. (Bliefert, 2001).

Entre temps, l'homme est devenu le facteur déterminant dans l'écosystème. Il est surtout intervenu dans l'aménagement, l'industrialisation et fortement transformé son environnement. Il se produit des dommages, par l'introduction directe ou indirecte de substances ou d'énergie, on parle souvent de la pollution. (Bliefert, 2001).

Cependant 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. (Bliefert, 2001).

Parmi les diverses perturbations anthropiques affectant l'environnement, la pollution par les matériaux plastiques. L'importante croissance de la demande et donc de 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 (Europe : 20,4% de la production mondiale en 2013) (PlasticsEurope, 2016). La quantité de plastique produite dans le monde est aujourd'hui 170 fois supérieure à ce qu'elle était il y a 60 ans, à savoir 288 millions de tonnes par an (PlasticsEurope, 2013).

En 2018, l'ONU (l'Organisation des Nations Unies) 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, ce qui représente 10 millions de sacs plastiques 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 un véritable fléau mondial. (Payelle, 2018).

En Algérie, cinquième consommateur des sacs en plastique dans le monde, la gestion des déchets pose toujours problème. Selon le dernier rapport de l'Agence nationale des déchets (AND), les déchets en plastique sont les plus fréquents au niveau des trois régions du pays : l'Est, l'Ouest et le Centre. Ce qui représente "un fléau pour la biodiversité et pour la faune marine" (Labadla et Souaïssid, 2021).

Introduction

L'Algérie reste toujours subit un problème de gestion des déchets plastique et de manque d'organisme spécialisé de recyclage et de moyens, cela explique la pauvreté des données sur ce type de pollution.

L'objectif de notre travail est de contribuer au savoir de devenir des déchets plastiques dans l'un des wilayas de l'est, la wilaya de Guelma. Et la comparer à l'échelle nationale, régionale (Pays du Maghreb) et globale.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre constitue une étude bibliographique, où l'on présente les caractéristiques, la classification, les types et les méthodes de dégradation du plastique.

Nous présentons dans le deuxième chapitre une description de la zone d'étude sur le plan géologique, hydrologique et climatique et les méthodes mises en œuvre pour mener à bien cette étude.

Le troisième chapitre comporte la présentation des résultats et leurs interprétations.

Enfin, une conclusion et des recommandations sont proposées à la fin de ce document, ainsi que les références bibliographiques consultées.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique

1.1. Généralité

Les polymères synthétiques sont apparus à la fin du dix-neuvième siècle vers les années 1860, mais ce n'est seulement qu'après la seconde guerre mondiale que « l'essor des plastiques » a vraiment commencé. Depuis, nous observons un accroissement progressif de leur production, qui atteint ces dernières années plusieurs millions de tonnes/an. Grâce à leurs nombreuses propriétés ils sont utilisés dans de nombreux secteurs tels que le packaging, l'automobile et la santé. On estime même à plus de 8 milliards de tonnes la totalité des plastiques produites à ce jour. (Geyer *et al.*, 2017 in BISSAGOU KOUMBA, 2018).

Depuis la synthèse du premier plastique au début des années 1900, les plastiques se sont substitués à de nombreux autres matériaux comme le bois, les métaux et la céramique, grâce à leur légèreté, leur durabilité, leur résistance à la corrosion, leur facilité de production, leur faible coût et leur diversité d'applications. (Wong *et al.*, 2015 in Sacha, 2015)

On retrouve les matières plastiques et les objets dans de nombreuses utilisations de la vie courante (fig. 1) : bouteilles, emballages, films, tuyaux, piquets de clôture, mobilier de jardin, poubelles,... il n'y a qu'à observer autour de soi à la maison ou au bureau : le plastique est partout présent ! (Tristan, 2015)



Figure 01 : quelques objets en matière plastique (DJEBIHA, 2022).

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Le plastique a été conçu à la base pour améliorer les conditions de vie de l'homme, mais aujourd'hui, il devient une véritable préoccupation environnementale. **(BISSAGOU KOUMBA, 2018)**

Avec de telles grandes et variables applications, les plastiques contribuent à un volume toujours croissant des déchets solides. En l'année 1996, les plastiques ont évolués de près de 12% en poids, aux Etats-Unis. **(Franklin Associates Ltd, 1998 in Gouasmi, 2013)** et En 2013, 299 millions de tonnes de plastiques ont été produites dans le monde, dont 20% en Europe. **(PlasticsEurope & EPRO, 2015 in Sacha BREYER, 2015)**

Sa production mondiale (360 millions de tonnes en 2018) devrait doubler d'ici à 2050, environ 2 à 5% se retrouverait dans les océans. Cette forte croissance de la production plastique est tirée par l'essor du secteur de l'emballage (36% de la part du marché mondial). Selon une étude réalisée en 2015 par des chercheurs de l'université de Cadiz (Espagne) la mer méditerranée contient entre 1000 et 3000 tonnes des déchets plastiques. **(DPEI et ONEDD, 2021)**

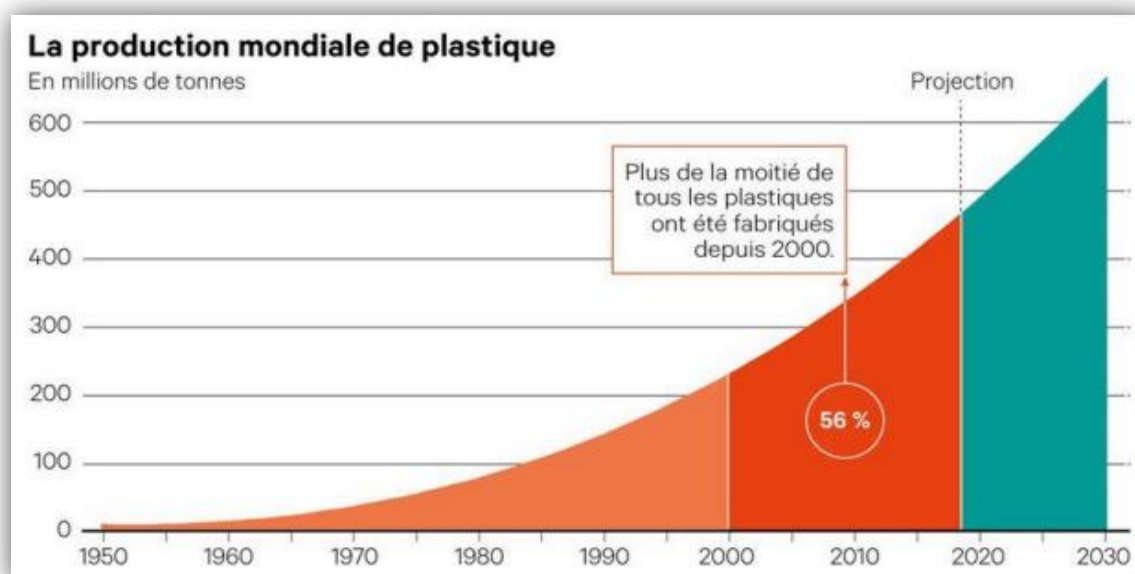


Figure 02 : la production mondiale de plastique. **(DPEI et ONEDD, 2021)**

L'Algérie est le deuxième importateur de matières plastiques sous forme primaire en Afrique et au Moyen-Orient avec 2,3 milliards de dollars en 2018, ce qui rend le marché

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

algérien un immense potentiel pour les exportateurs. Rien qu'en 2017, 828 kT ont été importé Après l'Egypte et bien devant le Nigeria avec 729 kT,

- Les Emirats Arabes Unis avec 658 kT,
- L'Afrique du Sud avec 627 kT,
- L'Arabie Saoudite avec 625 kT et
- L'Iran avec 473 kT.

L'Algérie est le premier importateur de technologie d'emballage sur le continent africain, suivie de l'Afrique du Sud et du Nigeria, dont l'Italie, l'Allemagne, la France, l'Espagne, la Chine et la Turquie sont ses principaux fournisseurs. (**National Waste Agency, 2019**).

En termes de consommation de cette matière, une augmentation de 11% par an a été enregistrée durant ces dix dernières années, passant d'un usage de 10 kg par habitant en 2007 à 23kg en 2017, avec une estimation de 25.8 kg en 2020, 60% de cette consommation est consacrée aux emballages, 20% au secteur du bâtiments et de la construction et le reste a d'autres industries. (**National Waste Agency, 2019 /2020**).

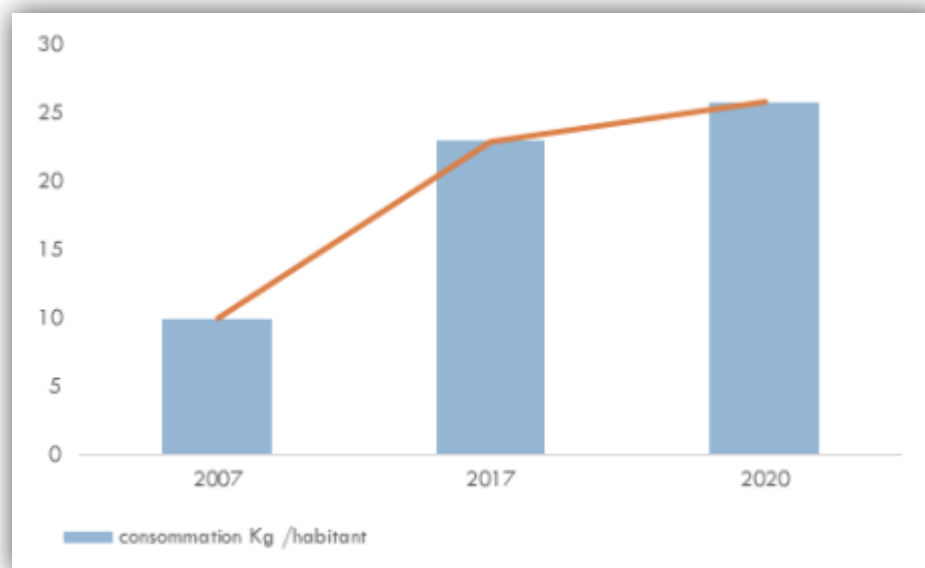


Figure 03 : Courbe démentant l'augmentation de la consommation du plastique en Algérie durant les 10 dernière années (**National Waste Agency, 2019 /2020**).

1.2. Historique sur la matière plastique

L'histoire du plastique débute en 1838 lorsqu'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 celluloid, considéré comme la toute première matière plastique artificielle. L'image de fond représente des balles de Ping pong, composées de celluloid. 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 (**FRANCK, 2013 in MERABTI et MALEK., 2020**).

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 polyméthacrylate 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 polytétrafluoréthylène, 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 haut 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 (**FRANCK, 2013 in MERABTI et MALEK., 2020**).

En l'an 2000, le polyéthylène et le polypropylène, sont les matières plastiques les plus produites. L'ABS, 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 (**FRANCK, 2013 in MERABTI et MALEK., 2020**).

L'usage des matières plastiques remonte à l'antiquité, cependant c'est avec les progrès de la chimie et l'essor industriel de la fin du XIXème siècle que les polymères, notamment de

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

synthèse, se sont véritablement développés. Les premiers signes de l'utilisation de matières plastiques datent du XV^{ème} siècle avant J-C, les Egyptiens utilisaient des colles constituées de gélatine, de caséine ou d'albumine. Ce n'est qu'à la fin du XV^{ème} siècle, suite aux grandes découvertes, que le caoutchouc (cao, le bois, tchu, qui pleure) fut découvert par les Européens. Les populations amérindiennes utilisaient ce matériau ancestral pour la fabrication d'objets variés de leur quotidien. Les naturalistes Charles Marie de La Condamine et François Fresneau de la Gataudière firent la première description scientifique du caoutchouc en 1736. En 1770, un chimiste anglais, Jacques Charles, découvre l'ancêtre de la gomme, le caoutchouc efface l'encre. Les découvertes concernant ce nouveau matériau se sont succédées au XIX^{ème} siècle (**Histoire du plastique, 2020**).

1839 : Découverte de la vulcanisation, chauffage prolongé avec du soufre rendant le caoutchouc naturel beaucoup plus résistant à la chaleur, tout en lui conservant son élasticité aux basses températures. (**Charles Goodyear**).

1862 : Fabrication de l'un des plus anciens plastiques artificiels, la Parkésine, à partir de cellulose des végétaux (Alexander Parkes). Présentée lors de l'Exposition universelle de Londres en 1862.

1869 : Fabrication d'un matériau de substitut à l'ivoire d'éléphant : le celluloïd (nitrate de cellulose végétale avec un agent plastifiant, le camphre). (A. Parkes et John Hyatt). Longtemps utilisé pour la fabrication des balles de tennis de table et des pellicules cinématographique. Très inflammable, il n'est quasiment plus utilisé aujourd'hui.

1884 : Premier fil artificiel à partir d'acétate de cellulose: viscose ou « soie artificielle » (Hilaire de Chardonnet). Remplace bas et sous-vêtements faits alors en coton et en laine.

1889 : Fabrication de la « pierre de lait » par durcissement de la caséine du lait avec du formol (du chimiste français Jean-Jacques Trillat).

1897 : Galalithe. Fabriquée à partir de caséine. Plus dure que la corne, plus brillante que l'os, colorable, elle sera très utilisée : manches de couteaux, boules de billard, boutons, bijoux fantaisie, stylos... (W. Krische et chimiste autrichien A. Spitteler).

1907 : Fabrication du plus ancien plastique synthétique, la bakélite (phénoplaste composé de phénol-formaldéhyde) aux nombreuses propriétés mais aux couleurs opaques, ternes et

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

brunâtres. Utilisée à l'époque pour les boîtiers de téléphone, poignées de casserole, prises électriques, cendriers,... (Belge L. H. Baekeland)

1908 : Fabrication du premier matériau souple et parfaitement transparent : la cellophane (chimiste suisse J. Brandenberger)

1926 : Départ du succès commercial du PVC (polychlorure de vinyle), fabriqué à partir de 57 % de sel et de 43 % de pétrole grâce à des additifs qui le rendent plus plastique (W. Semon).

1927 : Fabrication de PMMA (polyméthacrylate de méthyle) remplaçant le verre pour des vitres incassables (O. Röhm et Haas, société IG Farben).

1930 : Débuts de la fabrication industrielle du Polystyrène.

1933 : polyéthylène basse densité (PEBD) (ingénieurs E. Fawcett et R. Gibson). Utilisé comme isolant électrique performant pour protéger les câbles des radars.

1935 : polyamide, fibre annoncée comme « aussi solide que l'acier, aussi fine que la toile d'araignée, et d'un magnifique éclat » du pont de Nemours. Ce plastique présente un coefficient de friction faible et fait ses preuves dans les parachutes des G.I. lors du débarquement de 45. Il sera utilisé dans la confection de bas.

1937 : premiers polyuréthanes (Otto Bayer), utilisés comme adhésifs, « mousses » pour matelas et coussins, sièges d'automobile, ...

1938 : polytétrafluoréthylène (Téflon), isolant avec excellente résistance chimique et thermique (jusqu'à 250 °C avec pointes possibles à 300 °C). Sert dans l'industrie nucléaire militaire puis recouvre vers.

1960 les poêles à frire (pouvoir antiadhésif) et est présent dans des tissus techniques (goretex,...) (Roy Plunkett, chimiste de Du Pont de Nemours).

1940 et 41 : fabrication du silicone et du Caoutchouc synthétique qui répond aux besoins en matières premières des pays en guerre pendant la seconde guerre mondiale.

1949 : Les plastiques « mélamine-formol, MF » (Formica) découverts en 1941 envahissent les cuisines et le mobilier.

1950 : polyester. Le plus connu est le polytéréphtalate d'éthylène : PET, PETE (John Rex Whinfield et James Tennant Dickson).

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

1953 : polyéthylène haute densité (PEHD) par polymérisation de l'éthylène sous pression modérée (chimiste allemand Karl Ziegler, prix Nobel de chimie en 1963).

1953 : polycarbonate (PC), plastique très transparent et extrêmement résistant aux chocs (a équipé le casque des astronautes pour la mission Apollo 11 en 1969 !) (Chercheurs Bottenbruch, Krimm et Schnell de Bayer AG).

1954 : polypropylène (PP) (chimiste italien Giulio Natta, prix Nobel de chimie en 1963) 1961 : polyuréthane thermoplastique (Estane) (BF Goodrich).

1965 : polyamide léger et particulièrement résistant à la déchirure, aux chocs, au feu et à la corrosion (Kevlar). (Stephanie Kwolek et H. Blades de Du Pont de Nemours).

1.3.Définition et caractéristiques de la matière plastique

1.3.1. Définition

Le plastique est un matériau solide, qui contient comme composant essentiel un ou plusieurs haut polymères organiques synthétiques, formés, soit lors de la fabrication du polymère ou de la fabrication d'un produit fini par la chaleur et / ou pression (Andrady, 1990). La définition proposée englobe à la fois les produits en plastiques mais aussi des pastilles de résine vierge. Les polymères inorganiques tels que les verres sont exclus avec les polymères de faible poids moléculaire qui ne sont pas des polymères "haut" ou solides. La définition exclut aussi tous les polymères produits par des organismes vivants, y compris la cellulose, le caoutchouc naturel et les polyesters bactériens. Dans le cas d'un matériau composite, où un composant est un polymère, le matériau est exclu si le polymère lui-même est un composant mineur pas essentiel à la formulation (**ANDRADY, 1990 in OUARMIM et MERSEL., 2013**).

Les plastiques de consommation courante sont faits à partir de polymères (molécules à base de carbone constituées d'un enchaînement répété d'une ou deux unités de base). Ceux-ci sont sélectionnés en fonction de leurs propriétés spécifiques. Le polyéthylène téréphtalate (PET) convient bien à l'emballage alimentaire car il est clair et possède d'excellentes propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité. Le polypropylène (PP) et le polyéthylène haute densité (PEHD) possèdent une bonne résistance aux acides et solvants et sont utilisés pour emballer les savons et détergents domestiques. Le polyvinyle chloré (PVC) se compare avantageusement aux autres polymères en termes de propriétés mécaniques et durabilité, et sa

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

versatilité permet la fabrication d'objets ou d'emballages rigides ou flexibles. Le polystyrène (PS) peut quant à lui être utilisé sous forme rigide, lorsque la transparence est importante, ou expansée pour ses propriétés isolantes (**MERABTI et MALEK., 2020**).

Les polymères sont mélangés avec d'autres substances (additifs) afin de générer des plastiques avec les propriétés souhaitées. Par exemple, des charges minérales ou des fibres servent à renforcer la structure. Des molécules halogénées ou phosphorées peuvent être utilisées comme retardateurs de flamme. Certains composés plastifiants augmentent la malléabilité du plastique, et des composés compatibilisants favorisent l'homogénéisation lorsque plusieurs polymères sont mélangés ensemble. Enfin, des composés antioxydants et des stabilisants sont également employés pour augmenter la durabilité du produit (**MERABTI et MALEK., 2020**).

1.3.2. Caractéristiques de la matière plastique

1.3.2.1. 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 et {l'eau, ainsi qu'une imperméabilité {l'air (**Gordon, 2006 in BENAROUS., 2019**).

Deux groupes de matière plastiques sont distingués :

Les thermoplastiques : peut-être à plusieurs reprises ramolli et durci par refroidissement, ce qui signifie qu'il peut être réutilisé à plusieurs reprises.

Les thermodurcissables : soit les plastiques thermodurcissables, durcissent de façon permanente après avoir été chauffés, une fois fabriqués, ils sont indéformables sous l'effet de la chaleur ; ainsi en raison de leur point de fusion élevé, ils sont utilisés principalement pour résister à des grandes chaleurs (**NOWPAP, 2007 in BENAROUS., 2019**).

Dans le premier cas, il s'agit d'additifs (phtalates, biphényles) incorporés {certains plastiques pour augmenter leur résistance. Différents travaux ont montré que ces composés peuvent être toxiques pour certains animaux et l'homme (**LITHNERET al.2011 in BENAROUS., 2019**).

1.3.2.2. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques de la plupart des plastiques, présentent une haute résistance au vieillissement et une biodégradation minimale (Moore, 2008). 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.

Tableau 01 : Les différents types de polymères, leurs densités et leurs utilisations (**Hidalgo-Ruz et al., 2012 in Oudina, Agrane, 2018**).

Type de polymère	Abréviations	Densités (g.cm-3)	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	1,2	Rouleaux d'impression, pneus, semelles de chaussures, pare-chocs, matelas, siège auto, usages

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

			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 microondes
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 stérilisés
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 Styrene	ABS	0.8-1.04	Instruments de musique, bordures de cordon, usages électriques et médicaux, casques, canoës, appareils de cuisine, jouets.
Styrène butadiène	SBR	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)

Alkyde	AKD	1.24-0.10	
Acrylique	PAN	1.09-1.20	Contrôle de viscosité
Polyméthyl méthacrylate	PMMA	1.17-1.20	Sorbant pour la prestation d'ingrédients actifs
Polyvinyle d'alcool	PVA	1.16-1.30	Film, papier, containers
Polyoxyméthylène	POM	1.41-1.61	

1.3.3. La production et l'utilisation du plastique dans le monde

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 vert, le bois...etc. Les applications des plastiques sont nombreuses et variées. En Europe, environ 38 % des plastiques sont utilisés pour les emballages jetables (**Barnes *et al.*, 2009**). La production mondiale de la matière plastique a augmenté de façon constante au cours des dernières années. Cette production est actuellement d'environ 245 millions de tonnes par an et près de 25% de la production mondiale se déroule en Europe (**Plastic Europe, 2010**). L'utilisation de matières plastiques a atteint environ 100 kg par an et par habitant en Amérique du Nord et en Europe occidentale en 2005 et devrait augmenter à 140 kg d'ici 2015 (**UNEP, 2011**). Dans les pays asiatique l'utilisation actuelle est d'environ 20 kg de plastique par an et par personne, et est estimé à 36 kg d'ici 2015 (**UNEP, 2011**). Cependant après cinq décennies de croissance continue, une baisse de la production est enregistrée en 2008 en raison du ralentissement économique (**OUARMIM et MERSEL., 2013**).

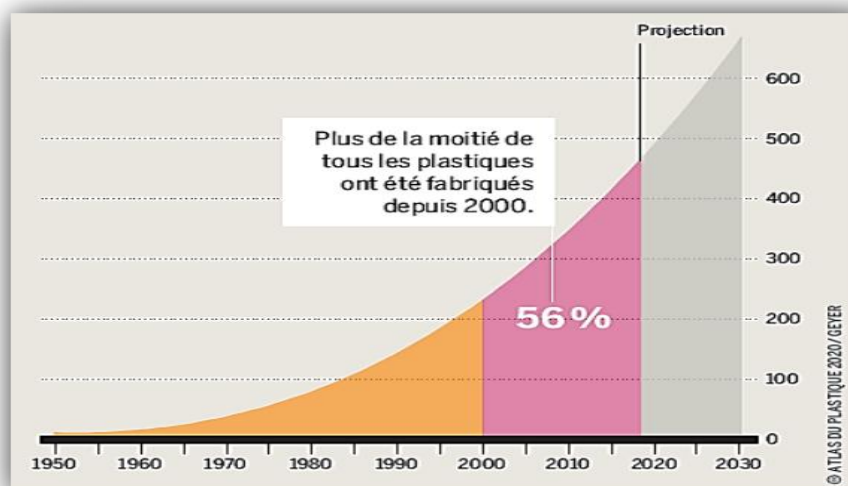


Figure 04 : La production mondiale de plastiques (source : POLLUTION PLASTIQUE : UNE BOMBE À RETARDEMENT?, .2020).

1.3.4. Types de plastique et leur composition (Classification)

Pas de possibilité pour reconnaître et 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. Système d'identification des résines développé par la Société de l'industrie plastique du Canada dans l'objectif défavorisé 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 plusieurs types de plastiques : près de 20 types de plastiques. Chacun comprend de nombreux grades permettant de conférer des propriétés précises en fonction de l'application choisie. Ce sont les familles d'utilisation courante :

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

Se prête facilement au moulage et à l'extrusion. Utilisé pour les objets domestiques, les éléments électriques et les peintures, PS expansé (obtenu en réchauffant les granulés de PS contenant un agent gonflant) isolations thermiques.

Polypropylène (pp): $[(-\text{CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)-)_n]$

Dur et insoluble dans n'importe quel solvant organique, haute résistance mécanique et chimique au-dessus de 100°C. Utilisé pour les appareils sanitaires et les conduites d'eau, fortement utilisé dans la construction automobile et pour les emballages alimentaires.

Polychlorure de vinyle (PVC) : $[(-\text{CH}_2\text{-CH}(\text{Cl})-)_n]$:

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Dur, inflammable, résistant aux acides et bases. Se ramollit à 80°C. Souvent on lui adjoint des plastifiants pour former des produits rigides, semi-rigides flexibles ou élastiques (selon la quantité). Utilisé pour les tuyauteries d'eau potable ou usée et pour les gaines de ventilation.

Polyéthylène (PE) : $[(-CH_2-)_n]$:

Utilisé pour la fabrication de feuilles barrières, récipients domestiques, canalisation des eaux usées, Fragilisé par les UV.

Polytétrafluoroéthylène (PTFE, teflon) :

Grande stabilité, peu de friction mécanique peu inflammable. Utilisé comme ruban dans les joints de tuyaux, mélangé avec des fibres de verre dans des toitures.

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. Ex : Films plastiques souples, Récipients souples

Polyéthylène haute densité (PEHD):

HDPE (ou PEHD) est recyclable. Ex : Bouteilles (Lait et jus de fruits), Jerricans

1.3.5. Classification des plastiques

Il existe plusieurs modes de classification des polymères. Ils sont classés selon divers critères:

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 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 transformation, ils sont sous forme de granulés ou de

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

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 (MERABTI et MALEK., 2020).

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 (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en 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 (MERABTI et MALEK., 2020).

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 subit 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 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 (MERABTI et MALEK., 2020).

1.4. Les avantages des matières plastiques

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

- Polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques.
- Un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport.
- Bonne sécurité d'hygiène pour les emballages alimentaire.
- Longévité et durabilité. - Résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact.
- Excellentes propriétés d'isolation thermique et électrique.
- Coût de production relativement bas.
- la capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs.
- Matériau de choix pour l'utilisation de tous les jours, style de vie humain et matière plastique son actuellement inséparables (**GOUASMI., 2013**)

Durabilité : 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.

Léger : 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, sont plus faciles à classer et à entretenir.

Nettoyage : Moins d'entretien des installations, car elles 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.

1.4.1. 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 (**committee.iso.org, 2016**). Ainsi, en 1989, des produit 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 (**BDSM, 2018**), tandis que seulement 9 % des plastiques étaient recyclés en 2017 (**EPA, 2019**). 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 2000 la très vive reprise de la croissance de la production mondiale

(BDSV, 2018). 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 **(DUPLESSY, 2021).**

1.4.2. 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 irremplaçable. Les plastiques sont des matériaux souples et facilement transformables comparé à d'autres matériaux tels que le verre. **(Collège le Monteil, 2012)**

1.4.3. 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. **(Dorothee et al., 2018).**

Dans l'industrie du textile, il existe toute une génération de fibres synthétiques, dont plus de 60 % sont à base de plastique. Plus économiques, elles 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.

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

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 mon écran de télévision qui au fil des années est devenu extra-plat et même flexible grâce à des diodes organiques. Je peux aussi varier la lumière de ma maison à mon gré 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, 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. Un bénéfice partagé par tous. [1]

1.5. 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 quelques

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

décennies, plus de 75 % de l'ensemble du plastique ayant déjà été produit est aujourd'hui un déchet. (WWF, 2019).

Au niveau des déchets, les matières plastique sont issus 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). (Tristan, 2015).

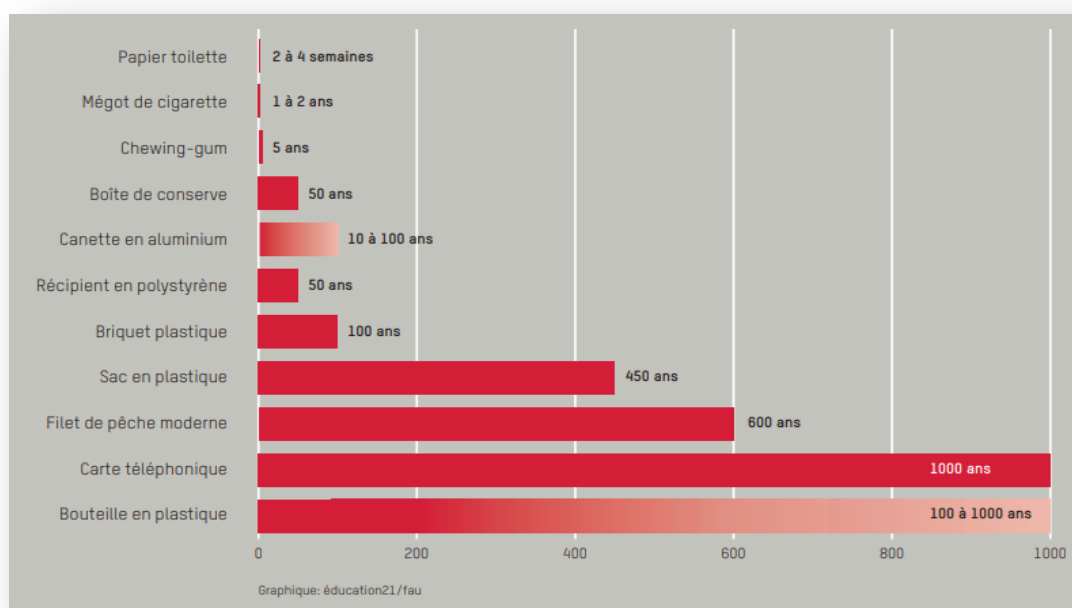


Figure 05 : Durée de vie de quelques déchets (Dorothee et al., 2018).

1.5.1. Source des 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 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. Les

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

caractéristiques et, 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, sel commun, etc.) ainsi que durant la transformation de matières plastiques en produits en plastique. (**Groupe de travail technique de la Convention de Bâle, 2001**).

1.5.1.1. 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. Ce peut être le cas des suivants :

- a) Matériaux composites;
- b) Plastiques qui sont trop dégradés pour avoir les propriétés requises soit pour un traitement soit en tant que sous-produits;
- c) Déchets contaminés (par ex. 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 lui-même qu'à l'absence de technologies disponibles pour les traiter. (**Groupe de travail technique de la Convention de Bâle, 2001**)

1.5.1.1.1. 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 répondront pas au cahier des charges et ne conviendront pas pour les applications prévues. Ces matériaux peuvent néanmoins trouver une utilisation appropriée dans d'autres applications spécifiques pour lesquelles :

- a) Ils satisfont aux restrictions réglementaires concernant le contenu en monomères et/ou les contaminants;
- b) Sont mélangés avec des additifs appropriés et répondent aux réglementations locales;

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

c) Contiennent les additifs nécessaires pour se conformer au cahier des charges de l'application finale. (**Groupe de travail technique de la Convention de Bâle, 2001**)

1.5.1.1.2. 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 :

- a) Correspondent à une formule connue et sont adaptés à la nouvelle application;
- b) Sont traités dans des conditions adaptées compte tenu de leur composition;
- c) Satisfont aux obligations réglementaires en matière de composition pour l'application proposée ;
- d) Entrent dans une même catégorie ou un ensemble connu de catégories proches. (**Groupe de travail technique de la Convention de Bâle, 2001**)

1.5.1.1.3. 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 :

- a) Les déchets sont triés en divers groupes exempts de contaminations;

- b) Les matériaux alvéolaires sont séparés des matériaux solides;
- c) Les conditions de transformation prennent en compte le traitement déjà subi par le matériau. **(Groupe de travail technique de la Convention de Bâle, 2001).**

1.5.2. 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 changées. 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. **(Ahour, 2007).**

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. **(Ahour, 2007)**

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. **(Ahour, 2007)**

Chaque source de déchets a ses caractéristiques particulières :

- a) Les résidus urbains solides (RUS) et les déchets plastiques agricoles sont géographiquement plus dispersés que les déchets de distribution;
- b) Les déchets du secteur agricole et les déchets de la distribution sont plus homogènes que les RUS ou les déchets de l'industrie automobile;
- c) Les déchets de la construction/démolition et les RUS contiennent plus de contaminants que les déchets plastiques des secteurs électrique et électronique. 35. En Europe de l'Ouest, les

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

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 le PS). (Achour, 2007)

1.5.2.1. Résidus urbains et ménagers

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

- Le PE (polyéthylène), par exemple : films, sacs, bouteilles de lait.
- Le PEHD (polyéthylène haute densité), par exemple : bondons, seaux, jouets.
- Le PVC (polychlorure vinyle), par exemple : bouteilles avec ligne de soudure, câbles, châssis.
- Le PET (polyéthylène téréphtalate), par exemple : bouteilles sans soudure avec un point dans le font, pull.
- Le PP (polypropylène), par exemple : bacs, pare-chocs.
- Le PS (polystyrène), par exemple : bouteilles, pots de yaourt.
- Le PA (polyamide), par exemple : les tissus. (Krichevsk, Shejnin., 1983 *in* Achour, 2007)

1.5.2.2. 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. (Reyne, 1991 *in* Achour, 2007).

1.5.2.3. 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,

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

mis en balle) et être utilisés dans les filières encore en gestation des plastiques mélangées. 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. En Algérie 50% Agricelle ENPC. (Groupe ENPC, 2005 in Achour, 2007).

Tableau 2 : Inventaire des plastiques agricoles - principaux types (Caractérisation et gestion des plastiques agricoles dans les fermes canadiennes, 2021).

Plastique agricole	Type(s) de résine	Secteur qui en génère le plus	Notes
Ficelle (presse à balles)	PP	Cult. commerciales	Ficelle de sisal exclue
Filet d'enrubannage	Mixed plastic	Cult. commerciales	/
Enrubannage pour balles	PEBDI	Cult. commerciales	utilisé principalement en Ontario, au Québec et au sud de la Colombie Britannique
Sacs et tubes pour balles	PEBDI	Cult. commerciales	/
Sacs d'ensilage	PEBD	Cult. commerciales	/
Bâches pour ensilages	PEBDI	Cult. commerciales	/
Sacs-silos à grains	PEBDI	Cult. commerciales	utilisé principalement dans les Prairies
Pellicule pour toiture de serre	PEBDI	Légumes en serre	/

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Plateaux de propagation	PP, EPS, PS, PVC	Légumes hors serre	/
Pots de croissance	PP, PEHD	Légumes en serre	/
Sacs fourre-tout	PP	Cult. commerciales	Aussi connus sous le nom de sacs tissés, grands récipients pour vrac souples ,mini-sacs ou super Sacs
Sacs en plastique (semences, aliments pour animaux, fertilisants)	Mylar (PEBD et alum.), PEBD, PP	Cult. commerciales	/
Contenants (produits de santé animale)	PEHD	Bétail	/
Paillis en plastique	PEHDI	Fruits, baies, noix	/
Gaine perforée	PEHD	Fruits, baies, noix	/
Acériculture (tubulure)	mPE	Acériculture	/
Acériculture (chalumeaux)	Nylon	Acériculture	/
Contenants (pesticides, fertilisants)	PEHD	Cult. commerciales	Sont inclus barils
Matériel de serres	PP	légumes en serre	Pinces, supports et bobines

1.5.2. Classification des types de déchets plastiques

Le passage de l'état de déchets {micro-déchets s'effectue par le phénomène de fragmentation sous l'action combinée des UV (Ultra-violet) 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 (Ryan et al, 2009). Une classification des déchets par la taille a été proposée (Ryan *et al.*, 2009 ; Thompson et al., 2009 in labadla et souaissid,2021) :

- Micro-déchets : dimensions < 5mm
- Méso-déchets : 5 mm < dimensions < 20 mm
- Macro-déchets : 20 mm < dimensions < 100 mm
- Méga-déchets : dimensions > 100 mm

1.6. Les inconvénients des matières plastiques (utilisation).

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 et qui affectent ainsi l'aspect environnemental et la santé publique. Leur collecte pour recyclage demeure insuffisante. Quant à leur distribution dans des centres d'enfouissement technique (C.E.T) efficace demeure une préoccupation majeure pour les pouvoirs publics. (Abdelli, 2021)

1.7. Influences et dangers des plastiques

La combustion des déchets plastiques ont 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. (TEZANOU., 2012).

La pollution par le plastique est aussi désastreuse pour les animaux terrestres, dont les hommes, 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 microplastiques, 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 (TRASANDE *et al.*, 2012).

1.7.1. 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. (MORRISON et TYREE., 2018).

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 (ABDAOUI., 2019).

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 (**DEMATTEO., 2011**).

1.7.2. 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 relarguées 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, 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. (**VILLANI *et al.*, 2020**).

1.7.3. 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 (**CARLTON et al., 2017**). 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 (**LEBRETON *et al.*, 2012**).

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Les microplastiques sont maintenant présents dans toute la colonne d'eau jusqu'aux plus grandes profondeurs et dans tous les sédiments océaniques. Ils ont été observés jusque dans la fosse des Mariannes. Les mollusques (moules, huîtres, etc.), les poissons d'élevage et ceux pêchés dans les eaux côtières ingèrent ces particules et leurs produits de dégradation, tels qu'additifs ou phtalates, 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 microplastiques sont 10 000 fois plus abondantes en volume que dans les eaux de surface contaminées. Les microplastiques 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 nanoplastiques sont très mal connues, les quelques mesures effectuées en océan ouvert montrent qu'aucun de ses compartiments n'est épargné. (DUPLESSY *et al.*, 2021).

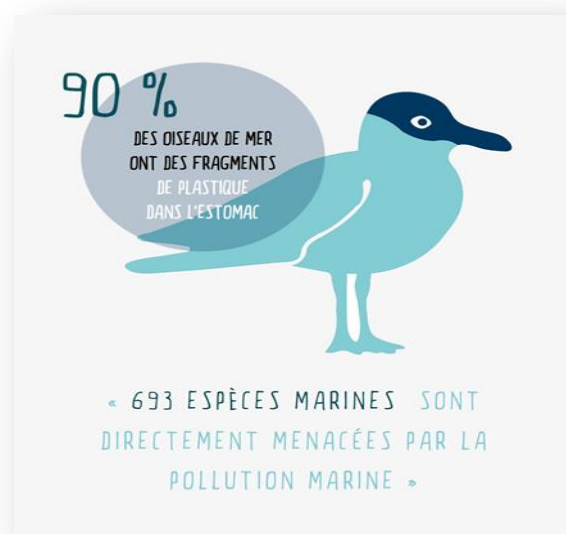


Figure 06 : Impact de la pollution plastique sur les animaux marins. [2]

1.8. Types et méthodes de la dégradation des déchets plastiques

Les matières plastiques sont connues pour leur stabilité et leur durabilité, en particulier les plastiques dit « conventionnels » (par opposition à biodégradables), produits en très grandes quantités depuis les années 50. Lorsqu'ils se retrouvent en tant que déchets dans

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

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 séjourné (sol, rivière, plage, différents compartiments océaniques). (Galgani *et al*, 2020)

Les matières plastiques connaissent une dégradation plus ou moins rapide, qui peut s'opérer sous l'effet de trois grands mécanismes

- l'action des rayons ultraviolets (UV), ou photodégradation ;
- l'action de l'eau, ou hydrolyse ;
- l'action de micro-organismes qui viennent coloniser les déchets (Laurent *et al*, 2020)

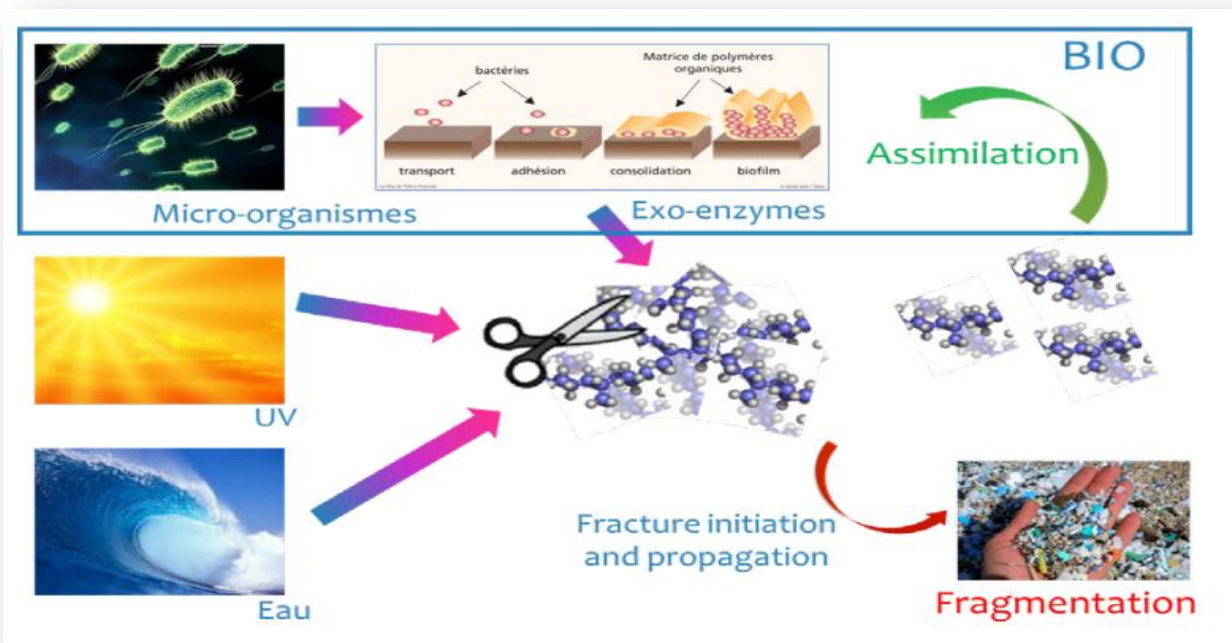


Figure 07 : Mécanismes impliqués dans la dégradation des plastiques, vue générale

(Source : M. George, Laboratoire Charles Coulomb in Laurent *et al.*, 2020)

1.8.1. Biodégradations

La dégradation d'un matériau signifie la perte de ses propriétés physico-chimiques (Vert *et al.*, 1992 in Hadda *et al.*, 2018). 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. **(Hadda et al, 2018).**

La biodégradabilité des plastiques est définie par des standards et l'utilisation du terme est donc bien encadrée. Selon la norme ASTM D6400, un plastique biodégradable :

« *Se dit d'un plastique dégradable dont la dégradation résulte de l'action de microorganismes naturellement présents dans le milieu tels que les bactéries, les mycètes ou les algues* » **(ASTM, 2012, in Richard, 2012).**

Lorsque le processus se déroule en présence d'oxygène, les résidus de cette biodégradation sont du gaz carbonique, de l'eau, des composés inorganiques et de la biomasse **(Recyc-Québec, 2007 in Richard, 2012)**. Un point important à retenir est que le terme biodégradable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique. **(Richard, 2012).**

Elle comprend de quatre étapes successives :

- **La bio-détérioration** est engendrée par l'action mécanique du biofilm bactérien qui se forme à la surface du plastique (Fig. 08) et qui va pouvoir agrandir les fissures déjà présentes **(Bonhomme et al., 2003 in Chabane, 2020)**. 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 chimiolithotrophes et chimioorganotrophes. **(Chabane, 2020)**.
- **La bio-fragmentation** 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 **(Ghoshet et al., 2013 in Chabane, 2020)**.

- **L'assimilation** consiste au transfert des molécules plastiques de taille $<600\text{Da}$ (daltons) dans les cellules bactériennes et à leur transformation en composés cellulaires et en biomasse. (Chabane, 2020).
- **La minéralisation** 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 *R. ruber* C208 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 de plastique (Sivan, 2011 in Chabane, 2020). 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 (Zettler *et al.*, 2013 in chabane, 2020)

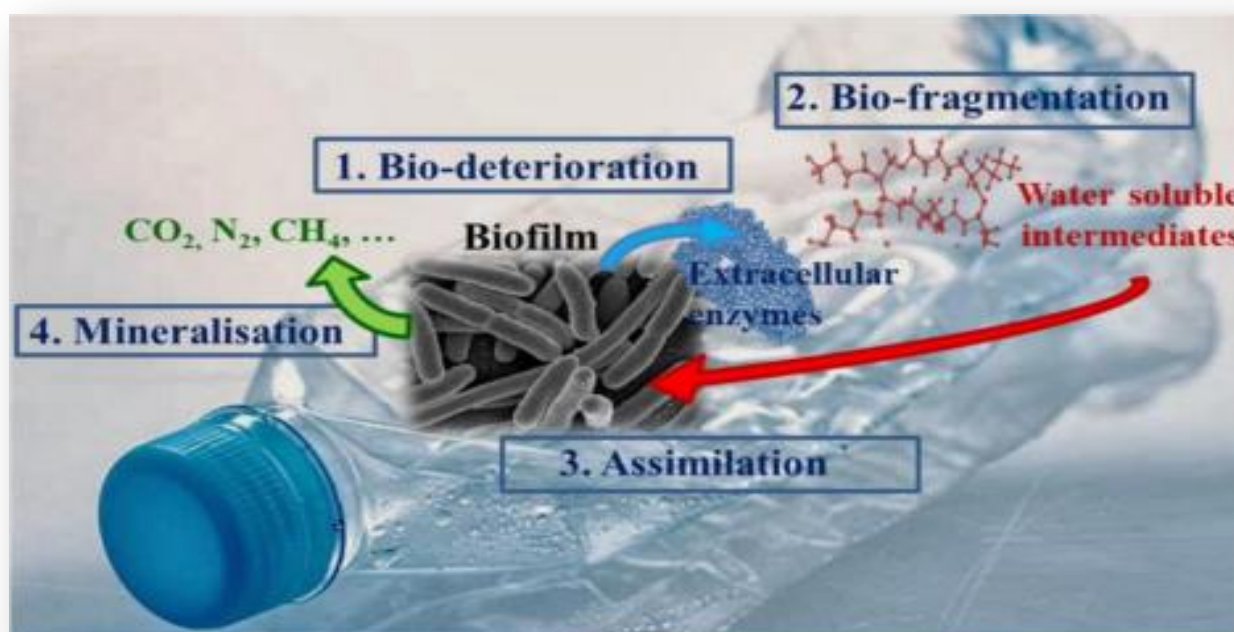


Figure 08 : Différentes étapes de la biodégradation du plastique par les bactéries (Dussus et Ghiglione, 2005 in Chabane, 2020).

1.8.2. Dégradation par la lumière (photo dégradation)

Les matières plastiques se décomposent en premier lieu par la dégradation photooxydative activée par le rayonnement solaire. L'effet de ces rayonnements dépend de leur longueur d'onde. En effet, l'énergie spectrale du rayonnement solaire atteignant la surface de la terre se situe entre 298 nm dans la région Ultraviolet (UV) et 2500 nm dans la région du proche infrarouge. La plupart des dégradations photo-oxydatives se produisent dans les courtes longueurs d'onde (280nm-420nm). Ces derniers sont capables de briser des liens solides (**Hammer, et al., 2012 in Benarous, 2019**). Ainsi l'effet du rayonnement solaire sur le plastique dépend de la longueur d'onde du rayonnement, de la force des liens {l'intérieur du polymère (**Andrady, 2003 in Benarous, 2019**) mais aussi de la présence de chromophores (Un chromophore est un groupe chimique capable d'absorption sélective de lumière résultant de la coloration de certains composés organiques aromatiques) qui peuvent absorber des longueurs d'onde plus longue que 290 nm. (**Benarous, 2019**).

1.8.3. Dégradation par l'eau (hydrolyse)

1.8.3.1. 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 (**Amass, 1998 in Saaidi, 2008**). 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 (**Li, 1999 in Saaidi, 2008**). Le pourcentage de rupture de liaisons ester déterminé par FTIR est peu différent en présence ou en absence de micro-organismes (**Agarwal, 1998 in Saaidi, 2008**). 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. (Saaidi, 2008).

1.8.3.2. 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 (Van der Zee, 1997).

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. (Sophie, 2002).

1.8.4. Problématique environnementale

Les matières plastiques sont associées à une large problématique environnementale et sanitaire.

Ils ont dérivées de ressources non renouvelables, tel le pétrole et le gaz naturel, forment la majeure partie des matières plastiques produites. 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 lexicalement 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 (Thielen, 2012 in Laurent, 2013). La production de plastiques biosourcés ne cesse de croître. La production mondiale de ces plastiques

doublera entre 2010 et 2015. L'industrie fait valoir qu'ils constituent une avancée sur le plan environnemental, mais qu'en est-il vraiment ? (**Laurent, 2013**).

1.9. Techniques de recyclage des matériaux plastiques

Lors du développement d'un nouveau produit, des questions se posent, du type: «Quel sera le comportement du produit vis-à-vis de l'environnement lorsqu'on l'utilisera?», «Que se passe-t-il lorsqu'un produit a atteint la fin de son cycle de vie ?» A ce stade, le recyclage joue un rôle particulier. (**Bliefert, perraud, 2001**).

1.9.1. Définition de recyclage

La directive 94/62/CE le définit comme un « retraitement dans un processus de production de déchets aux fins de leur fonction initiale...».

La norme Afnor H 00 015 considère que « la valorisation par recyclage consiste à utiliser les matériaux ou matières premières contenues dans l'emballage afin de fabriquer un nouvel emballage ou un autre produit ».

En fait le recyclage se trouve à la confluence de deux considérations :

- la production de matériaux ou de produits finis à partir de matières premières non traditionnelles;
- le mode de traitement d'un déchet. (**Alain, 2013**).

1.9.2. Recyclage des plastiques

Auparavant, le faible coût des produits pétroliers de base ne favorisait pas l'émergence d'un marché conséquent des matériaux plastiques recyclés. Aujourd'hui et depuis quelques années, le recyclage des matières plastiques représente un enjeu considérable. En effet, la valeur calorifique du produit et la montée du prix du pétrole, font que le recyclage du plastique a de belles années à venir. La principale motivation au recyclage des plastiques est l'économie globale de matière première pétrolière, surtout pour les pays qui sont dépendants de fournisseurs étrangers. La grande variété de plastiques (700 types existants) et l'évolution des technologies de recyclage font que les activités de cette industrie sont en perpétuelle évolution. Une première voie de valorisation des plastiques passe par la récupération d'énergie: le pouvoir calorifique des plastiques égale ou surpasse celui du charbon. C'est via l'incinération contrôlée que cette énergie peut être récupérée. La plupart du temps, les

plastiques sont mélangés aux ordures ménagères ; et l'incinération fournit de la chaleur et/ou de l'électricité. Cela peut prendre aussi la forme de combustible de substitution dans des installations gourmandes en énergie comme les cimenteries par exemple. La seconde voie de valorisation des plastiques est le recyclage qui permet la transformation des déchets plastiques pour la même utilisation qu'à leur origine ou pour d'autres utilisations. (Tristan, 2015).

1.9.2.1. Recyclage primaire ou ré-extrusion

Cette méthode de recyclage est basée sur la réintroduction de déchets industriels ou de mono-polymères 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. (Achilias, 2012 *in* Feghali, 2015).

1.9.2.2. Le recyclage mécanique des plastiques

Ce recyclage se fait de façon schématique 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,...

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. (Alain, 2020).

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 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 conclut qu'il est

écologiquement justifié de recycler mécaniquement les déchets de matières plastiques d'emballage jusqu'à une proportion de 30 % (Alain, 2001).

1.9.2.3. Le recyclage chimique des plastiques

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. (Alain, 2020)

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 et le poly méthacrylate de méthyle (PMMA), du fait de problèmes pratiques et de rentabilité. Ce principe de recyclage n'en est encore qu'à un stade pilote. (MOHAMMEDI, 2016)

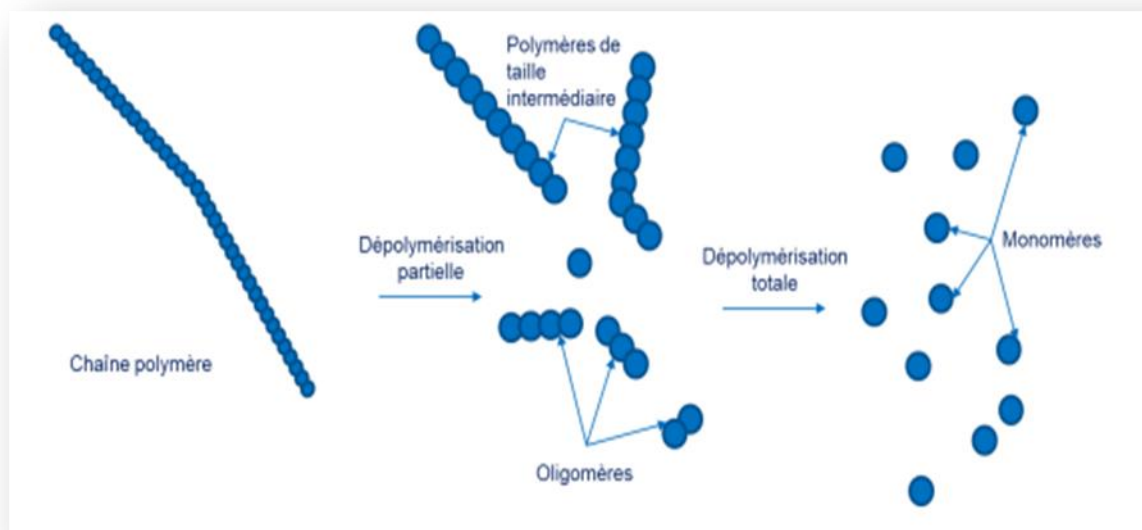


Figure 09 : Représentation schématique du recyclage chimique (Arnaud P *et al*, 2020).

1.9.2.4. Incinération

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. (Feghali, 2015).

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 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. (**Jean-Claude et al., 2012**).

1.9.3. Type des matières plastiques recyclables

Parmi les matières plastiques les plus connues qui trouvent une application secondaire par voie de recyclage mécanique, on peut citer les suivantes (tableau 3).

Tableau 03: Matières plastique recyclables. (**Tristan, 2015**).

Application primaire du plastique	Application secondaire après recyclage
Polyéthylène haute densité PEHD bouteilles, bouchons, flacons, seaux, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation, feuilles pour sacs à ordures ménagères, caisses à claire-voie, ...	Couvercles, fûts, palettes, seaux, plaques, caisses à claire-voie, emballages et produits de remplacement du bois, sacs à usage industriel, conteneurs de déchets, flacons pour produits de nettoyage....
Polyéthylène basse densité PEBD Feuilles d'emballage, films pour l'agriculture et Thorticulture, films extensibles, jouets, revêtements, tuyaux d'irrigation, sacs pour fruits et légumes, sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires,...	Sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires, films pour l'agriculture, films pour la construction, palettes, tuyaux,...
Polystyrène PS Emballages à usage unique pour viande et charcuterie, glaces, et légumes, appareils électriques, gobelets à café, tasses et assiettes, cassettes vidéo et audio, jouets,...	Cintres, films, emballages, isolation, profilés, matériel électrique et électronique,...
Polystyrène PP Pots à yaourt, barquettes de beurre, caisses à claire voie, plats pour micro-ondes, emballages médicaux, pièces pour automobiles, tapis et fibres, pièces d'appareils électriques, meubles de jardin, bouchons de	Caisses à claire-voie, palettes, emballages pour des liquides techniques (peinture), pièces pour automobiles, châssis cachés, pièces pour matériel électrique, pièces de batteries pour automobiles, caisses à outils, mobilier de. jardin, textile, bacs à fleurs,....

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

bouteilles et flacons.....	
Polystyrène expansé PSE Emballages divers. appareils ménagers et électroniques, instruments, alimentaires, restauration rapide, isolation thermique.	Pièces pour CD, pots de fleurs ornementaux, cintres, plaques d'isolation, emballages pour le transport, agglomérés légèrement isolants, substrat pour plantes,...
Polyéthylènetéréphtalate PETP ou PET Bouteilles pour boissons gazeuses, emballages pour l'industrie alimentaire, vêtements.	Bouteilles, bourre pour anoraks, coussins et sacs de couchage, gants, pulls, laine polaire, corde, tapis, films, bandes d'emballage,...
Polyuréthane PUR Mousse d'isolation, de confort pour coussins et matelas, appuie-tête, accoudoirs, éponges, mousses diverses	Tatamis, couche sous-jacente de tapis, isolation acoustique, pièces pour automobiles, tapis pour bétail, mortier isolant,...
Chlorure de polyvinyle PVC Profilés pour la construction, châssis de fenêtres, tuyaux d'évacuation, revêtements de sols, gouttières, isolation des câbles, cartes de crédit, produits médicaux (ex : poches pour plasma sanguin), blisters, bouteilles, revêtements divers.	Revêtement de tuyaux, panneaux de façade, tuyaux, éléments pour systèmes de stockage, revêtement de sol, grillage, rails, conteneurs, chaussures, mobilier de jardin,....

Les techniques de recyclage chimiques sont bien développées pour le PET, les polyamides et le polystyrène. Depuis quelques années, l'effort s'est porté sur le recyclage chimique du PVC qui représente un enjeu majeur puisqu'il représente une part importante des déchets plastiques. Effectivement, les intérêts économiques influencent la recherche et le développement de recyclages des plastiques. **(Tristan, 2015).**

Chapitre II :
Matériel et méthodes

2.1. Description de site d'étude

2.1.1. Situation géographique de site d'étude

La wilaya de Guelma occupe une position géographique stratégique, elle se situe au Nord-Est du pays ($36^{\circ} 25'N$, $7^{\circ}25' E$) et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba – Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum-El-Bouaghi et Tébessa), outre la proximité du territoire tunisien à l'Est. Au cœur d'une grande région agricole à 290 m d'altitude, elle s'étend sur une superficie de 386 624 hectares et entourée de montagnes (Maouna, Debagh, Houra).

Elle est limitée :

- ⊕ Au Nord, par la wilaya d'Annaba,
- ⊕ À l'Ouest, par la wilaya de Constantine,
- ⊕ Au Sud par la wilaya d'Oum el Bouagui,
- ⊕ À Nord-est par la wilaya d'El Taraf,
- ⊕ À Nord-ouest par la wilaya de Skikda.



Figure 10 : situation administrative de la zone d'étude.

(Source : Direction du commerce Guelma)

Chapitre 2 : matériels et méthodes

Le territoire de la Wilaya renferme 34 communes qui constituent les unités territoriales et 10 Dairas après le découpage administratif de 1990.

Il est à remarquer que ce découpage fait ressortir des communes d'un niveau intermédiaire d'urbanisation, des communes semi-urbaines et des communes rurales. **(La direction de l'environnement, Guelma).**

Tableau 04: caractéristiques générales de la wilaya de Guelma. **(La direction de l'environnement, Guelma).**

population de la wilaya	570 114 (actuel)
Superficie de la wilaya	3.686,84 Km ²
Superficie des terres agricoles	264618 Ha
Superficie des forêts	116864,95 Ha

2.1.2. Le cadre naturel

2.1.2.1. Le contexte climatique

La Wilaya de Guelma se caractérise par un climat Sub-humide au centre et au Nord et semi-aride vers le Sud. Ce climat est doux et pluvieux en hivers et chaud humide en été.

L'année hydrologique est caractérisée par trois périodes bien distinctes :

- Une période pluvieuse : répartie sur trois mois de la saison hivernale, (Novembre, décembre et janvier).
- Une période relativement pluvieuse répartie sur la période la plus longue de l'année (septembre, octobre, février, mars, avril et mai)
- Une période sèche représentant les mois de juin, juillet et août (été) (la direction de l'environnement, Guelma)

La zone d'étude est caractérisée par un climat type méditerranéen, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation météorique et la température.

2.1.2.1.1. Précipitation

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau, ainsi que celui des nappes aquifères. **(Davide, 1956).**

La précipitation est la quantité d'eau météorique totale liquide au solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée la section pluviométrique. Les précipitations permettent la constitution d'un stock d'eau qui va être soumis à plusieurs processus de « vidange » et particulièrement les processus d'évaporation, de ruissellements de surface et de pertes par infiltration **(Chaponnière, 2005 in Saadi et Lahmar, 2018).**

Les données utilisées sont rapportées du mémoire de master de BELKHARCHOUCHE et LARIFI 2019, au niveau de la station de Belkhir Guelma pour la période (2002-2017).les valeurs moyennes sont présentées dans le tableau 05.

Tableau 05: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Belkhir (2002-2017).

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitations (mm)	44.34	42.62	67.28	78.18	93.61	71.14	77.35	57.31	38.01	17.23	5.77	17.05

L'observation du précédent tableau, montre que les mois de novembre, décembre, janvier et février, restent les mois les plus pluvieux, Cependant, nous remarquons, que le mois de janvier demeure le plus pluvieux (93.61 mm). A l'opposé le mois de juillet est le moins arrosé (5.77).

2.1.2.1.2. Température

Les températures constituent l'autre élément majeur conditionnant le climat d'une région. Elles permettent de déterminer l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement, interviennent aussi dans le développement du rythme biologique des végétaux et facilitent l'établissement du bilan hydrique. **(Davide, 1956).**

Voici des valeurs moyennes mensuelles de la période (2002-2017) d'après la station Belkhir. (Tableau).

Tableau 06: Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières station de Belkhir (2002-2017).

	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moy
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
T°C	23.5	20.1	14.6	10.8	9.65	10.16	12.4	15.5	19.3	22.	27.	27.	17.83
	8	3	3	6			8	8	2	8	48	35	
T°C	19.45			10.22			15.79			25.87			

Ce tableau montre que :

- ⊕ Les températures moyennes varient de 10.22°C en hiver à 22.87°C en été
- ⊕ La température la plus basse est au mois de janvier (9.65°C)
- ⊕ La température maximal est au mois de juillet et aout varies de 27 °C

2.1.2.1.3. Les vents

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et à un degré moindre, sur les températures (Alain Marre, 1992) ; les vents soufflent fréquemment dans des directions instables et à différentes intensités en fonction des saisons.

Le vent est l'un des éléments le plus caractéristique du climat, il a un effet sur les précipitations et les températures activant ainsi l'évaporation. Les vents Nord-Ouest sont les plus violents et les plus dominants pendant tous les mois de l'année, ce qui explique le grand développement des dunes de l'Est algérien, ils sont souvent liés aux pluies de quinquages qui apportent les précipitations les plus importantes, venues de l'atlantique. Les vents du Sud-est parfois Sud-ouest dus généralement aux siroccos provenant du Sahara, sont plus fréquents pendant le mois d'août avec une haute température. (Saadi et Lahmar, 2018).

2.1.2.1.4. L'humidité

L'humidité relative est l'un des paramètres principaux du cycle hydrologique. Elle conditionne l'évapotranspiration (Mansouri, 2009 in BELKHARCHOUCHE et LARIFI, 2019).

Chapitre 2 : matériels et méthodes

L'humidité de l'air est son contenu en vapeur d'eau; Elle s'exprime par l'humidité relative, qui est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère exprimé en pourcentage par rapport à l'humidité saturante (100%) pour la température considérée (**Brun et Mary, 2003 in BELKHARCHOUCHE et LARIFI, 2019**).

Selon les données mensuelles fournies par la station météorologiques de Guelma durant la période 2002-2017, le taux maximal d'humidité est de 77.68 % enregistré pendant le mois d'aout, tandis que le minimum est de 55.56 % enregistré pendant le mois de mars.

Tableau 07: Humidité relative moyenne mensuelle de l'air à la station de Belkhir (2002-2017).

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
L'humidité relative(%)	68.79	60.41	55.56	57.27	66.75	70.3	73.66	77.68	73.28	74.1	74.79	72.85

2.1.2.2. Le réseau hydrographique

2.1.2.2.1. Les Principaux oueds

1. **Oued Seybouse** C'est la confluence des oueds Cherf et Bouhamdane à Mdjez Ammar qui donne naissance à la Seybouse.il prend sa source à Medjaz Ammar (point de rencontre avec oued Charef et oued Bouhamdane). Il traverse la plaine de Guelma-Bouchagouf sur plus de 45 Km du Sud au Nord. Son apport total est estimé à 408 millions m³/an à la station de Boudaroua (**la direction de l'environnement, Guelma**).

2. **Oued Bouhamdane** prend sa source dans la commune de Bouhamdane à l'Ouest de la Wilaya de Guelma. Son apport total est estimé à 96 millions m³/an à la station de Medjaz Ammar (**la direction de l'environnement, Guelma**).

3. **Oued Charef** prend naissance au Sud de la Wilaya et son apport total est estimé à 107 millions m³/an à la station de Medjaz Ammar (**la direction de l'environnement, Guelma**).

4. **Oued Mellah** prévenant du Sud –Est, ce court d'eau enregistre un apport total de 151 millions m³/an à la station de Bouchagouf (**la direction de l'environnement, Guelma**).

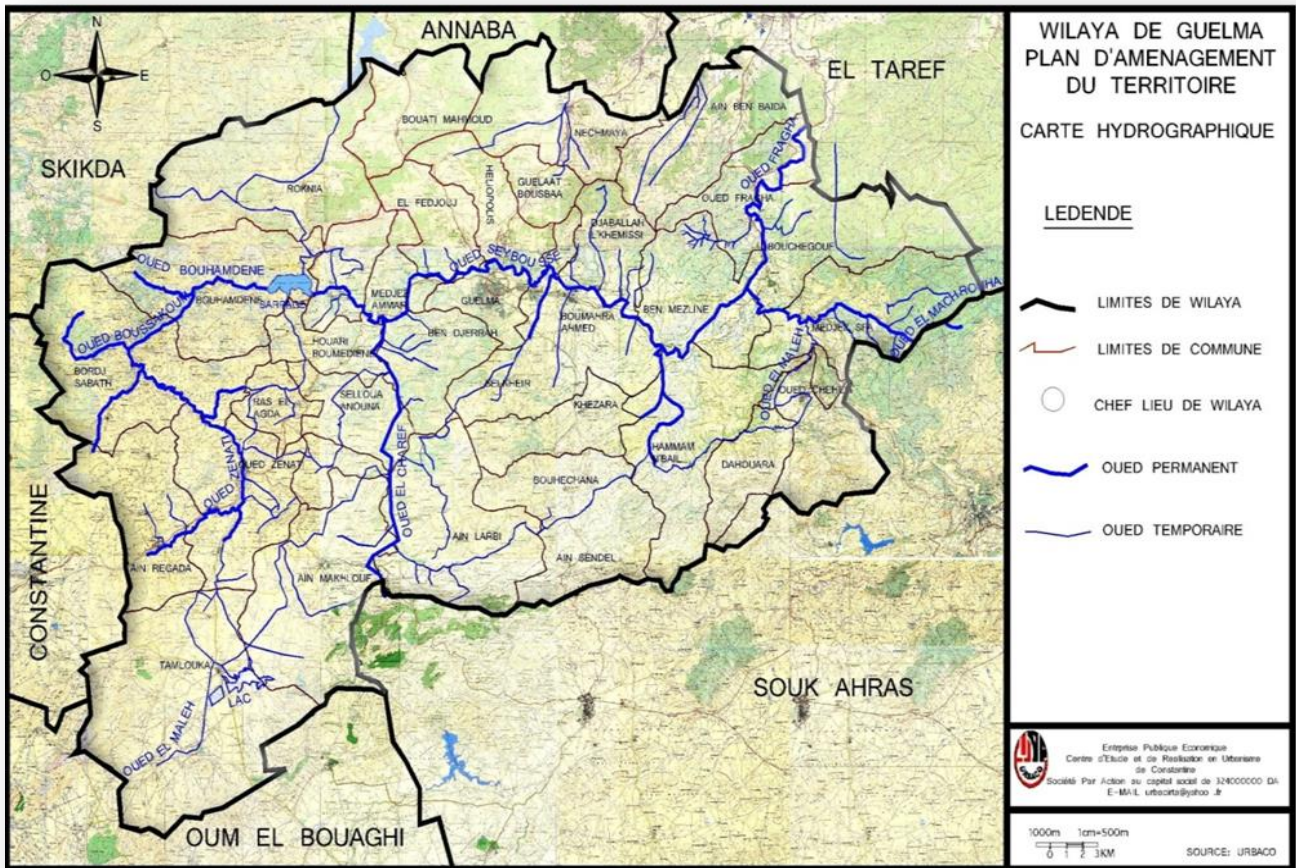


Figure 11 : Carte d'Hydrographie de la wilaya de Guelma (source : la direction de l'environnement, Guelma)

2.1.2.2.2. les barrages

D'après la direction de l'environnement, Guelma :

Tableau 08 : les barrages de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).

Nom de barrage	Bassin versant	superficie (km)	profondeur de l'eau	type	qualité des eaux	usage	faune
Bouhamdane	Bouhamdane	07	70	barrage	douce	irrigation	Canard colvert, canard souchet, poule d'eau, héron cendré, la carpe
Medjez el begar	Oued charef	0.2	25	mini barrage	douce	irrigation	Canard colvert, canard souchet, poule d'eau, héron cendré, cigogne blanche

2.1.3. Climagramme d'Emberger

Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond. Le quotient pluviothermique d'Emberger (1955), est déterminé selon la formule suivante:

$$Q2 = 3.43 \times P M - m$$

Q2: Quotient pluviothermique d'Emberger.

P: Moyenne des précipitations annuelles (mm).

M: Moyenne des maximums du mois le plus chaud (°C).

m: Moyenne des minimums du mois le plus froid (°C).

Selon la valeur de Q2 qui égale à 66,88 notre région est classée dans l'étage bioclimatique à végétation semi-aride à hiver tempéré (**Chahat, 2018**).

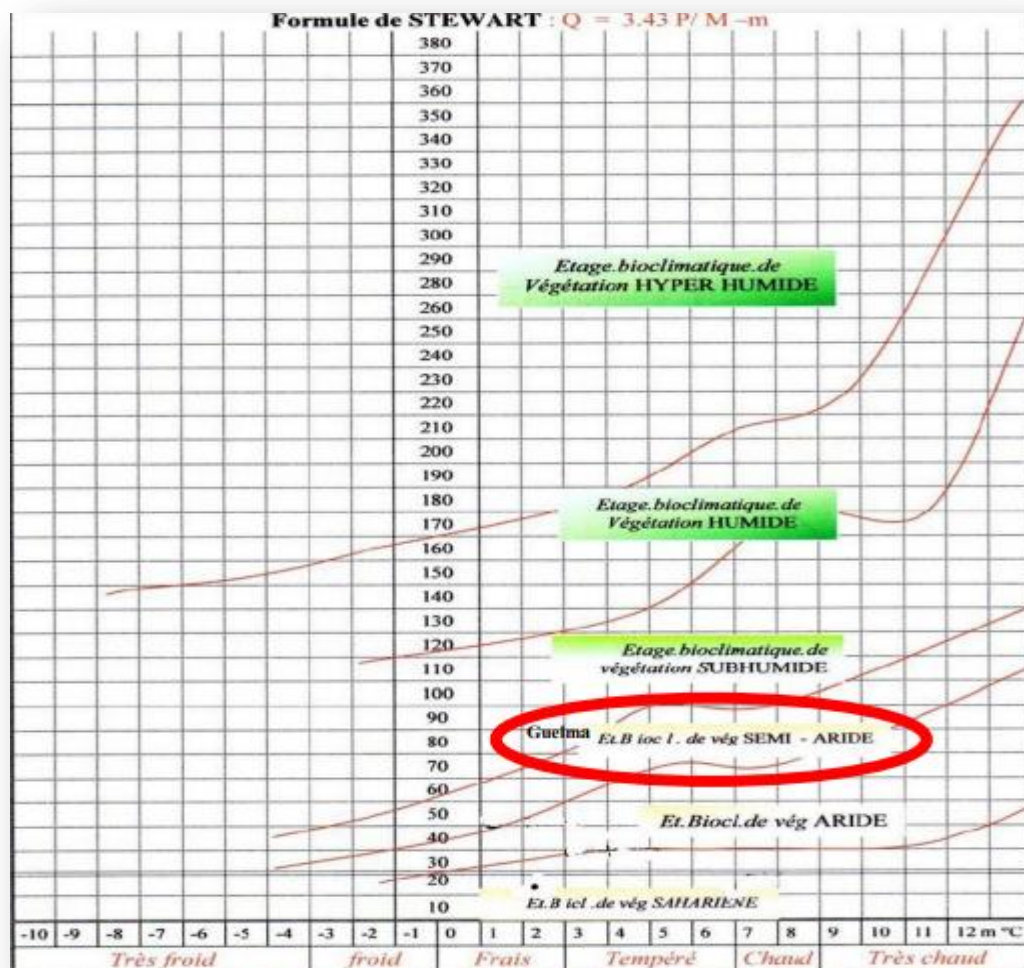


Figure 12: Situation de la région de Guelma dans le climagramme d’Emberger (2004-2014)

2.1.4. Relief

Guelma est caractérisée par son relief diversifié, mais relativement peu accidenté, elle est subdivisée en trois zones bien distinctes :

- Zone de montagnes occupent près de 30 % de la superficie totale.
- Zones des collines et piémonts occupent 10 % de la superficie totale.
- Zones des basses plaines occupent 60 % de la superficie totale. (Chahat, 2018).

2.1.5. Couvert végétal

Il est divisé en deux milieux :

• **Milieu agricole:**

La région est réputée par la céréaliculture principalement le blé, l'orge ainsi que les espèces fourragères au sud, le nord-est est caractérisé par l'arboriculture (agrumes, pommades, amandier) et la viticulture avec la présence de multiples d'espèces spontanées qui se développent sur les terrains incultes. (Chahat, 2018).

• **Milieu forestier :**

Les forêts couvrent une superficie de 116864 hectares, soit 31,70 % de la surface total de la wilaya. Elles sont constituées principalement de chêne liège, chêne zeen, chêne vert, Eucalyptus, pin d'Alep, pin maritime, pin pignon, du cyprès et des maquis oléo-lentisques occupent les montagnes et une partie des piémonts. (Chahat, 2018).

2.1.5.1. Potentialités forestières

D'après la direction de l'environnement de la wilaya la forêt locale occupe 31.7% du territoire de la wilaya, soit une superficie de 113,182 Ha qui se répartissent comme suit :

Tableau 09 : la superficie des forêts de la wilaya de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).

Forêts (Denses + Claires)	32.098 ha
Maquis et broussailles	67.502 ha
Parcours et Vides	13.582 ha
Total	113.182 ha

- ✓ Superficie couverture forestière totale: 113.182 ha, soit un taux de 31,70 % de la superficie totale de la Wilaya.
- ✓ Paysage forestier: discontinu et hétérogène confiné dis continuellement dans des massifs répartis d'Ouest en Est.
- ✓ Grands espaces de terrains: à vocation forestière dans la partie Sud-est.

Chapitre 2 : matériels et méthodes

- ✓ Important potentiel de bois : (chêne zen et liège : forêts de Béni Salah à Bouchegouf, de Houara à Ain Ben Beida et Djeballah, Mahouna à Ben Djerrah et Béni Medjeled à Bouhamdane) totalisant près de 19.771 ha de forêts et moyennant une production de l'ordre de 3.000 Stères de Chêne Zen et chêne liège et de 2.000 M3 de bois.

2.1.5.2. Environnement industriel

La wilaya de Guelma est à vocation agricole par excellence ainsi que le thermalisme à cet effet l'industrialisation est en phase embryonnaire avec quelque industrie agro-alimentaire telle que les conserveries de tomates, les moulins, la fabrication de pâte alimentaire.... **(La direction de l'environnement, Guelma).**

•Nombre de Zone industrielle

Tableau 10 : les zones industrielles de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).

Z.I	Superficie (m ²)	Nombre de lots		
		Crée/ Cédés	En construction	Achevés
Z.I à Draa Lahreche Guelma /Belkheir	450000.00 m ²	70/70	17	00
Z.I Bendjarah	1400000.00 m ²	En cours	/	/

•Nombre de Zone d'activité







Tableau 11: les zones d'activité de Guelma (**La direction de l'environnement, Guelma**).

Z.A.C	Superficie (m ²)	Nombre de lots		
		Crée/ Cédés	En construction	Achevés
Z.A.C de Belkheir	82345.00	36/36	09	09
Z.A.C de Nechmaya	88163.00	15/15	05	03
Z.A.C de Guelaat Bousbaa	41329.00	08/08	00	01
Z.A.C d'Elfedjoudj	37160.00	06/06	01	03
Z.A.C d'oued Zenati	33825.00	18/18	04	08
Z.A.C de Tamlouka	82392.00	58/58	14	04
Z.A.C Ain Ben Baida	241213.00	69/69	04	05
Z.A.C artisanale Oued Zenati	18916.00	29/27 (02 lots annulés)	13	02

2.1.6. le patrimoine naturel

La wilaya compte quelques sites attrayants, parmi lesquels : (**la direction de l'environnement, Guelma**).

Tableau 12: les sites naturels de la wilaya de Guelma (La direction de l'environnement, Guelma).

<ul style="list-style-type: none">• Grande Cascade à Hammam Debagh.	
<ul style="list-style-type: none">• Lac sous Terrain à Bir Osman (Hammam Debagh) : est une curiosité géologique remarquable, sa découverte accidentelle remonte à 1929.	
<ul style="list-style-type: none">•Grotte de Djebel Taya (Bouhamdane) « Ghar Djmaa ».	
<ul style="list-style-type: none">• Cascade « El-Guelta Ezzarga » Hammam N'bail	
<ul style="list-style-type: none">• Reserve naturelle de Beni Salah	
<ul style="list-style-type: none">• Jardin archéologique et Théâtre Romain (Guelma)	

2.2. Méthodologie adoptée

2.2.1. Méthodes de collecte des données

Les données de cette étude ont été obtenues à partir d'un questionnaire de trois Établissements :

- Centre d'enfouissement technique de la wilaya (CET).
- La direction de l'environnement de la wilaya.
- Direction générale des forêts DGF.

Le travail consiste à une enquête auprès des quatre établissements et cela pour la collecte des informations sur le devenir des déchets plastiques et la méthode de travail.

Nous avons également dressé une liste des entreprises de recyclage basées en Algérie et fait une comparaison entre elles et les entreprises situées dans les pays voisins où nous avons pris la Tunisie, le Maroc au niveau continental et les États-Unis d'Amérique au niveau mondial.

2.3. Elaboration du questionnaire

2.3.1. Direction de l'Environnement Wilaya de Guelma

Le questionnaire renferme 11 questions réparties sur des différentes informations, il s'agit de :

- Nombre de décharge contrôlé dans la w de Guelma
- Nombre de décharge sauvage dans la w de Guelma
- Nombre d'entreprise de recyclage des déchets
- Type de déchets recyclé dans la W de Guelma
- Projets de collaboration réalisée à l'échelle nationale (entre Wilayas)
- Projets de collaboration réalisée à l'échelle internationale
- Budget destiné à la gestion des déchets
- Nombre de camions de collecte des déchets urbain
- Nombre du personnel de collecte des déchets urbains
- Nombre d'entreprises privés de collectes des déchets urbains
- Nombre de centre d'enfouissement technique des déchets
- Types de déchets récupérer

2.3.2. Centre d'enfouissement technique de la wilaya (CET)

Nous avons fait deux questionnaires les premières sont :

- Quantité de déchets total du CET par mois
- Nombre de camion par jours
- Nombre de camion par Nuit
- Quantité total / Tonne
- Type de plastique trouvé

Et les deuxièmes renferment 4 questions, qui sont :

- Nombre de communes
- Personnel de ce centre d'enfouissement
- Nombre Nb des entreprises de recyclage
- Type de matériaux à recycler (déchets ménagers, déchets de collectivités locales, déchets industriels, déchets hospitaliers, déchets radioactifs, déchets fermentescibles).

2.3.3. Direction générale des forêts DGF

Où le questionnaire renferme 2 questions, il s'agit de :

- Type déchet trouvé dans les forêts de la W de Guelma et la quantité
- Nombre de décharges sauvages dans les forêts de la W de Guelma recensés par années avec le type de d'amende.

2.4. Elaboration et Traitements des données collectées

L'ensemble de questionnaires que nous avons élaboré, nous ont permis de développer une base de données, où les réponses fournies, par ces différentes structures ont été traitées sur Microsoft Excel pour faire quelques analyse statistiques descriptives et extraire des résultats.

2.5. Stage

Notre stage a été fait au niveau de la commune d'Oued Zénati, wilaya de Guelma, est réalisée du 10/05/2022 au 24/05/2022 au niveau du Bureau de la santé, de l'hygiène et de la protection de l'environnement.

Chapitre 2 : matériels et méthodes

Nous avons suivi le processus d'enlèvement des déchets ménagers de différents secteurs de la ville avec les moyennes dont il dispose et en coordination avec le centre d'enfouissement technique, avec l'enregistrement et le comptage des points noirs et souligner un programme pour surveiller les déchets aléatoires.

Nous avons également célébré la journée nationale de la biodiversité le 22/05/2022 sous le haut patronage de Madame la Ministre de l'environnement et sous la supervision de Mme Wali de Guelma, Le décret « La propreté est la responsabilité et la conscience de tous »

La commune d'Oued zénati a embrassé le départ avec l'attention du président du département d'Oued zénati et du président du conseil populaire municipal, en présence des autorités civiles et de sécurité locales. Avec :

- La commune d'Oued zénati
- La commune d'Ain regada
- Direction de l'Irrigation Oued Zénati
- Direction des travaux publics Oued zénati
- Direction générale des forêts Oued zénati
- Centre d'enfouissement technique de la wilaya CET
- Fondation d'office national de l'assainissement Algérie ONA

Ou nous avons sélectionné cinq points noirs et mené une campagne de nettoyage pour estimer les différents déchets trouvés.

Chapitre III :
Résultats et discussion

3.1. Les déchets plastiques à l'échelle locale

Pour bien comprendre le devenir des déchets plastiques de la wilaya de Guelma et en fonction des réponses à l'ensemble des questionnaires orienté aux trois directions on a trouvé :

3.1.1. Direction générale des forêts DGF

D'après la direction générale des forêts (DGF) de la wilaya, malheureusement ont à aucune information concernant les rejets plastique malgré ils ont déclarées qu'il y a des déchets au sein de ses forêts là. Voici une carte montrant l'ensemble des décharges sauvage au sein des forêts de la Wilaya de Guelma signalés d'après la D.G.F.



Figure 13 : les points noirs des décharges sauvages de la wilaya de Guelma.

(Source : La Direction Générale des Forêts Guelma) (2021).

3.1.2. Direction de l'environnement.

La disponibilité des informations est encore limitée, de sorte que la quantité de déchets plastiques n'est pas connue avec précision ou seulement pour quelques années ou pour quelques types de déchets.

Tableau 13 : Quelques informations tirées de la direction de l'environnement de la Wilaya de Guelma 2022.

	Valeur
Nombre de décharge contrôlé dans la w de Guelma	0
Nombre de décharge sauvage dans la w de Guelma	21
Nombre d'entreprise de recyclage des déchets	0
Type de déchets recyclé dans la W de Guelma	/
Projets de collaboration réaliser a l'echelle national (entre Wilayas)	/
Projets de collaboration réaliser a l'echelle international	1 projet sur le changement Climatique
Budget destiné à la gestion des déchets	/
Nombre de camions de collecte des déchets urbains	169 camions 74 tracteurs
Nombre du personnel de collecte des déchets urbains	694 agents
Nombre d'entreprises privés de collectes des déchets urbains	4
Nombre de centre d'enfouissement technique des déchets	1
Types de déchets récupérer	carton - plastique - papier - déchet ferreux - pneus usagés - batterie usagés

Pour atteindre l'objectif principal de cette étude, nous avons fait une comparaison entre les deux années de types et des quantités des matières des déchets valorisables : en 2018 et en 2019 et extrait la quantité de plastique du nombre total.

3.1.2.1. Quantités des déchets valorisables au cours de l'année 2018.

Tableau 14 : Quantités des déchets valorisables récupérées au cours de l'année 2018. (Source : la Direction de l'Environnement).

MATIERES	QUANTITES
PET VRAC (RECUPERE)	24960 kg
PET BROYE	19460 kg
PEHD	640 kg
FILM PLASTIQUE	4010 kg
PNEUMATIQUES	1587 pneus
CARTON EMBALLE	90315 kg
CARTON RECUPERE	24460 kg
PAPIER	5780 kg
BOUCHON EN PLASTIQUE	160 kg
FER	2540 kg

En effet, selon les résultats, la quantité des déchets plastiques en 2018 représentent 29% des quantités totales des déchets valorisables, cela signifie qu'il occupe un espace important en quantité totale.(fig.13)

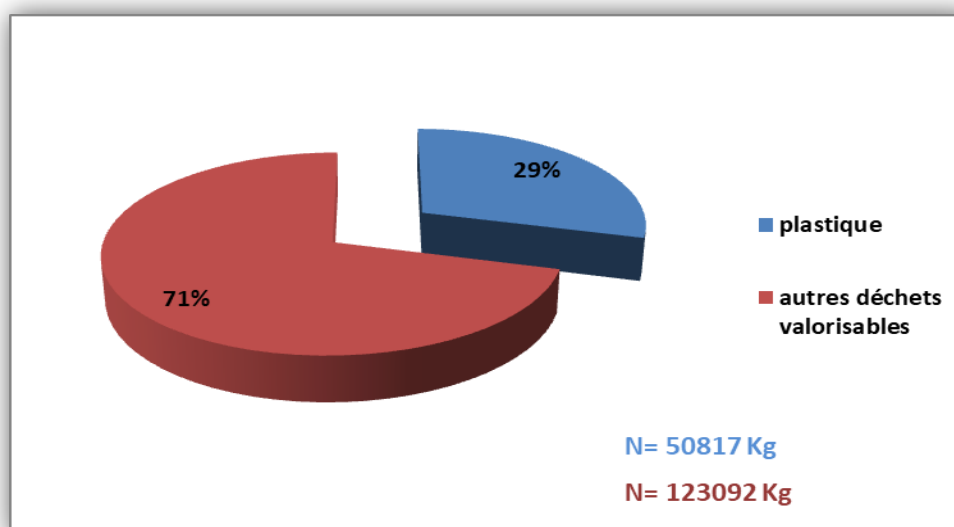


Figure 14 : Quantité des déchets plastiques par rapport aux déchets valorisables en 2018.

Chapitre 03 : Résultats et Discussions.

Particulièrement dans le plastique, les matières en PET représentent plus du 80% du volume des déchets plastiques, 49% d'entre eux sont PET(RECUPERE) et 38% sont du PET (BROYE). Le PEHD, pneumatique, les films et les bouchons en plastique ne représentent que de faibles proportions dans le volume des déchets plastiques, mais leurs taux est en augmentation continue. (fig.14 ou Fig 15).

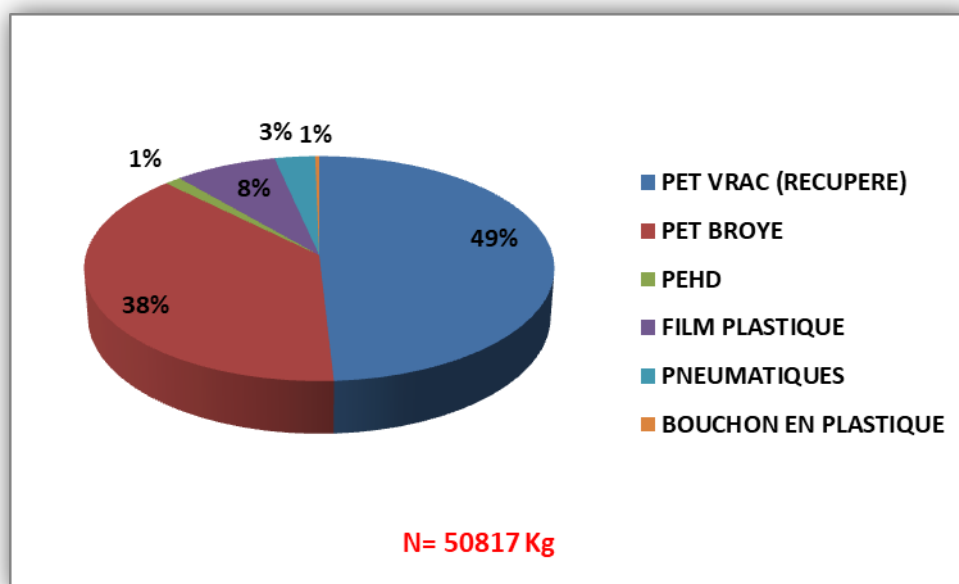


Figure 15 : Représentation typologie des plastiques existants (2018).

3.1.2.2. Quantités des déchets valorisables au cours de l'année 2019.

Tableau 15 : Quantité des déchets plastiques par rapport aux déchets valorisables en 2019. (Source : la Direction de l'Environnement)

MATIERES	QUANTITES
PET VRAC (RECUPERE)	53500kg
PET BROYE	14440 kg
PEHD	4950kg
FILM PLASTIQUE	2044kg
PNEUMATIQUES	121pneus
CARTON EMBALLE	160340 kg
CARTON RECUPERE	111840kg
PAPIER	11020 kg
PET PRESSE	27120kg

L'évaluation et le résultat obtenu de la quantité des déchets plastiques en 2019, montrent que le plastique occupe 36% de volume totale des déchets valorisables.

Cela montre que près d'un quart des déchets valorisables proviennent de matières plastiques. (fig.15)

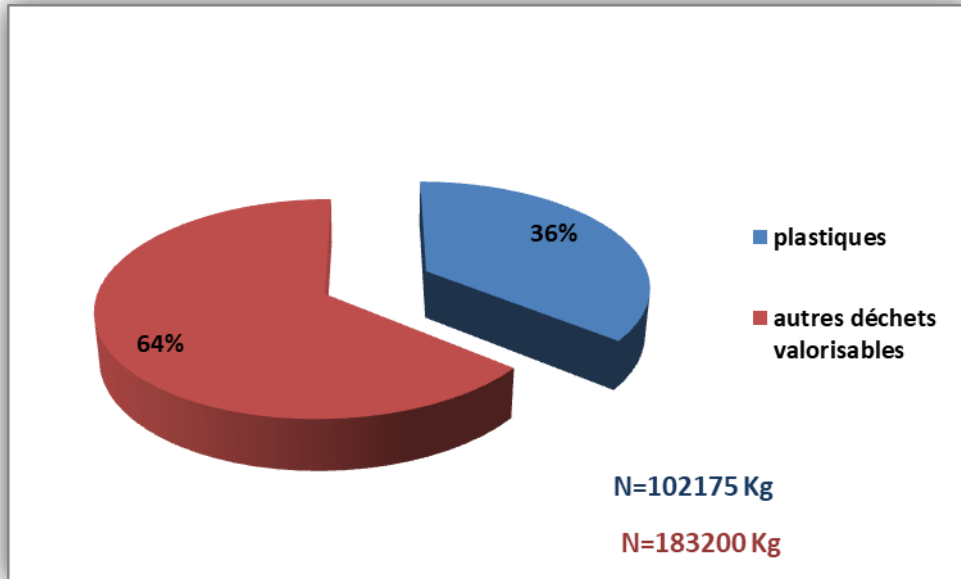


Figure 16 : Quantité des déchets plastiques par rapport aux autres déchets valorisables en 2019.

Les types des plastiques les plus dominants dans les déchets valorisables en 2019, ont été représenté par plus de 90% des plastiques en PET, avec 52% de PET (RECUPERE), 27% de PET presse et 14% de PET broyé.

Un faible volume est noté pour les PEHD, film plastique et les pneumatiques, mais leurs taux est toujours en augmentation continue. (fig.16).

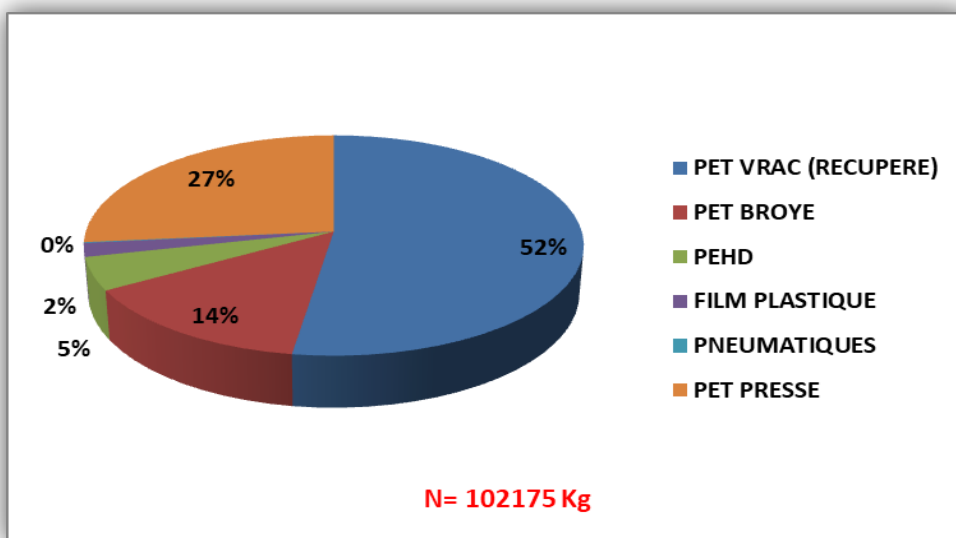


Figure 17 : Représentation typologie des plastiques existants (2019).

3.1.2.3. Evolution des déchets plastiques au cours de la période 2018/2019.

Pour mieux saisir l'état des déchets plastiques dans la wilaya nous avons réalisé une analyse des statistiques descriptives dont les résultats sont portés dans diagrammes et camemberts, afin de faire le point sur l'évolution des déchets plastiques en 2018 et 2019.

Tableau 16 : Quantités de déchets plastiques par Kg de la période 2018/2019.

Année	QUANTITES Déchets PLASTIQUE (Kg)
2018	50817
2019	102175

Les résultats statistiques montrent une augmentation significative dans le poids des déchets plastiques entre les deux années, avec une valeur de 7% en 2019 par rapport à l'année 2018. (fig.17)

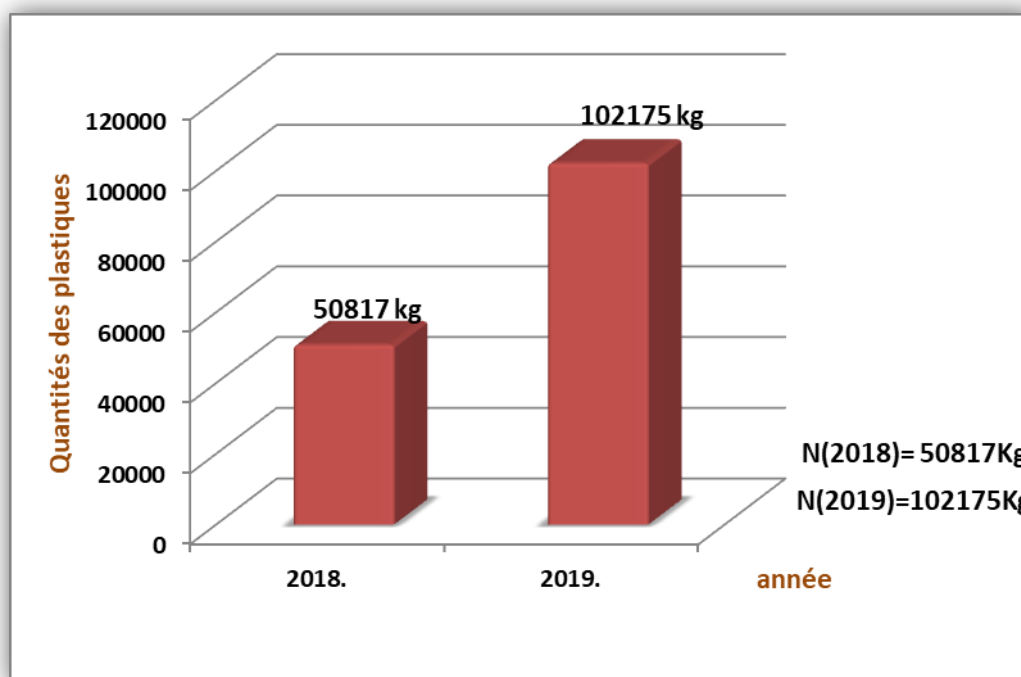


Figure 18 : La quantité des déchets plastique entre 2018 et 2019 en Kg.

Chapitre 03 : Résultats et Discussions.

Les résultats montrent que le volume maximal des déchets plastiques est représenté essentiellement par le PET, et le pneumatique et les bouchons plastiques montrent les valeurs les plus faibles durant les deux années 2018 et 2019. (fig.19)

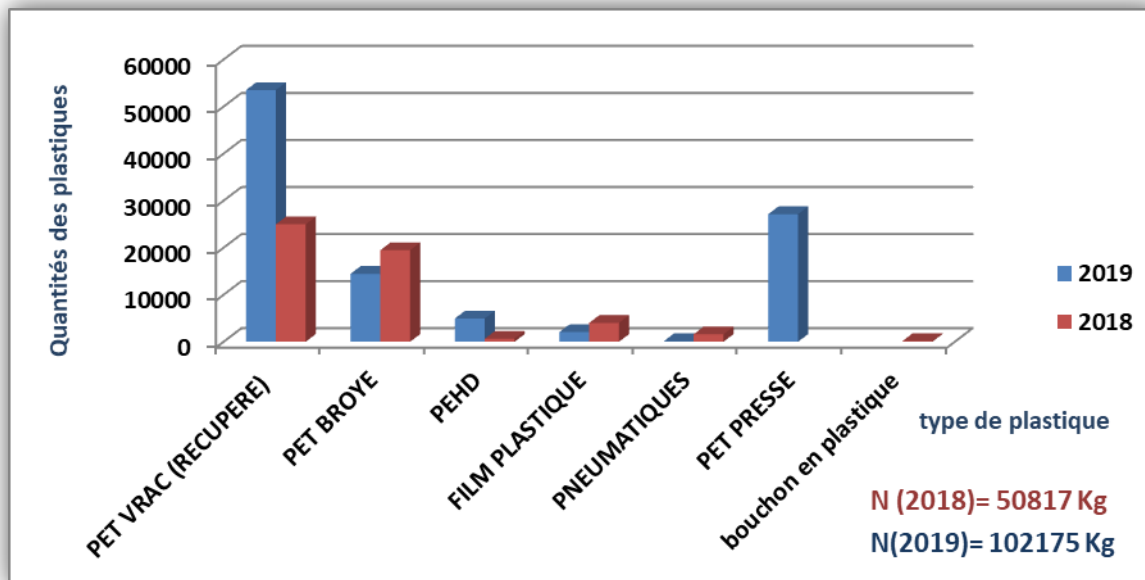


Figure 19 : Variation quantitative des différents déchets plastiques entre les deux années 2018 et 2019.

On suppose que l'augmentation des déchets plastiques est due à:

- L'augmentation de la consommation des produits en plastique et des matériaux d'emballage afin de faciliter la manutention et la polyvalence.
- Gestion déficiente des déchets plastiques par le Centre d'Enfouissement Technique de la wilaya.
- L'épidémie du virus Corona a exacerbé la situation en raison de l'augmentation de la consommation de masques, de bouteilles de désinfectant et de matériaux d'emballage pour la livraison des achats en ligne.
- Manque de sensibilisation des citoyens aux déchets plastiques.
- Manque d'entreprises agréées de recyclage du plastique au sein de la Wilaya de Guelma.
- Urbanisation rapide.
- Manque des journées de sensibilisation pour les citoyens, des associations, facilitations de l'ouverture des micro-entreprises de recyclage.

- Manque de facilitation de l'investissement des entreprises étrangère spécialisé dans le recyclage.

3.1.3. Centre d'enfouissement technique CET.

Les informations statistiques ne sont pas assez importantes sur le recyclage et sur la quantité des déchets plastiques trouvés, mais des efforts ont été déployé ces dernière années pour maître en considération le problème du plastique !

Les renseignements que nous avons obtenus du Centre d'Enfouissement Technique de la Wilaya de Guelma concernent uniquement la quantité de déchets en 2021 (fig.20).

La quantité des déchets a été maximale durant le mois de juillet avec 7000 Kg et elle a été minimale avec 4000 Kg durant le mois de novembre (fig.20).

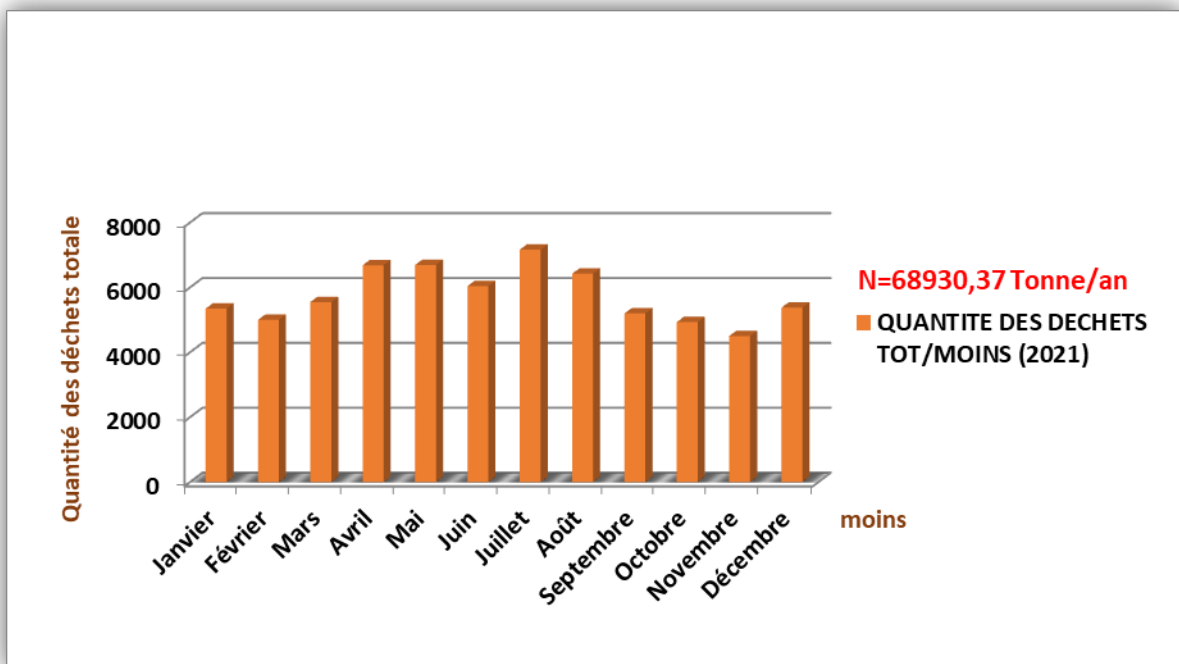


Figure 20 : la quantité des déchets totale par moins en 2021.

Les types de plastique que le Centre d'enfouissement technique recycle sont :

- PET
- PEHD
- Films plastiques

Tableau 17 : Nombre de communes et d'entreprise de la wilaya de Guelma.

	Valeur
Nombre de communes	13
Personnel du Centre d'Enfouissement	32 (CET) 199 (ETP)
Nb des entreprises de recyclage	2

Tableau 18 : Type de matériaux à recycler dans le centre d'enfouissement technique de la wilaya de Guelma (2021).

Type de matériaux à recycler	déchets ménagers	Oui	Non
	déchets de collectivités locales	Oui	Non
	déchets industriels	Oui	Non
	déchets hospitaliers	Oui	Non
	déchets radioactifs	Oui	Non
	déchets fermentescibles	Oui	Non

D'après le directeur du Centre d'Enfouissement Technique: 30 % des déchets plastiques de la wilaya de Guelma ont été prélevé par le centre technique d'enfouissement, et le reste c'est à dire 70 % restants ont été prélevé de manière irrégulière (fig.21). (2022)

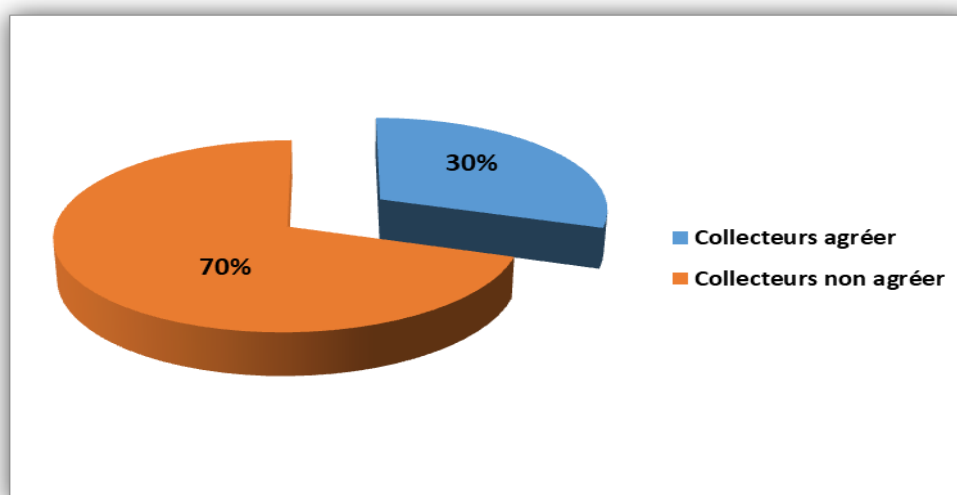


Figure 21 : Le devenir des déchets plastiques de la wilaya de Guelma d'après le centre d'enfouissement technique (2022).



Figure 22 : Un collecteur de déchets plastiques non agréé (DJEBIHA, 2022).

3.1.3.1. Comparaison entre la quantité des déchets collectés par an entre la wilaya de Guelma et Marrakech et Kairouan en (2021).

Avant de comparer le tonnage annuel des déchets collectés par ans en 2021 d'après le C.E.T de la wilaya de Guelma avec d'autres régions (Kairouan en Tunisie et Marrakech et au Maroc). Nous avons fait une recherche sur le Web sur la densité de la population pour chaque ville avec la quantité des déchets totale pour les deux régions. Considérant que la quantité de déchets est liée au facteur humain en premier lieu.

Les résultats montrent que la densité de population dans la wilaya de Guelma est la plus élevée par 155,22 hab/ (Benia, 2020), suivi de l'état de Marrakech par 115 hab/km² (Direction Générale des Collectivités Locales, 2015) et aprêr Kairouan par 88,1 hab/km² (Office du Développement du centre Ouest, 2019) (fig.23)

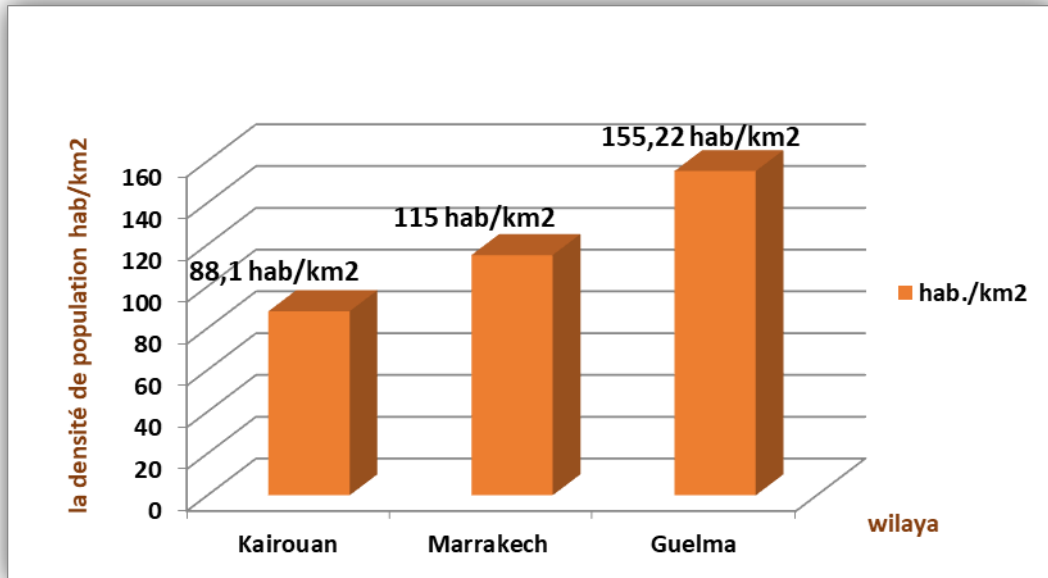


Figure 23 : La densité de population (hab/km²).

A la réponse sur la quantité de déchets annuels et d'après la figure 24, les résultats montrent que le tonnage annuel des déchets collectés par an de la wilaya de Guelma est occupé en premier lieu 38% (68930,37 Tonne /an (par une moyenne annuelle de 188,85 Tonne/jr. Suivie par la wilaya de Kairouan avec un pourcentage de 34% (60225 Tonne/an) par 165 Tonne/jr [6]. Et en dernier lieu Marrakech avec 28% (50000 Tonne/an) par 136,98 Tonne/jr. (Rachid H et all, 2021)

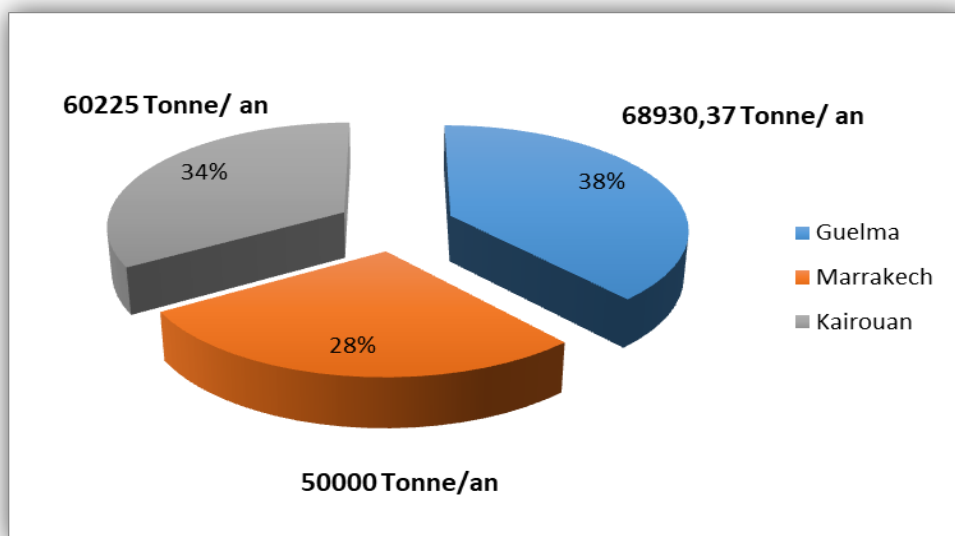


Figure 24 : Tonnage annuel des déchets collectés par an (2021).

Chapitre 03 : Résultats et Discussions.

Le taux de déchets est faible au Marrakech par rapport à la wilaya de Guelma alors que l'effectif des deux populations est proche.

Le pourcentage de déchets à Kairouan est proche de celui de Guelma, malgré qu'on a une différence significative de densité des deux populations.

On voit que Marrakech est la région la plus propre malgré que le nombre de sa population soient proche de celle de Guelma.

D'après l'histogramme de la densité de population et le tonnage annuel des déchets collectés dans les trois régions on constate que le taux de déchets n'est pas fortement lié avec la densité de population, il y a d'autres facteurs qui contrôlent la quantité de déchets.

En conclusion et d'après notre comparaison on constate que notre wilaya est la plus dégradée par rapport aux deux autres régions. En conséquence il faut prendre des lois strictes vis-à-vis de cette situation et y aller dans le sens d'une augmentation du recyclage, de la réduction des déchets et implicitement de la protection de l'environnement.

3.2. Les déchets plastiques à l'échelle nationale.

Les résultats obtenues après une modeste recherche sur le web au nombre d'entreprises au niveau local, national et international sont présentés dans cette partie.

3.2.1. Nombre des entreprises de recyclage du plastique en Algérie.

A partir de la distribution des entreprises de recyclage de plastique en Algérie, la plupart se situe au centre algérien avec 46% (26 entreprises), suivi par l'Est algérien avec 35% (20 entreprises), en suit le sud de l'Algérie avec 10% (6 entreprises) et en fin l'ouest algérien avec 9% (5 entreprises). (fig.25).

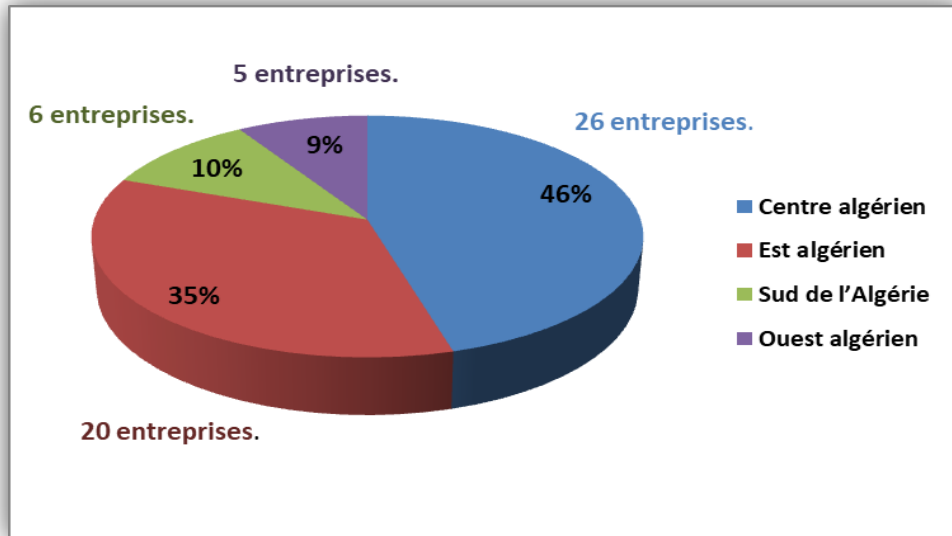


Figure 25 : Répartition des entreprises de recyclage en Algérie.

D'après la distribution spatiale des entreprises de recyclage de plastique recensé en Algérie on constate que la wilaya d'Alger a hébergé le nombre le plus important par rapport aux autres wilayas, on suppose que cette résultats est lié directement ou indirectement soit avec le nombre de population existante soit par l'intérêt gouvernementale par la capital. (fig. 26).

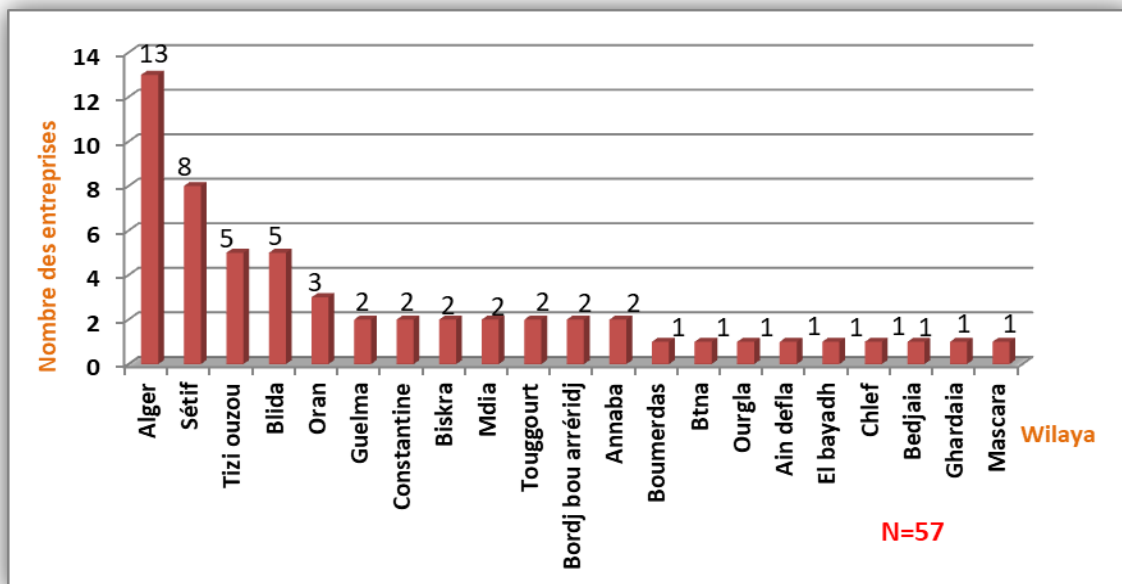


Figure 26 : Distribution des entreprises de recyclage du plastique à l'échelle nationale.

D'après les résultats obtenus de la comparaison entre les wilayas de l'est on constate que la wilaya de Sétif englobe un nombre important des entreprises contrairement à la wilaya de Guelma qui subit un manque remarquable et défavorable au niveau des entreprises de recyclage du plastique (fig. 27).

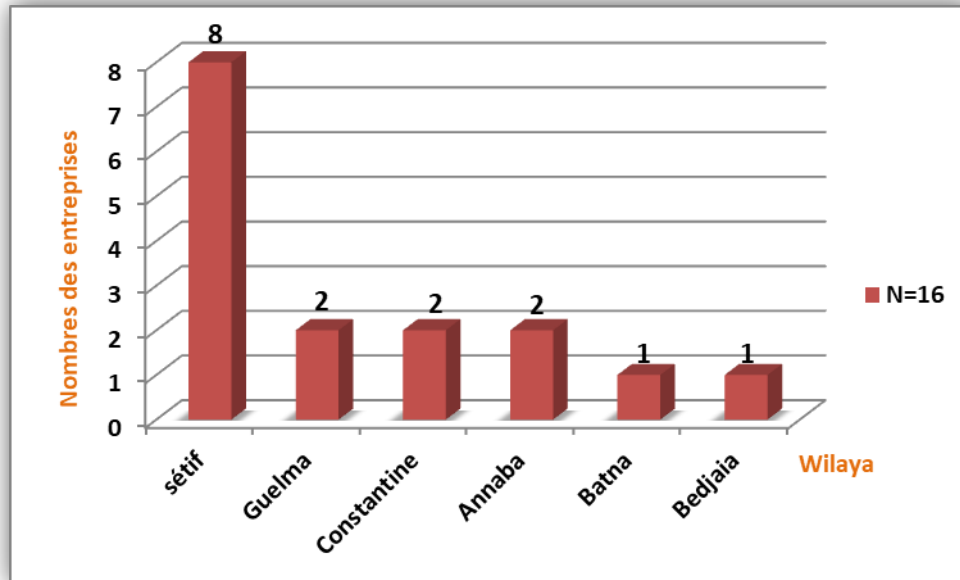


Figure 27 : Distribution des entreprises de recyclage du plastique dans l'Est Algérien.

3.3. Les déchets plastiques à l'échelle internationale.

3.3.1. Comparaison avec les pays voisins.

Dans le but d'évaluer le nombre d'entreprises de recyclages du plastique à l'échelle régional (Magrébin), nous avons pris la Tunisie et le Maroc en comparaison avec l'Algérie.

Les graphes ci-dessous montrent la dominance remarquable des entreprises de recyclage du plastique pour le Maroc (92 entreprises), suit par la Tunisie (79 entreprises), alors que le nombre d'entreprise en Algérie est le moins fréquent avec 56 entreprises.

Malgré la superficie immense ainsi la population la plus importante de l'Algérie par rapport aux deux autres pays voisins, le pays reste toujours subit un problème de gestion et de recyclage des déchets.

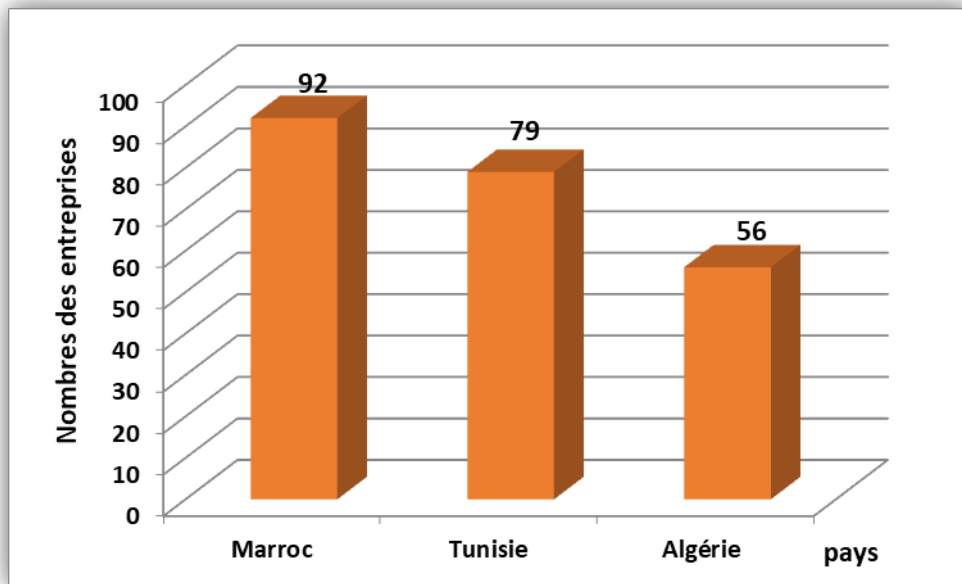


Figure 28 : Nombre d'entreprise par rapport aux pays voisins.

3.3.2. Comparaison avec les pays développés.

On comparant l'Algérie avec l'un des pays les plus développés, on prend les Etats Unis comme exemple.

Les résultats obtenus montrent que le nombre d'entreprise de recyclage du plastique dans les Etats Unis est très important avec (200 entreprises) [3] que dans l'Algérie (56 entreprises).

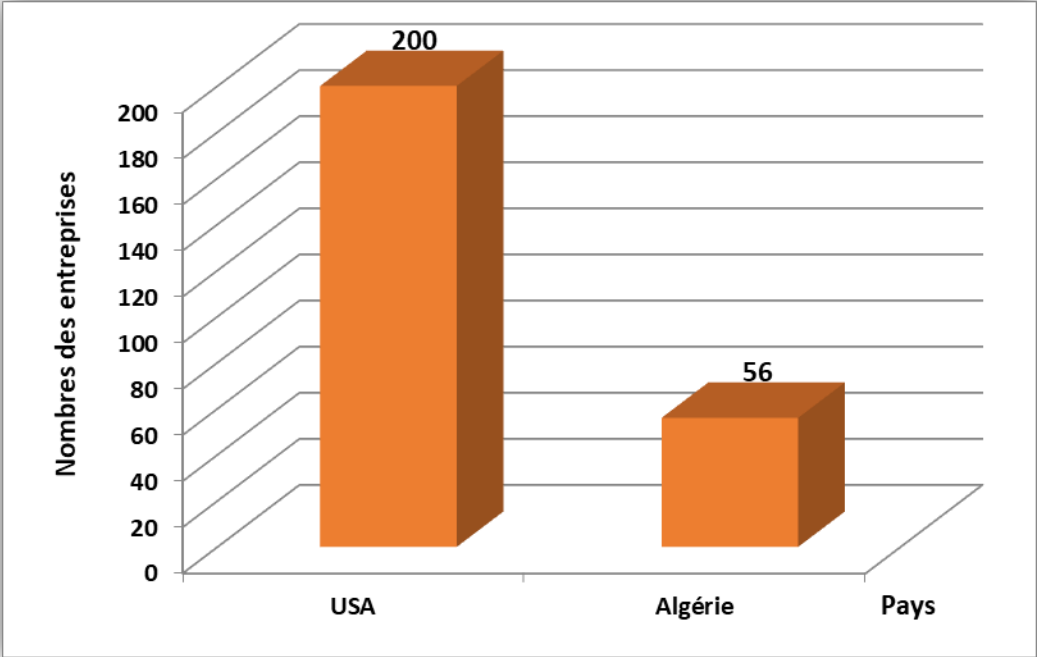


Figure 29 : Nombre d'entreprises par rapport les pays développés.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

L'utilisation du plastique est indispensable dans la vie quotidienne où avec les nouvelles technologies, il est utilisé dans tous les domaines. Mais la surconsommation de ce produit anarchique provoque une pollution très importante dans la biosphère.

Les chercheurs et les scientifiques ont un rôle primordial à jouer dans la lutte contre la prolifération de la pollution par le plastique et les microplastiques. Ceci nécessite des sujets recherches scientifiques plus poussés et plus orientés vers la présence du plastique dans l'environnement.

Il est aujourd'hui évident que la lutte face à la pollution exige des mesures radicales à l'échelle des nations, mais aussi au niveau national. L'Algérie est fortement concernée et impactée par la pollution par les débris et les plastiques. Elle doit par conséquent contribuer aux efforts de lutte à travers des actions et des programmes ciblés et ce par le biais de l'élaboration d'une stratégie nationale de lutte contre cette pollution, et d'une manière plus spécifique contre le plastique et les microplastiques, tout en impliquant les différents acteurs et institutions concernés par le sujet. De plus, il est important de mettre en place des lois strictes et des mesures de contrôle régulier accompagnées par des activités de collecte et de recyclage intensifiées intégrant les municipalités et leurs systèmes de gestion des déchets.

Bien que la problématique des plastiques soit un enjeu émergent et très peu discuté au niveau national et régional, il devient urgent de le prendre au sérieux en tant que préoccupation majeure et de lui consacrer les moyens nécessaires afin de l'explorer plus en profondeur, de limiter sa prolifération et de mieux gérer ses impacts.

Notre travail est l'un des peu travaux à l'échelle locale dans la Wilaya de Guelma qui cherche à faire une mise au point sur le devenir de ce genre de déchets ménagers important pour la vie quotidienne mais nocive pour la santé et l'environnement.

La recherche sur le Web sur des liens des entreprises de recyclage à l'échelle nationale et internationale exhibe que l'Algérie n'a pas vraiment des réelles structures actives sur terrains qui gère les déchets ménagers d'une manière générale et le plastique d'une manière spécifique (en nombre et en qualité).

L'enquête qui a été effectuée à l'échelle locale dans la Wilaya de Guelma avec l'analyse des questionnaires destinées au différentes structure concerné par ces déchets la

Conclusion

D.E. et la D.G.F. et la C.E.T. montre que ce genre de déchet ménager ; le plastique, n'est pas bien maîtrisé puisque on a pas des statistiques réelles qui reflètent l'état de notre environnement urbain et surtout forestier.

Pour cette raison on insiste sur les points suivant :

- Le principe de la prévention : vu que le coût de cette opération est inférieur aux coûts de l'élimination des déchets. Il consiste à éviter ou réduire les produits ou les substances qui contribuent aux flux de déchets ;

- Augmenter le budget destiné à la gestion de ce genre de déchets

- Revoir la politique de gestion des déchets ménagers à l'échelle locale et à l'échelle nationale.

- Encourager et faciliter les entreprises privées agréées à ouvrir et exploiter dans le domaine de recyclage

- Aider et orienter les jeunes motivés de la région de faire des startups dans ce domaine de recyclage de déchets, par des prêts bancaires sans intérêt et des formations à l'échelle nationale et à l'échelle internationale.

- Encourager les collaborations avec les entreprises internationales qui ont plus d'expérience dans le domaine.

- Le principe du pollueur-payeur : puisque les activités polluantes et les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci sont supportés par le pollueur ;

- La précaution : le manque de certitude scientifique ne devrait pas empêcher un décideur de prendre des mesures de prévention contre le risque potentiel pour la santé ou l'environnement ;

- L'approche éco systémique : veiller à ce que les pressions collectives des activités humaines soient prises en compte ;

- Le principe de la participation du public : un aspect important pour sensibiliser au problème des déchets.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ABDAOUI DR.,** (2019), « Matières plastiques ». Toxicologie industrielle. 1-8 pp.
- Abdelli H.,** 2021. Contribution à l'étude de la valorisation des déchets industriels dans l'amélioration des performances du béton. Thèse de doctorat : Sciences et Technologie. Université FERHAT Abbas – Setif1, 138p.
- Achour N.,** 2007. Recyclage des matériaux en Algérie. Magister : science en environnement et climatologie. Université d'Oron ES-SENIA, 122p.
- Agrirécup.,** 2021. Caractérisation et gestion des plastiques agricoles dans les fermes canadiennes, *Élaborer une stratégie canadienne de zéro déchet de plastique en agriculture*, 77p.
- Alain B.,** 2020. PLASTIQUES RECYCLES & CONTACT ALIMENTAIRE. Newsletter PURE LABORATOIRE, 4p.
- Alain D.,** 2013. GHIDE DU TRAITEMENT DES DECHETS réglementation et choix des procédés. 6^{ème} édition, paris, France, 461p.
- Alain G.,** 2001. Le recyclage des plastiques. *Milieu Education, Nature & Société*. 20p.
- Alain M.,** 2015. Le mariage réussi du plastique et des enzymes. LA SOCIÉTÉ CARBIOS, 10p.
- Arnaud P., Gérard A., Magali P., Charlotte H.,** 2020. RECYCLAGE CHIMIQUE DES PLASTIQUES Application aux plastiques issus des DEEE, 90p.
- Belkharchouche H, Larifi Y,** 2019. Contribution à l'étude Odonatologique du sous bassin versant d'El Malleh. Mémoire de master 2 : Biodiversité et Environnement. UNIVERSITÉ 8 MAI 1945 – GUELMA, 121p.
- Benarous A.,** 2019. Pollution des plages de Mostaganem par les déchets plastiques (bouteilles et bouchons). Mémoire de master 2 : Ressources Halieutiques. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem - Faculté SNV, 92p.

Références bibliographiques

Bissagou koumba G., 2018, Fragmentations chimique physique de plastique micro plastique en eau douce sous irradiation UV-visile. Thèse de doctorat : Sciences des Matériaux. Université clermont auvergne ,176p.

Bliefert C., et Perraud R., 2001. Chimie de l'environnement. 2ème édition française, de Boeck université, Bruxelles, Belgique, 478p.

Benia H., 2020. Estimation de la densité de la population par Wilaya par l'extraction de l'aire des agglomérations urbaines sur les cartes satellites.1p.

CARLTON et al.(2017). Rafting induit par les tsunamis : dispersion des espèces transocéaniques et implications pour la biogéographie marine. *Science*, 357, p. 1402-1406.

Chaabane W, Baccar Chaabane A, 2019. Débris marins plastiques et microplastiques sur les côtes tunisiennes. *Alphawin Studion*, 52p.

Chabane J., 2020. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE PLASTIQUE. Mémoire de master 2 : SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 51p.

Chahat N, 2018. Contribution à l'étude aéropalynologique de la wilaya de Guelma (Nord-Est de l'Algérie). Thèse de doctorat : Sciences Biologiques. UNIVERSITÉ 8 MAI 1945 – GUELMA, 188p.

Collège le Monteil, 2012. LES PLASTIQUES DANS NOTRE VIE. Troisième option DP3, 16p.

Davide L, 1956 : Etude géologique sur le mont de Medjerda ; la willaya de Souk-Ahras.

DEMATTEO R.,(2011),« National Network on environnement and women's Health »,réseau Pancanadien sur la santé des femmes et le milieu, une analyse documentaire.15p.
Direction Générale des Collectivités Locales, 2015. La Région de Marrakech-Safi.63 : [1-2] p.

Dorothee L., Pierre G., 2018. Le plastique un thème d'enseignement EDD. *éducation21*, 20p.

DPEI., ONEDD., 2021. La lutte contre les plastiques. *Direction de la Politique environnementale Industrielle*, 12p.

Références bibliographiques

DUPLESSY J., 2021. les plastiques dans l'environnement. *Rapport de l'Académie des sciences*, p 4-29

Galgani F., Bruzaud 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.

GERVAIS H., 2010, « Les plastiques ». Centre Universitaire de formation en environnement. Québec : Université de Sherbrooke, 89p.

Gouasmi M., 2013. Effets d'agrégats légers à base de polythèrephthalate d'éthylène sur les propriétés des mortiers. Mémoire de magister : chimie des polymères. Université d'Oron, 175p.

Groupe de travail technique de la Convention de Bâle., 2001. DES DIRECTIVES TECHNIQUES SUR LA GESTION ECOLOGIQUEMENT RATIONNELLE DES DECHETS DE CÂBLES GAINES. Texte révisé - Version 6, 79p.

Hadda K., Bellahmer L., Ikhlef N., 2002. La biodégradation de plastique par les bactéries. Mémoire de master 2 : Génétique fondamentale et appliquée. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 73p.

Jean-Claude D., Jean-Claude A., Sébastien B., Édouard B., Anny C., Marie-Lise C., Isabelle C., Philippe C., Vincent C., Henri D., Michel D., Christian D., François G., Robert G., Philippe J., Jean J., Sandra L., Jean-Dominique L., Ludwik L., Yvon LE M., Henri L., Hervé LE T., Daniel M., Ghislain de M., Bernard M., Dominique M., René M., Georges P., Jean-Loup P., Henri R., Alain-Jacques V., Jean-Yves C., Florent G., 2021. LES PLASTIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT. *Académie des sciences*, 29p.

Labadla C, Souaissid S, 2021. Evaluation de la pollution marine du littoral Est algérienne par le plastique : méso et macro-plastiques. Mémoire de master 2 : Biodiversité et environnement. Université 8 Mai 1945 Guelma, 124p.

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.

Références bibliographiques

Laurent G., 2013. PLASTIQUES BIOSOURCÉS : ÉTUDE DE LEUR PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE COMPARATIVEMENT AUX PLASTIQUES PÉTROCHIMIQUES. Magister : Centre universitaire de formation en environnement. UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, 111p.

LEBRETON LCM et al. (2012). Modélisation numérique des débris flottants dans les océans du monde. Bulletin de la pollution marine, 64 (3) p. 653–661.

MERABTI D, et MALEK S., 2020. Migration et biodégradation des additifs du polychlorure de vinyle (PVC). Mémoire de fin d'étude : Biodiversité et Environnement. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU,91p.

Mohammedi A., 2016. Valorisation Par Recyclage de Déchets Polymériques issus Des Equipements Electriques et Electroniques : GÉNIE MÉCANIQUE. UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 91p.

Nathalie L., 2007. Etude et mise au point d'une nouvelle méthode d'évaluation de la bioassimilation : utilisation des isotopes stables du carbone pour le marquage de la biomasse microbienne. Thèse de doctorat : Sciences des agro-ressources. École doctorale TRANSFERTS, DYNAMIQUE DES FLUIDES, ENERGETIQUE ET PROCÉDES, 228p.

National waste agency, 2019. Bulletin de veille technologique. 2^{ème} édition, Alger, Algérie, 69p.

National waste agency, 2020.regarde croise sur les plastiques à usage unique ,26p.

OUARMIM Y et MERSEL H., 2013. ABONDANCE ET REPARTITION DES DEBRIS PLASTIQUES AU NIVEAU DES PLAGES DE BEJAIA. Mémoire de Master II : Sciences Naturelles de l'Environnement. UNIVERSITE A.MIRA – BEJAIA 61p.

Office du Développement du centre Ouest, 2019. Gouvernorat de Kairouan en chiffres. 144 :[6-7]p.

PlasticsEurope & EPRO 2015 Plastics - the Facts 2014/2015: An analysis of Eu-ropean plastics production, demand and waste data. [Http://www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org), consulté le 09/06/2016.

Références bibliographiques

PLASTIQUES, Application aux plastiques issus des DEEE. *le compte d'écosystème*, 90p.
Feghali E., 2015. Nouveaux procédés catalytiques pour le recyclage de déchets ligno-cellulosiques, de polymères et de dérivés du CO₂ : Chimie. UNIVERSITÉ PARIS-SUD, 304p.

Richard L., 2012. BIOPLASTIQUES BIODÉGRADABLES, COMPOSTABLES ET BIOSOURCÉS POUR LES EMBALLAGES ALIMENTAIRES, DISTINCTIONS SUBTILES MAIS SIGNIFICATIVES. Magister : CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT. UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, 89p.

Rachid Hakkou., Mostafa Wahbi., Jean-Louis Pineau., 2021. Analyse de la décharge de déchets urbains de Marrakech relativement à l'évolution de la réglementation marocaine en matière d'environnement. *Hal open science*, 8 : [p12].

Saadi M., Lahmar F., 2018. Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de GUELMA (N-EST ALGERIE). Mémoire de master 2 : Aménagement et ouvrages hydrauliques. UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA, 97p.

Sacha B., 2015. Etude du procédé de Co-pyrolyse de déchets plastiques et d'huiles usagées en vue de la production d'un combustible liquide alternatif. Thèse de doctorat : sciences de l'ingénieur et technologie. Université libre de Bruxelles, 201p.

Sandra L., 2005. Biodégradation de films polymères à usage agricole : Caractérisation physico-chimique des résidus et identification biomoléculaire des bactéries actives. Thèse de doctorat : Biophysiology des Organismes et des Populations. UNIVERSITÉ DU MAINE - U.F.R. Sciences et Techniques, 288p.

Sophie G., 2002. BIODEGRADATION DE MATERIAUX POLYMERES A USAGE AGRICOLE : ETUDE ET MISE AU POINT D'UNE NOUVELLE METHODE DE TEST, ANALYSE DES PRODUITS DE DEGRADATION ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL. Thèse de doctorat : Sciences des Agroressources. Institut National Polytechnique Toulouse, 314p.

TRASANDE L., ATTINA TM., BLUSTEIN J., 2012. Association entre la concentration urinaire de bisphénol A et la prévalence de l'obésité chez les enfants et les adolescents, 452-462.

Références bibliographiques

Tristan T., 2015. Les déchets « collecte, traitement, tri, recyclage ».5 rue laromiguière, 75005 paris, France ,216p.

TYREE C et MORRISON D., 2018.Microplastiques trouvés dans l'eau embouteillée mondiale Orb Media.

VILLANI C., LONGUET G., BOLO P., PRÉVILLE A., 2020. POLLUTION PLASTIQUE : UNE BOMBE À RETARDEMENT ?. *Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techno*

WWF., 2019. POLLUTION PLASTIQUE :À QUI LA FAUTE ? Identification des aillances systémiques et présentation du scénario zéro plastique dans la nature en 2030,48p.

Webographie

Webographie

[1] <https://www.valorplast.com/comment-recycler-le-plastique/pourquoi-bien-trier/les-nouvelles-vies-du-plastiques>)

[2] <https://fr.oceancampus.eu/cours/GHa/la-pollution-plastique-et-locean?fbclid=IwAR3PCDvYtP09sLDmkIqpb62W9dM5LBN8tl6sJ2C14gzd5F-NBNndzg451RQ>)

[3] https://fr.enfrecycling.com/directory/plastic-plant/United-States?page=2&fbclid=IwAR2BjFKDYBs-AVd9lxaaCQLEQeAQ4wo-rFfwDzCeXVt_2JILBigkHAnYIbA

[4] PlasticsEurope (2013) Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and wastedata <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2013.aspx?Page=DOCUMENT&FolID=2>

[5]PlasticsEurope (2016). Plastics - the Facts [WWW Document]. Disponible en ligne: <http://www.plasticseurope.fr/Document/plastics---the-facts-2016-15787.aspx?FolID=2> (Accédé le 17.11.2018)

[6] http://www.anged.nat.tn/gestion-dechets-menagers-assimiles.html?fbclid=IwAR2kWXNIv79Rnvd0xhR4CJoGsR5CadGNCvK4Z7o_Wkq5np41Q775SlpfF0

Résumés

Résumés

Résumé

Le plastique constitue l'un des polluants de notre environnement le plus importants qui a marqué notre civilisation moderne engendré après la majorité de nos activités quotidiennes.

Dans ce travail, on a fait une petite enquête sur le devenir des déchets en plastique à l'échelle locale dans la Wilaya de Guelma, et nationale en Algérie et on a fait comparer avec deux pays voisins et un pays développé les Etats Unies.

Où à l'échelle locale notre étude a été basée sur l'analyse des réponses à des questionnaires destinés aux trois directions qui traite ce genre de déchets et qui sont la D.E., la D.G.F. et la C.E.T.

A l'échelle nationale et à l'échelle internationale on a fait une recherche sur le Web sur l'ensemble des adresses des entreprises de recyclage du plastique en Algérie, la Tunisie le Maroc et USA.

Tous cela pour faire un état de lieu des stratégies de recyclage des déchets ménagers à l'échelle locale et nationale, qui va aider à développer les programmes de recyclage qui sont inclus au sein des stratégies du développement durable.

Mots clés : Le Plastique, Recyclage, Guelma, Algérie, développement durable.

ملخص.

يعتبر البلاستيك أحد أهم الملوثات البيئية التي ميزت حضارتنا الحديثة و التي كانت نتيجة لأغلبية أنشطتنا اليومية. في هذا العمل ، قمنا بإجراء مسح صغير حول مصير النفايات البلاستيكية على المستوى المحلي في ولاية قالمة ، وعلى المستوى الوطني في الجزائر وقارناها مع دولتين متجاورتين ودولة متطورة ، الولايات المتحدة. حيث استندت دراستنا على المستوى المحلي إلى تحليل الإجابات على الاستبيانات المخصصة للأقسام الثلاثة التي تتعامل مع هذا النوع من النفايات والتي هي مديرية البيئة ، المديرية العامة للغابات ومركز الردم التقني. محليًا ودوليًا ، بحثنا في الويب عن جميع عناوين شركات إعادة تدوير البلاستيك في الجزائر وتونس والمغرب و الولايات المتحدة الأمريكية.

كل هذا لتقييم استراتيجيات إعادة تدوير النفايات المنزلية على المستويين المحلي والوطني ، مما سيساعد في تطوير برامج إعادة التدوير ضمن استراتيجيات التنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: بلاستيك ، إعادة التدوير ، قالمة ، الجزائر ، التنمية المستدامة.

Abstract

The Plastic is one of the most important environmental pollutants that characterize our modern civilization, which was the result of the majority of our daily activities.

In this work, we conducted a small survey on the fate of plastic waste at the local level in Guelma Province, and at the national level in Algeria and compared it with two neighboring countries and a developed country, the United States.

Where at the local level our study was based on the analysis of the answers to questionnaires intended for the three departments which deal with this type of waste and which are the D.E., the D.G.F. and the C.E.T.

Locally and internationally, we searched the web for all addresses of plastic recycling companies in Algeria, Tunisia, Morocco and the United States of America.

All of this is to assess household waste recycling strategies at the local and national levels, which will help in developing recycling programs within sustainable development strategies.

Keywords: plastic, recycling, Guelma, Algeria, sustainable development.