

**RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

*Université Abderrahmane Mira-BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie des Procédés*

**MÉMOIRE**

En vue de l'obtention du diplôme de  
**Master**

**En : Génie des Procédés  
Option : Génie des procédés de l'environnement**

**Thème**

**Suivi des opérations de tri et valorisation des  
déchets solides (cas des déchets plastiques)**

**Présenté par :**

BAHA Hanane  
AIT HAMMOUDA Siham

**Encadré par :**

Mme. A .SENHADJI

**Devant le jury composé de :**

Mr. A. KACHBI	MCB	Président
Mr. M. AZZOUG	MCA	Examineur
Mme. A. SENHADJI	Professeur	Encadreur

**Année Universitaire : 2018/2019**

## ***REMERCIEMENTS***

*En tout premier lieu, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*On exprime nos profonds remerciements à tous nos professeurs depuis le primaire jusqu'au supérieur, qui ont brillé par la qualité de leur enseignement, leurs efforts continus afin de nous donner le maximum de savoir, si nous soutenons aujourd'hui, c'est grâce à leurs conseils, leurs patience, la transmission de leurs connaissances et leurs savoir-faire.*

*Nous ne remercions aussi toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

*Nous tenons à remercier notre encadreur : **Mme. SENHLAJI Anissa** pour ses précieux conseils durant toute la période du travail.*

*Nos remerciements à : **Mr. KACHBI. M** pour vouloir accepter de présider le jury.*

*Nos vifs remerciements vont également à : **Mr. AZZOUG. M** pour l'intérêt qu'il a porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.*

*A **Mr. FERKANE Ahmed** et toutes personnes travaillent au niveau de **REVAPLAST** pour leurs aide, leurs générosité de nous avoir permis travailler dans leur entreprise, et **Mr. BELHOUL Brahim** de nous avoir accueillé au niveau de son usine **AKBOUPLAST** et pour toutes les informations qu'il nous a fournies.*

## *DEDICACES*

*A la mémoire de mon frère et ma sœur, que Dieu les accueille dans son vaste paradis.*

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents que mille dédicaces ne puissent exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leurs grands sacrifices.*

*A mon frère, à mes sœurs, à Saïd qui ma soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

*A tous mes amis, à mon binôme Siham, et à toute la promotion génie des procédés de l'environnement 2018/2019.*

*HANANE*

## *DEDICACES*

*A la mémoire de mes chère grands parents que dieu les  
l'accueille dans son vaste paradis*

*A celle qui m'a attendu avec patience pour les fruits de sa  
bonne éducation....*

*A ma Mère*

*A celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que  
la volonté Ouvre toujours les portes de la réussite....*

*A mon Père*

*A ceux qui ont fait preuve de soutiens, et qui m'ont donné  
une motivation sans prix*

*A ma sœur Sarah, mon frère yahia*

*A mes très chère grands parents Salem et Atika*

*A mes très chères copines : Hanane, Soulef, Lydia, Fahima,  
Lehna, Sabrina.*

*A mon binôme Hanane et tout sa famille*

*A toute la promotion de Génie des procédés de  
environnement 2018/2019.*

*A tous ceux qui ont cru en mes succès*

*SIHAM*

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

<b>Chapitre I</b>	<b>page</b>
<b>Tableau I.1</b> : Evolution de taux de génération de déchets (kg/hab./j (ratio) en Algérie.....	<b>7</b>
<b>Tableau I.2</b> : Quelques exemples de temps de décompositions des déchets .....	<b>10</b>
<b>Tableau I.3</b> : Caractéristiques et usage des thermodurcissables.....	<b>16</b>
<b>Tableau I.4</b> : Caractéristiques et usages des thermoplastiques.....	<b>17</b>
<b>Tableau I.5</b> : Caractéristiques et usage des élastomères.....	<b>18</b>
<b>Chapitre II</b>	
<b>Tableau II.1</b> : Taux de collecte séparée par type d'utilisation des emballages en (UE).....	<b>33</b>
<b>Tableau II.2</b> : Les codes d'identification des plastiques.....	<b>35</b>
<b>Tableau II.3</b> : Propriétés physico-chimique et thermique du PET.....	<b>38</b>
<b>Tableau II.4</b> : Propriétés physico-chimique et thermiques du PA 6.....	<b>39</b>
<b>Tableau II.5</b> : Propriétés physique-chimique et thermique du PEHD.....	<b>40</b>
<b>Tableau II.6</b> : Valeurs calorifiques des types de plastique.....	<b>41</b>
<b>Chapitre III</b>	
<b>Tableau III.1</b> : Répartition des emplois au niveau de REVAPLAST.....	<b>46</b>
<b>Tableau III.2</b> : Attribution des liaisons et des bandes d'absorption en fonction du nombre d'onde.....	<b>71</b>

## Liste des figures

---

### Liste des figures

<b>Chapitre I</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1</b> : Les différents déchets ménagers solides.....	<b>4</b>
<b>Figure I.2</b> : La composition des déchets dans le monde.....	<b>7</b>
<b>Figure I.3</b> : Composition des déchets ménagers en Algérie en 2014.....	<b>8</b>
<b>Figure I.4</b> : Impact des décharges sur l'environnement et la santé.....	<b>13</b>
<b>Figure I.5</b> : Croissance de la production des matières plastiques entre (1950-2016).....	<b>20</b>
<b>Figure I.6</b> : Demande européenne de plastiques par segment 2012.....	<b>21</b>
<b>Chapitre II</b>	
<b>Figure II.1</b> : Hiérarchie de mode de gestion des déchets.....	<b>23</b>
<b>Figure II.2</b> : Les taux de recyclage des différents flux de déchets solide en Europe en 2016 en UE.....	<b>26</b>
<b>Figure II.3</b> : Histogramme de méthode de traitement des déchets en Algérie.....	<b>30</b>
<b>Figure II.4</b> : Emissions de CO2 pour les PEHD vierges et recyclés.....	<b>32</b>
<b>Figure II.5</b> : Quantité totale de déchets plastiques recyclés et valorisés en (2006 – 2012)...	<b>34</b>
<b>Figure II.6</b> : Représentation de la technique de tri optique.....	<b>37</b>
<b>Figure II.7</b> : Représentation de la structure de répétition du polyéthylène téréphtalate.....	<b>38</b>
<b>Figure II.8</b> : Représentation de la structure chimique d'un polyamide 6 (nylon).....	<b>39</b>
<b>Figure II.9</b> : Schéma d'un incinérateur avec récupération d'énergie de déchet.....	<b>41</b>
<b>Figure II.10</b> : Représentation de la dépolymérisation.....	<b>42</b>
<b>Figure II.11</b> : Croissance régulière soutenue du recyclage et de la valorisation énergétique dans les pays européens.....	<b>44</b>

## Liste des figures

---

### Chapitre III

<b>Figure III.1</b> : Camion de collecte des déchets.....	<b>48</b>
<b>Figure III.2</b> : Bouteilles de PET claires et foncés collectés.....	<b>49</b>
<b>Figure III.3</b> : Bouteilles, flacon et boîte en PEHD.....	<b>49</b>
<b>Figure III.4</b> : Evolution des quantités du PET et PEHD collectés par jour pendant le mois de janvier 2019 en (kg / j).....	<b>49</b>
<b>Figure III.5</b> : Les films plastiques transparents et colorés collectés.....	<b>50</b>
<b>Figure III.6</b> : Table d'alimentation.....	<b>51</b>
<b>Figure III.7</b> : Le tapis tournant de tri manuel.....	<b>52</b>
<b>Figure III.8</b> : Le tapis incliné pour l'alimentation de la presse.....	<b>52</b>
<b>Figure III.9</b> : La presse de mise en bale.....	<b>53</b>
<b>Figure III.10</b> : Les balles de déchets.....	<b>53</b>
<b>Figure III.11</b> : Les déchets plastiques stockés sous forme de bales.....	<b>54</b>
<b>Figure III.12</b> : Le tapis élévateur de déchets.....	<b>54</b>
<b>Figure III.13</b> : La déballeuse (vise).....	<b>55</b>
<b>Figure III.14</b> : Le tapis incliné d'aimantation.....	<b>55</b>
<b>Figure III.15</b> : Le broyeur.....	<b>55</b>
<b>Figure III.16</b> : Le tapis d'alimentation du nylon.....	<b>56</b>
<b>Figure III.17</b> : Broyeur de films en nylon.....	<b>56</b>
<b>Figure III.18</b> : La cuve de lavage.....	<b>57</b>
<b>Figure III.19</b> : Bassin de lavage de films de nylon.....	<b>57</b>
<b>Figure III.20</b> : Bassin de lavage et de séparation 1.....	<b>58</b>
<b>Figure III.21</b> : Récupération des paillètes de PEHD au niveau du bassin 1.....	<b>58</b>

## Liste des figures

---

<b>Figure III.22</b> : Centrifugeuse (1 tonne/h).....	<b>59</b>
<b>Figure III.23</b> : Tête de récupération des paillettes.....	<b>59</b>
<b>Figure III.24</b> : La centrifugeuse.....	<b>60</b>
<b>Figure III.25</b> : Big bag remplis de paillettes de PET.....	<b>60</b>
<b>Figure III.26</b> : Tête de récupération.....	<b>62</b>
<b>Figure III.27</b> : Schéma d'une extrudeuse mono vis.....	<b>63</b>
<b>Figure III.28</b> : Sortie d'une extrudeuse.....	<b>63</b>
<b>Figure III.29</b> : Bassin de refroidissement.....	<b>64</b>
<b>Figure III.30</b> : Granuleuse.....	<b>64</b>
<b>Figure III.31</b> : Des granulés de nylon.....	<b>64</b>
<b>Figure III.32</b> : Tableau de bord électrique.....	<b>65</b>
<b>Figure III.33</b> : Machine de moulage par injection.....	<b>66</b>
<b>Figure III.34</b> : Le corps du four.....	<b>67</b>
<b>Figure III.35</b> : Tête de la vis d'injection (buse).....	<b>67</b>
<b>Figure III.36</b> : Le moule de fabrication des caisses qui constitue d'une partie fixe (a) et une partie mobile (b).....	<b>68</b>
<b>Figure III.37</b> : Une caisse formée éjectée.....	<b>68</b>
<b>Figure III.38</b> : Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques.....	<b>69</b>
<b>Figure III.39</b> : Spectrophotomètre Infrarouge Agilent Technologie (Cary 630 FTIR).....	<b>70</b>
<b>Figure III.40</b> : Spectre infrarouge du PEHD recyclé.....	<b>70</b>
<b>Figure III.41</b> : Spectre infrarouge de PEHD avant utilisation.....	<b>71</b>
<b>Figure III.42</b> : Spectre infrarouge de nylon PA6 recyclé.....	<b>72</b>
<b>Figure III.43</b> : Spectre infrarouge du nylon 6 vierge.....	<b>73</b>



## Liste des abréviations

---

### Liste des abréviations

**ACM** : Polyacrylates

**AEM** : Ethylène acrylate de méthyle

**AND** : Agence national des déchets

**AT** : L'acide téréphtalate

**BIIR** : Copolymères d'isobutylène chlorés

**BR** : Polybutadiène

**BTP** : Bâtiments et travaux public

**CEE** : Communauté économique européenne

**CR** : Polychloroprènes

**CIIR** : Copolymères d'isobutylène bromés

**CM** : Polyéthylènes chlorés

**CSM** : Polyéthylènes chlorosulfonés

**DS** : Déchets spéciaux

**DSD** : Déchets spéciaux dangereux

**EC** : Communauté européenne

**ECO-JEM** : Système public de reprise et de valorisation des déchets d'emballage

**EG** : L'éthylène glycol

**EPDM** : Terpolymères d'éthylène propylène et diène

**EPM** : Co-terpolymères d'éthylène propylène et diène

**EVM** : Copolymères éthylène acétate de vinyle

**FTIR** : Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier

**MATE** : Ministère d'aménagement du territoire et de l'environnement

## Liste des abréviations

---

**MTPA** : Million de tonnes par an

**HNBR** : Caoutchoucs nitrile hydrogéné

**IIR** : Copolymères d'isobutylène isoprène

**IR** : Poly-isoprène synthétique

**JOCE** : Journal officiel des communautés européennes

**MF** : Mélamine formaldéhyde

**MPA** : Méga-pascal

**NBR** : Copolymères de butadiène acrylonitrile

**NR** : Poly-isoprène

**O** : Variété de résines, matériaux et composites

**PA** : Polyamide

**PC** : Polycarbonate

**PE** : Polyéthylène

**PEBD** : Polyéthylène basse densité

**PEHD** : Polyéthylène haute densité

**PELD** : Polyéthylène basse densité

**PET** : Polyéthylène téréphtalate

**PF** : Phénoplastes

**PNAE-DD** : Le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable

**RNE** : Rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement

**PP** : Polypropylène

**PROGDEME** : Programme national de la gestion intégré des déchets ménagers

**PS** : Polystyrène

## Liste des abréviations

---

**PUR** : Polyuréthanes

**PVC** : Polychlorure de vinyle

**SBR** : Copolymère styrène-butadiène

**TPM** : Temps par minute

**UE** : L'union européenne

**UF** : Urée formaldéhyde

# Sommaire

---

## Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction général.....	1
<b>CHAPITRE I : Généralités sur les déchets solides et le plastique</b>	
I. Notions générales sur les déchets.....	3
I.1. Définitions des déchets.....	3
I.2. Classifications des déchets.....	4
I.2.1. Classifications selon la législation algérienne.....	4
I.3. La production et composition mondiales des déchets.....	5
I.4. Composition des déchets.....	6
I.4.1. Composition des déchets dans le monde .....	6
I.4.2. La production des déchets en Algérie.....	7
I.4.3. Composition des déchets.....	8
I.5. Impact des déchets sur l'environnement et la santé public.....	9
I.2. Le plastique.....	13
I.2.1. Définition.....	14
I.2.2. Production.....	15
I.2.3. Les trois familles des plastiques.....	15
I.2.3.1. Les thermodurcissables.....	15
I.2.3.2. Les thermoplastiques.....	16
I.2.3.3. Les élastomères.....	18
I.2.4. La production et l'utilisation du plastique dans le monde.....	19
I.2.5. l'usage de matière en plastique.....	20

## Sommaire

---

I.2.6. Impact des déchets et l'utilisation du plastique sur l'environnement.....	21
<b>CHAPITRE II : Gestions et valorisations des déchets solides en particulier le plastique</b>	
II.1. Gestions des déchets solides.....	23
II.1.1. Méthodes d'éliminations et de traitements des déchets solides.....	23
II.1.1.1. La prévention.....	24
II.1.1.2. Le réemploi.....	24
II.1.1.3. La réutilisation.....	24
II.1.1.4. La collecte.....	24
II.1.1.5. Le recyclage.....	25
II.1.1.6. La valorisation organique.....	26
II.1.1.7. La valorisation énergétique.....	27
II.1.2. Obligations légales Européenne.....	27
II.1.3. Gestions des déchets en Algérie.....	28
II.1.3.1. Législations Algérienne.....	30
II.1.3.1.1. Cadre juridique.....	30
II.2. Recyclage du plastique.....	31
II.2.1. Recyclage des plastiques et développement durable.....	31
II.2.1. 1. Avantage.....	31
II.2.2. Valorisations du plastique en Europe.....	33
II.2.3. Le recyclage du plastique en Algérie.....	34
II.2.4. Les techniques de tri des déchets solides et des plastiques.....	34
II.2.4.1. Reconnaissance des plastiques les plus courants.....	34
II.2.4.2. Tri par séparation balistique.....	36
II.2.4.3. Tri optique.....	36
II.2.4.4. Tri manuel.....	37
II.2.4.5. Tri par flottation.....	37
II.2.5. Types des plastiques recyclés.....	38

## Sommaire

---

II.2.5.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET).....	38
II.2.5.2. Le polyamide PA ou nylon.....	39
II.2.5.3. Le polyéthylène haute densité (PEHD).....	39
II.2.6. Les procédés de recyclage de plastique.....	40
II.2.6.1. Valorisation énergétique.....	40
II.2.6.2. Le recyclage chimique du plastique.....	41
II.2.6.3. Recyclage mécanique.....	43
<b>CHAPITRE III : Processus de recyclage du plastique</b>	
III.1. Entreprise de valorisation des déchets plastique (REVAPLAST).....	45
II.1.1. Présentation de l'entreprise.....	45
III.1.1.1. Composition de la société REVAPLAST.....	45
III.1.1.2. Principales activités de REVAPLAST.....	45
III.1.1.3. Stratégie d'approvisionnement des matières premières.....	45
III.1.1.4. Reparution des emplois en niveau de REVAPLAST.....	46
III.1.1.5. Les ressources principales de l'entreprise.....	46
III.1.1.6. Objectif de l'entreprise.....	47
III.1.1.7. Utilité de l'entreprise REVAPLAST.....	47
III.1.1.8. Types des plastiques traites.....	47
III.1.2. Les collectes des déchets en plastiques.....	48
III.1.2.1. Les différents déchets en plastiques collecté.....	48
III.1.3. Processus de tri « tri manuel ».....	51
III.1.4. Le conditionnement.....	52
III.1.5. Processus de recyclage mécanique de plastique (PET).....	54
III.1.5.1. La réception de la matière première.....	54
III.1.5.2. Sélection et tri prés-broyage.....	54
III.1.5.3. Le broyage.....	55
III.1.5.4. Le lavage.....	56

## Sommaire

---

III.1.5.6. Le tri par flottation (post-broyage).....	57
III.1.5.7. Essorage et séchage.....	59
III.1.5.8. Le stockage du produit fini.....	60
III.1.6. Les facteurs influençant sur la qualité du produit obtenu.....	60
III.1.6.1. Critères de classification.....	61
III.1.7. Extrusion.....	61
III.1.7.1. Déshumidification.....	61
III.1.7.2. Extrusion.....	62
III.1.7.3. Refroidissement et granulation.....	63
III.2. Les méthodes de mise en œuvre des thermoplastiques.....	65
III.2.1. Moulage par injection au niveau d'AKBOU PLAST.....	65
III.2.1.1. Le principe de fonctionnement.....	66
III.2.1.2. Les étapes de procédés.....	66
III.3. Caractérisation des plastiques recyclé par la technique de spectroscopie infrarouge à Transformation de fourrier.....	69
Conclusion.....	74
Références bibliographiques	

### Introduction Générale

Toute activité tendant à n'utiliser que la partie noble de la matière à des fins de production ou de consommation, se traduit par le rejet de la partie moins noble. On parle alors de **déchets**. Pendant de nombreuses années, on a cru qu'il suffisait de stocker cette matière à l'écart pour qu'elle disparaisse définitivement. Hélas, c'était sans compter avec l'environnement au sein duquel des phénomènes incessants de natures chimique, biologique, voire météorologique finissent par entraîner et transformer le déchet ou certains de ses composants. Les plus nocifs d'entre eux ont alors un effet négatif sur l'homme ou l'environnement lui-même. Le déchet se retrouve alors au rang des accusés : **il pollue [1]**.

L'Algérie est comme les autres pays en développement, rencontre des problèmes liés à la gestion des déchets ménagers engendrés par la croissance démographique, l'évolution économique, le changement du mode de vie. Dans un premier, la mise en décharge des déchets ménagers était une solution simple, peu coûteuse et pratique. Mais très vite, la quantité, la qualité et la nocivité des déchets générés se sont multipliées.

Le développement industriel est en particulier l'apparition de l'industrie plastique, durant la première moitié de XIXème siècle a vite provoqué un changement de la composition et la quantité des déchets ménagers proliférés. Le plastique possède une place importante dans notre quotidien et il est présent absolument partout, en raison de ses avantages liés à sa longue durée de vie, son coût, sa légèreté, sa facilité d'utilisation, sa force, sa résistance aux acides et la corrosion. En quelques années, il a pu remplacer une part non négligeable des autres matériaux (métal, verre, papier, bois) dans tous les secteurs d'activités (bâtiments, emballage, électricité, transport...). Le plastique avec ses divers types, est devenu un matériau omniprésent dans la vie quotidienne. Néanmoins, son caractère de déchet non biodégradable incarne un risque sur l'environnement et la santé humaine. En effet, une bouteille en plastique peut prendre 450 ans avant sa dégradation complète [2]. Sa gestion représente donc un important défi vis à vis de la politique du développement durable au niveau mondial.

La gestion des déchets plastiques est devenue une préoccupation majeure de la politique environnementale dans le monde entier. La prise de conscience de ce problème a encouragé le développement de nouvelles techniques d'élimination et de traitement suivant une hiérarchie de mode de gestion selon les options les plus favorables, commençant par la prévention passant par la valorisation, et arrivant à l'élimination.



## Introduction Générale

---

Pour la valorisation, certains pays développés (Suisse, Norvège) arrivent à traiter plus de 50% des déchets plastiques par utilisation de différentes techniques tels que l'incinération qui consiste à brûler les déchets dans des incinérateurs avec la valorisation énergétique de la chaleur dégagée lors d'incinération. Le recyclage qui donne aux déchets une deuxième vie, constitue une activité de plus en plus viable, car il présente de grandes conséquences écologiques; la réduction des volumes de déchets et la préservation des ressources naturelles par la réintégration des déchets récupérés, dans le cycle de production.

En Algérie, même si la prise de conscience du problème des déchets est tardive, on commence à encourager de plus en plus les initiatives qui continuent à la prise en charge du problème de la gestion et de la valorisation des déchets solides. On assiste ces dernières années à la prolifération d'entreprises qui se charge des opérations de collecte, tri et recyclage de différents types de déchets solides. Le plastique constitue à lui seul, le centre d'intérêt d'un grand nombre de ces entreprises.

Pour notre travail de projet de fin de cycle Master, nous nous sommes intéressés à ce type de déchets et nous avons entrepris un travail de suivi des différentes opérations liées à la valorisation du plastique. Notre travail s'est déroulé sous la forme d'un stage que nous avons effectué au niveau de l'entreprise de recyclage du plastique REVAPLST qui est implantée au niveau de la daïra d'Akbou-wilaya de Béjaïa.

Ce manuscrit est structuré en trois chapitres :

- Le premier est consacré à une étude bibliographique sur les déchets solides et en particulier, le plastique.
- Dans le deuxième chapitre, nous exposons les méthodes de gestion des déchets solides et les techniques de tri et de valorisation du plastique.
- le troisième chapitre est réservé aux résultats du stage effectué au niveau de l'entreprise REVAPLAST et qui concernent le suivi des opérations de tri et de recyclage des déchets plastique (PET et le PEHD). Nous décrivons aussi le suivi du procédé de fabrication caisses à partir du PEHD recyclé, au niveau d'une deuxième entreprise (AKBOUPLAST). A la fin de ce chapitre, nous exposons les résultats de caractérisation par la technique d'analyse par Infra Rouge, des plastiques (PET, PEHD, et le nylon) recyclés et leur comparaison aux matériaux d'origine (avant utilisation).
- Nous terminons avec une conclusion générale qui englobe les résultats les plus concluants de cette étude.

## Chapitre I : Généralités sur les déchets solides et le plastique

### I. Notions générales sur les déchets

#### I.1. Définition de déchets

L'article 3 de la loi 01-19 du 12-12-2001 du JORADP définit le déchet comme un résidu du processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer [3].

L'Union européenne en donne une définition similaire : « Toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire » (**Directive du 5 Avril 2006 relative aux déchets**).

- **Approche économique** : Un déchet est une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur à un moment et dans un lieu donnés.
- **Approche environnementale** : Du point de vue environnemental, un déchet constitue une menace à partir du moment où l'on envisage un contact avec l'environnement. Ce contact peut être direct ou le résultat d'un traitement [1].

Selon l'Organisation mondiale de la santé «Les déchets sont des choses dont le propriétaire n'en veut plus à une époque et un lieu donné et qui n'ont plus aucune valeur».

- **Approche Juridique** : Le droit civil et la terminologie du droit des biens définissent le « déchet » comme « un bien meuble rattaché juridiquement à la catégorie des choses sans maître, chose volontairement délaissée par leur propriétaire » [4].

La figure I.1 rassemble les différents déchets ménagers solides.



**Figure I.1** : Les différents déchets ménagers solides [5].

## I.2. Classification des déchets

Différentes classifications des déchets existent selon leur origine, la nature du danger qu'ils font courir à l'homme ou à son environnement ou encore selon l'objectif de la classification [6], une première approche distingue les déchets en fonction de leur nature physique : solides, liquides et gazeux [7]. Une autre classification des déchets s'appuie sur la nature du danger qu'ils représentent pour l'environnement: déchets inertes, banals et spéciaux [8]. Les déchets sont également classés selon leur origine: déchets agricoles, industriels et ménagers [7].

### I.2.1. Classifications selon la législation algérienne :

La loi N 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête les définitions de six grandes familles de déchets, qui sont :

- **Déchets ménagers et assimilés**

Tous les déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles commerciales, artisanales qui par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers.

- **Déchets encombrants**

Tous déchets issus des ménages qui, en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés comme : canapés, fauteuils, tables et vieux meubles.

- **Déchets spéciaux (DS)**

Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toute autres activités qui en raison de leurs natures et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent pas être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.

- **Déchets spéciaux dangereux (DSD)**

Tous déchets spéciaux qui par les constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et /ou à l'environnement.

- **Déchets d'activité de soin**

Tous déchets issus des activités de diagnostique, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire comme les seringues, milieux de culture, fragments anatomiques, pansements.....etc.

- **Déchets inertes**

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de déplétion, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique chimique, ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou d'autres éléments générateurs de nuisance, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement.

- **Déchets radioactifs**

- **Le décret présidentiel N°05-119 du 11/04 /2005** relatif à la gestion des déchets radioactifs a mis en évidence la notion des déchets radioactifs qui représentent les matières contenant ou contaminées par des radioéléments à des concentrations ou activités supérieures aux limites d'exemption et pour laquelle aucune utilisation n'est prévue [9].

### **I.3. La production et composition mondiale des déchets**

Les quantités des déchets produits dépendent généralement des facteurs géographiques, climatiques, économiques, culturels et démographiques. Ainsi, la quantité augmente dans les pays où les besoins des habitants sont en constante augmentation. Toutefois, il y a d'autres facteurs qui participent à la détermination des quantités de déchets comme l'éducation et le

niveau d'étude des populations, du degré de civisme, de la structure urbaine du système de collecte, du jour (jour de la semaine, weekend ou fêtes) ou des saisons (hiver ou été). La quantité de déchets n'est pas la même tout au long de l'année, elle varie selon les saisons et d'un pays à un autre. On estime qu'en moyenne un européen produit 600kg/an, un américain 700kg/an, (les premiers dans le gaspillage à cause du mode de consommation excessif) tandis qu'un habitant d'une grande ville du tiers monde entre 150 à 200kg/an. Selon les rapports de la banque mondiale, la production mondiale des déchets municipaux en 2010 est de 1.3 milliards de tonnes par an et a pu arriver à 2.3 milliards de tonnes en 2018 et cette production de déchet risque d'atteindre 3,4 milliards de tonnes en 2025 [10].

#### **I.4. Composition des déchets**

##### **1.4.1. Composition des déchets dans le monde**

Sur la (figure I.2) est représentée la composition moyenne des déchets à l'échelle mondiale pour l'année 2018 telle qu'elle est donnée par 44% pour les déchets alimentaires ou végétaux représentent la plus grosse partie du volume total. Le plastique arrive deuxième, avec 17% du volume de déchets. La encore, de fortes disparités sont observables en fonction du niveau de développement, les pays à faible revenu produisent davantage de déchets alimentaires, tandis que les pays développés produisent davantage de déchets «secs» (plastique, papier, métal, ou verre), issus notamment de l'industrie et des produits de consommation [11].

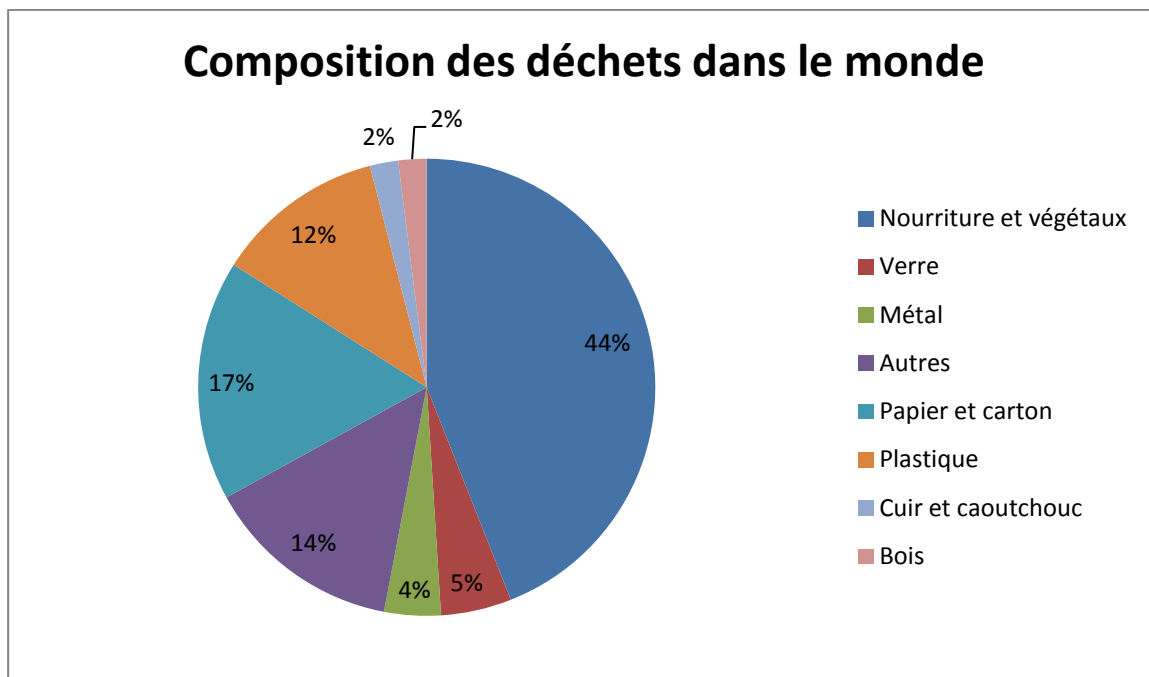


Figure I.2 : La composition des déchets dans le monde pour l’année 2018 (en %) [11].

### I.4.2. La production des déchets en Algérie

En Algérie, la production de déchets avec ses préoccupations à propos des problèmes environnementaux croît de plus en plus. Dans l’étude du MATE sur l’état de l’environnement en Algérie il est indiqué que la production de déchets par habitant dans le milieu urbain est passée de 0,76 kg/jour en 1980 à 0,9 kg/jour en 2002, pour arriver à 1,2 kg/jour en moyenne en 2005. Par contre, nous constatons un écart de près de 30% entre le taux de la collecte des déchets dans les villes moyennes et les grandes villes [12]. Et selon l’agence nationale des déchets (AND), plus de 23 millions de tonnes de déchets sont produits en Algérie en 2016, dont 12 millions de tonnes de déchets municipaux. Le (tableau I.1) présente l’évolution du taux de déchets produits par habitant par jour dans les grandes et moyennes villes Algérienne durant la période qui s’étale de 1980 à 2025.

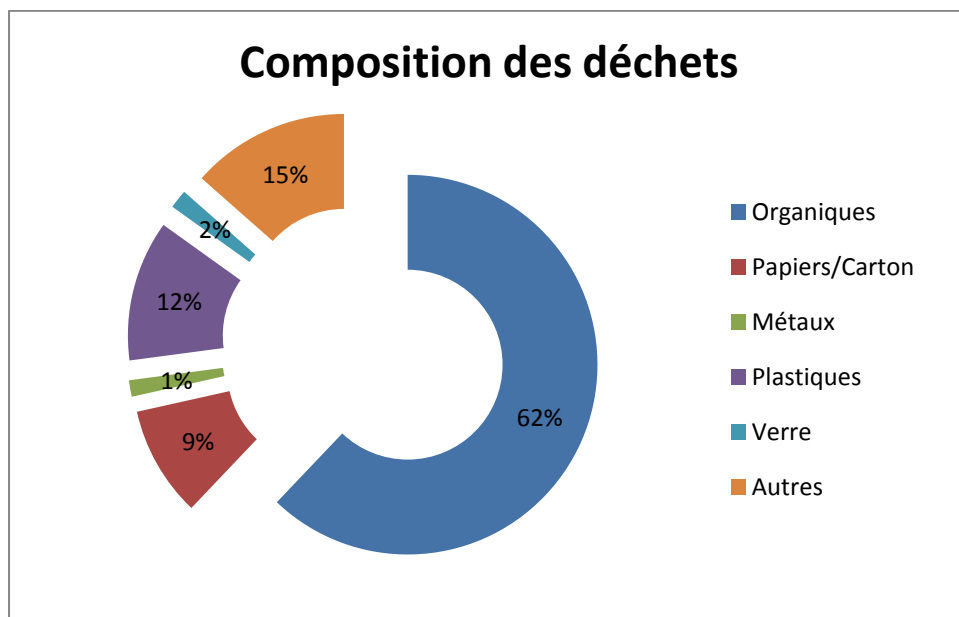
Tableau I.1 : Evolution de taux de génération de déchets (kg/hab./j (ratio) en Algérie [13].

Année	1980	2002	2010	2025
Villes moyennes	0,5	0,6	0,8	1,0
Grandes villes	0,76	0,91	1,2	1,2

Ces données indiquent une augmentation de la quantité de déchets générés, où par exemple, en 1980 l'habitant d'une moyenne ville produisait 0,5 kg par jour pour arriver à 1 kg par jour à l'horizon de 2025. Cet accroissement est lié au changement du mode de vie de la population, à la consommation et aussi à l'évolution démographique.

### I.4.3. Composition des déchets

En Algérie les principaux composants des déchets générés par la population sont les résidus alimentaires (organiques) avec un taux moyen de 72 %, le plastique à 10 %, le papier/carton à 9,3 %, le verre à 1,36 %, les métaux à 3,2% et le chiffon et autres à 4,14% (figure I.3). Cette composition reflète le mode de consommation des ménages algériens qui est basée dans une grande partie sur les Produits frais (fruits et légumes) conjuguée à l'absence de la culture des produits de conserves. Le plastique est le second composant d'une poubelle algérienne type, résultant des produits emballés dans des bouteilles de plastique, notamment les huiles, le lait et les diverses boissons (Pepsi-Cola, Coca-Cola, boissons gazeuses et eaux) [12].



**Figure I.3 :** Composition des déchets ménagers en Algérie en 2014 [14].

Le gisement des déchets ménagers produits annuellement par les ménages algériens comporte une fraction récupérable non négligeable que les services du MATE estiment comme suit :

- ✚ Papier : 385 000 tonnes/an.
- ✚ Plastique : 130 000 tonnes/an.
- ✚ Métaux : 100 000 tonnes/an.
- ✚ Verre : 50 000 tonnes/an.
- ✚ Matières diverses : 95 000 tonnes /an [14].

### I.5. Impact des déchets sur l'environnement et la santé public

#### • Sur l'environnement

Le dépôt non contrôlé des déchets sauvages, y compris le plastique, ne pose pas seulement un problème d'hygiène publique mais également un problème d'image, lequel peut entraîner des répercussions négatives sur l'économie, déchets échoués sur les bords des rivières, des plages, amas d'objets flottants en mer [15].

Ces déchets sauvages sont, en grande partie, visibles dans les villes, dans les campagnes et en particulier à proximité des cours d'eau, des lacs ou des mers. En 1998, 81000 tonnes de déchets ont été ramassées en Irlande, suite au nettoyage des rues. Selon une enquête, les plastiques constituent 15 % des déchets sauvages en Irlande.

Une autre étude britannique portant sur les déchets sauvages présents sur les côtes et les plages révélait que les plastiques correspondaient à plus de 60 % de l'ensemble des déchets sauvages. Plus de 1 000 objets en plastique ont été relevés par kilomètre de plage examiné, soit 108 300 objets en plastique au total. Les désagréments causés par ces déchets sauvages peuvent être atténués par les autorités locales ou régionales, dans le cadre d'une politique générale de lutte contre les déchets sauvages, voire d'une politique spécifique de gestion des déchets plastiques [15].

Un déchet ménager peut se dégrader lentement comme, le plastique ou autre ou rapidement comme le papier, le (tableau I.2) donne quelques exemples de temps de décomposition des déchets.



Tableau I.2 : Quelques exemples de temps de décompositions des déchets [16]

Déchets	Temps de décomposition
Déchets végétaux	De quelques jours à quelques mois
Mouchoirs et serviettes en papier	3 mois
Papier journal	3 à 12 mois
Mégot de cigarette	2 ans
Chewing-gum	5 ans
Boite de conserve	10 à 100 ans
Bouteilles plastique	100 à 1000 ans
Canette en aluminium	200 à 500 ans
Sac plastique	400 ans
Polystyrène	1000 ans
Gobelet en plastique	500ans
Verre	4000 ans

Les quantités de plastique qui finissent dans la nature entraînent une pollution généralisée qui est particulièrement inquiétante dans le milieu marin.

- **Impacts sur l'air**

- Les biogaz des décharges sont à l'origine d'importantes nuisances qui sont parfois très graves pour la santé et pour l'environnement.
- La présence du méthane en quantité importante dans les décharges provoque des explosions qui menacent la sécurité des habitants voisins.
- Les méthodes de broyages ou d'incinération des déchets libèrent aussi des particules qui diffusent dans l'air et dégrade sa qualité.
- L'incinération des déchets en plein air dégage des gaz (dioxyde de carbone) qui représentent des risques d'asphyxie.
- Les composés organo-volatiles toxiques au niveau des biogaz peuvent entraîner des cancers.
- L'incinération des déchets plastique à plein air dégage des gaz à effets de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, SO, C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...).

- **Impacts sur l'eau**

La plupart des décharges se trouvent à l'air libre, ce qui n'est pas bien et en même temps très dangereux, quand il pleut les déchets biodégradables se mélangent avec l'eau et cette réaction produit un carbone organique qui peut provoquer les pluies acides. Par suite ces pluies acides polluent les différentes sources d'eau comme les rivières, fleuves et océans. De plus, suite aux pluies, l'eau passe à travers des déchets, descend dans le sol, pendant des jours elle continue jusqu'à ce qu'elle atteigne les nappes phréatiques. En conséquence les nappes phréatiques sont contaminées avec des polluants divers comme les métaux lourds, les produits du nettoyage et les déchets toxiques [17].

L'obstruction des canaux et conduites d'évacuation des eaux usées par des déchets solide (bouteilles plastique, boîte, sachets, métaux) qui dégagent des odeurs fétides, polluent l'air et l'eau et favorisent la prolifération des moustiques et des microbes (cholera, paludisme.....). Les eaux sont aussi contaminées par des polluants spécifiques comme ceux issus de l'industrie cosmétique et des micro-plastiques (5250 milliards de tonnes de particules).

- **Impact des lixiviats de décharge**

Au contact des lixiviats, les eaux de surfaces et les eaux souterraines se dégradent chimiquement et biologiquement. La pollution des eaux souterraines est le résultat de l'infiltration et de la diffusion de lixiviats en sous-sol perméable ou fissuré, quand à la pollution des eaux de surface, elle peut résulter de l'écoulement des lixiviats dans le réseau hydrographique [18].

- **Impacts sur le sol**

Les décharges constituent une cause considérable de pollution des sols par divers métaux lourds et d'innombrables composés organiques de toxicité redoutable, cette pollution conduit à des altérations physico-chimiques des végétaux et des animaux qui transforment la structure des communautés vivantes et cause ainsi la perturbation de l'équilibre chimique des sols et l'appauvrissement en minéraux [18].

Les micro-plastique provenant de nos textiles, cosmétique, déchets d'emballages,... etc. Se libèrent dans l'eau et intègrent le sol, en effet même après la filtration humaine, les particules restent présentes dans l'eau potable [19].

- **Impact sur la santé public**

- **Sur la santé humaine**

Les décharges représentent un risque potentiel pour la santé. En effet, il est possible que des produits chimiques migrent hors du site et polluent les milieux environnementaux (eau, air et le sol) [20].

- **Impact socio-économique**

Les usagers sont particulièrement sensibles à la qualité de leurs lieux de vacances ou de loisirs, certains déchets que l'on retrouve sur les plages peuvent être la cause de nombreuses blessures pour les usagers et cela influe sur le secteur de tourisme qui influe à son tour sur l'économie [15].

- **Nuisances engendrées par les décharges**

Les décharges publiques étant utilisées d'une manière sauvage et sans respect des règles de protection de l'environnement peuvent engendrer plusieurs types de nuisances.

- ❖ **Des bruits**

Les matériels en activité sur le site tels que les engins de terrassement et de compactage et aussi les camions de transport des déchets engendrent des bruits considérables.

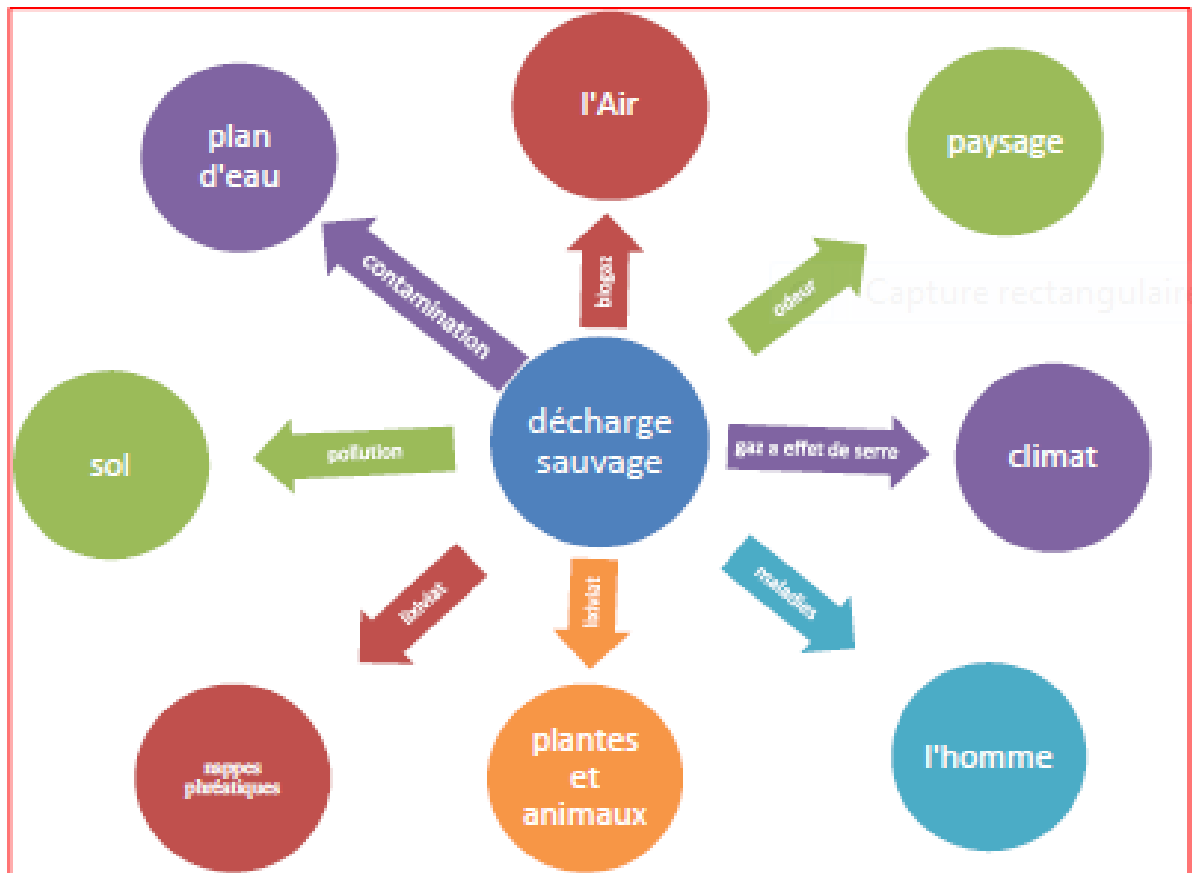
- ❖ **Des odeurs**

Des nuisances olfactives sur le site et à son voisinage peuvent être engendrées par le déversement de déchets contenant des molécules organiques volatiles anthropiques, les bassins de collecte des lixiviats et par le biogaz non capté par le réseau de dégazage. Le brûlage volontaire ou involontaire des différents types de déchets peut également être une source d'odeurs.

- ❖ **Des envols**

Le déversement et le stockage de déchets dans les sites de décharges et l'absence de couverture sur ces derniers peuvent être à l'origine d'envols de certains objets légers comme les plastiques et les papiers ce qui provoque une dégradation de l'esthétique du milieu.

La figure suivante nous montre les différents impacts d'une décharge sauvage [21].



**Figure I.4 :** Impact des décharges sur l'environnement et la santé (2017) [22].

## I.2. Le plastique

Le plastique est l'une des innovations les plus importantes du 20<sup>ème</sup> siècle, c'est un matériau omniprésent, en raison de ses avantages liés à son coût, sa légèreté et la facilité de son utilisation. Sa force et sa longue durée de vie sont les facteurs qui font qu'une croissance substantielle de la consommation de plastique est observée partout dans le monde ces dernières années [23].

Les premiers plastiques sont d'origine naturelle, au sens où ils sont issus de matières premières non fossiles (comme le pétrole) et subissent peu de transformations. Le premier plastique qui fut manipulé par l'homme est le latex : il servait à faire des balles et des figurines 1600 avant notre ère en Amérique de sud. Les égyptiens employaient des colles à base de gélatine d'os, de caséine de lait, d'albumine d'œuf. Plusieurs siècles av. J-C., les hommes utilisaient les propriétés plastiques de la corne, des écailles de tortue, de l'ambre, des caoutchoucs,... chauffés et moulés pour fabriquer de nombreux objets.

Cependant, à partir de la fin du XIXe siècle débute la mise au point de nouvelles matières : les plastiques semi-synthétiques faits de polymères naturels modifiés chimiquement par des produits chimiques.

De nos jours, les plastiques sont des matériaux de plus en plus utilisés :

- Plus légers à résistance égale que l'acier ou l'aluminium et insensibles à la corrosion, ils remplacent les métaux dans beaucoup de produits (leur consommation actuelle en volume est supérieure à celle des métaux.).
- Les associations de plusieurs matériaux, comme pour les composites, ou les complexes permettent des avancées technologiques importantes.
- Leurs performances les rendent indispensables au quotidien et dans tous les domaines : santé, bâtiment, automobile, aérospatiale, emballage, décoration, bureautique, sport....

Cependant, régulièrement, des études montrent que la fabrication et l'utilisation de certains plastiques sont problématiques, notamment en raison de composants (phtalates, Bisphénol, ...) toxiques pour la santé et l'environnement [23].

### I.2.1. Définition

Au cours des 50 dernières années, la production mondiale de plastiques est pratiquement passée de zéro à près de 100 millions de tonnes par an (MTPA). Le terme « plastiques » désigne une large gamme de matériaux et composés. Il existe environ 50 familles et des centaines de variétés de plastiques. La plupart de ces plastiques sont fabriqués à partir de simples molécules d'hydrocarbure (monomères) dérivées du pétrole ou du gaz. Après polymérisation, ces molécules forment des polymères plus complexes permettant la fabrication des produits. Des additifs permettent de donner aux plastiques des propriétés spécifiques [15].

- **Un polymère**

Un polymère est une chaîne de monomères unis les uns aux autres par des liaisons covalentes pouvant être souples ou rigides, faibles ou fortes. Ces atomes (monomères) de carbone, d'oxygène, d'azote, ou encore d'hydrogène se répètent en milliers de fois pour former ce polymère [24].

- **La polymérisation**

La polymérisation est une réaction chimique qui crée des liaisons stables entre les molécules d'un même composé qui est un monomère (propylène, éthylène, éthylène,..) de

faible poids moléculaire et dans certaines conditions de température et de pression. La réaction peut se répéter à l'identique dans de très grandes proportions. Le composé obtenu contient donc un très grand nombre d'atomes, se sont des polymères (polypropylène, polyéthylène,...) le poids moléculaire est très haut et il s'agit d'une macromolécule.

Les liaisons créés lors de la polymérisation sont souvent très stables, ce qui explique la faible biodégradabilité des polymères [25].

### **I.2.2. Production**

Le plastique est fabriqué à partir des produits naturels comme la cellulose, le charbon, le pétrole et le gaz naturel ils contiennent tous des composés de carbone et d'hydrogène, et parfois de l'oxygène. Toutefois, le pétrole est la matière première des plastiques.

A la raffinerie, le pétrole est séparé en plusieurs fractions par distillation, les constituants du pétrole ont des points d'ébullition différents. Par chauffage, on recueille successivement dans la tour de fractionnement des gaz, des essences, des fiouls légers et des fiouls lourds. Le résidu est le bitume (ou asphalte) utilisé comme revêtement routier. Toutes les fractions se composent d'hydrocarbures qui ne se distinguent que par la taille et la forme des molécules.

La fraction du pétrole la plus importante pour la production des matières plastiques est celle des essences (naphta). Le naphta est transformé par un procédé thermique appelé craquage, en mélange d'éthylène, de propylène, de butylène et d'autres hydrocarbures légers. Actuellement environ 4 à 8% du pétrole mondiale sert à la production de plastique [26].

### **I.2.3. Les trois familles des plastiques**

On considère généralement trois types de familles de plastiques [27] :

#### **I.2.3.1. Les thermodurcissables**

Au premier refroidissement les thermodurcissables prennent une forme définitive : ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés, c'est une technique de fabrication difficile à mettre en œuvre mais les matériaux produits sont très solides et très résistants à la chaleur et aux agressions chimiques.

Tableau I.3 : Caractéristiques et usage des thermodurcissables [27]

Nom, Abréviation	Caractéristiques	Usages
<b>Polyuréthanes (PUR)</b>	Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères.	Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion colles, fibres ( <i>Licra</i> ), Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski...
<b>Polyesters insaturés</b>	Prix peu élevé, durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires. Imprégnation facile des fibres de verre.	Pièces plastiques renforcées par coulée : pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles, Textiles ( <i>Dacron, Tergal, Térylène...</i> ).
<b>Phénoplastes (PF)</b>	Bonne résistance aux produits chimiques et à la chaleur et électriquement isolantes. Transformable par moulage et par compression. Souvent colorés en brun foncé.	Domaines scientifiques et réalisation d'objets: téléphone, poste de radio. Fabrication des poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement.
<b>Aminoplastes (MF)</b>	Deux types principaux : urée formaldéhyde (UF) et mélamine formaldéhyde (MF) dont le plus connu est le <i>formica</i> . Dureté et rigidité exceptionnelles, peu sensibles à l'hydrolyse et à la lumière, résistance à l'abrasion, bonne tenue aux solvants,	Usages variés : mobilier de cuisine, plans de travail, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, bois agglomérés, mélaminés, etc., moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, pièces moulées d'ustensiles de cuisine (plateaux...), matériel électrique (interrupteurs...)

### I.2.3.2. Les thermoplastiques

Sous l'effet de la chaleur, les thermoplastiques ramollissent et deviennent souples. On peut alors leur donner une forme qu'ils garderont en refroidissant. La transformation est réversible et renouvelable un grand nombre de fois, les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables, cependant ils ne sont pas biodégradables et ont une durée de vie de plusieurs centaines d'années.

Tableau I.4 : Caractéristiques et usages des thermoplastiques [27]

Nom, Abréviation	Caractéristiques	Usages
<b>Polyéthylène (PE)</b>	<p>Translucide, inerte, facile à manier, résistant au froid.</p> <p>On distingue deux familles:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ le PEBD (polyéthylène basse densité): bonne résistance chimique, olfactivement, gustativement et chimiquement neutre, facilement transformé et soudé.</li> <li>➤ Le PEHD (polyéthylène haute densité).</li> </ul>	<p>Utilisé dans la moitié des emballages plastiques et dans les domaines les plus divers.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ PEBD : produits souples : sacs, films, sachets, bidons, récipients et bouteilles souples (sauces, shampoing, crèmes ...).</li> <li>➤ PEHD : objets rigides (bouteilles, flacons, bacs poubelles, tuyaux, jouets, ustensiles ménagers, boîtes de conservation, sacs plastiques).</li> </ul>
<b>Polypropylène (PP)</b>	<p>Très facile à colorer. N'absorbe pas l'eau.</p> <p>Aspect brillant et résistant à la température (160°C).</p> <p>Difficile à recycler surtout s'il est imprimé.</p>	<p>Pièces moulées d'équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, ...), mobilier de jardin, film d'emballage, bouteilles rigides, boîtes alimentaires résistantes à la température du lave-vaisselle.</p> <p>Fibres de tapis, moquettes, cordes, ficelles.</p>
<b>polycarbonate (PC)</b>	<p>Excellentes propriétés mécaniques, bonne résistance thermique jusqu'à 120°C, très transparent, physiologiquement neutre.</p> <p>Mauvaise résistance aux contacts prolongés avec l'eau, aux agents chimiques et aux rayons ultraviolets</p>	<p>Casques de moto, boucliers de police, CD et DVD, vitres pare-balle, phares, feux arrière et clignotants d'automobile, matériel médical et prothèses, biberons incassables, profilés de toiture, vitres de cabine téléphonique...</p>
<b>Polyesters et Polyéthylène téréphtalate (PET)</b>	<p>Mou à moyenne température.</p>	<p>Fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles d'eau et de sodas. Usage limité par la température.</p>



1.2.3.3. Les élastomères

Les élastomères sont élastiques, ils se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture, sont issus du latex, caoutchouc et on distingue trois catégories regroupées dans le tableau :

**Tableau I.5 : Caractéristiques et usage des élastomères [27]**

Catégories	Matériaux	Caractéristiques
Caoutchoucs	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Caoutchouc naturel, cis 1,4 poly-isoprène (NR).</li> <li>➤ Copolymère styrène-butadiène (SBR).</li> <li>➤ Polybutadiène (BR).</li> <li>➤ Polyisoprène synthétique (IR).</li> </ul>	<p>Chauffés au-dessus de 65 °C, ils commencent à vieillir et deviennent poisseux. Faible résistance à l'huile et à l'ozone.</p> <p>Propriétés d'amortissement et grande extensibilité (jusqu'à 750 % avant rupture). Excellent résistance au déchirement.</p>
Elastomères spéciaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène (EPM et EPDM).</li> <li>➤ Copolymères d'isobutylène isoprène, chlorés ou bromés (IIR, BIIR, CIIR).</li> <li>➤ Copolymères de butadiène acrylonitrile (NBR).</li> <li>➤ Polychloroprènes (CR).</li> </ul>	<p>Température maximum d'utilisation : 150 °C.</p> <p>Selon les matériaux : résistance aux produits pétroliers, aux solvants, à l'oxydation (O<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>), aux intempéries, aux produits chimiques corrosifs et au vieillissement... Certains sont ininflammables et ont une grande imperméabilité aux gaz.</p> <p>Parfois sensible à la lumière et à l'ozone et au stockage (tendance à la cristallisation).</p>
Elastomères très Spéciaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés (CM, CSM).</li> <li>➤ Polyacrylates (ACM).</li> <li>➤ Copolymères éthylène acétate de vinyle (EVM).</li> <li>➤ Ethylène acrylate de méthyle (AEM).</li> <li>➤ Caoutchoucs nitrile hydrogénés (HNBR)</li> </ul>	<p>Copolymère éthylène acétate de vinyle (EVM)</p> <p>Ethylène acrylate de méthyle (AEM).</p> <p>Caoutchoucs nitrile hydrogénés (HNBR).</p>

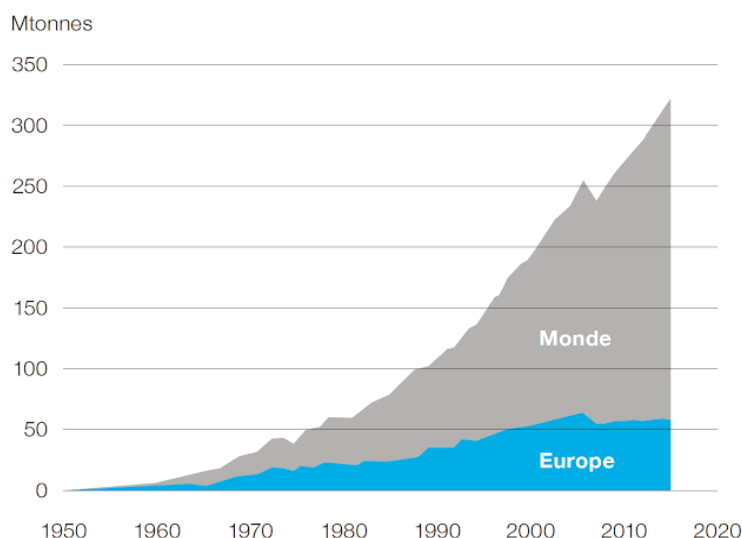
Les élastomères présentent des caractéristiques bien spécifiques, grande élasticité, bonne étanchéité, fort pouvoir amortissant,...etc, employés essentiellement en tant que pneumatiques, on les utilise également sous la forme de joints, tubes et tuyaux, de membranes, dans de nombreux domaines d'activités automobile, médecine et aéronautique [27].

#### I.2.4. La production et l'utilisation du plastique dans le monde

Le plastique est connu pour être un matériau polyvalent, léger, solide, transparent et idéal pour une variété d'applications, il a remplacé beaucoup d'autres matériaux comme le verre, le bois...etc. Les applications des plastiques sont nombreuses et variées. En Europe, environ 38% des plastiques sont utilisés pour les emballages jetables [28].

La production mondiale de la matière plastique et Les thermoplastiques sont de loin les plus utilisés et représentent 80% de la demande des transformateurs de plastique. En 10 ans, la production de plastiques dans le monde a augmenté de façon constante, au cours des dernières années de 103Mt, soit d'un tiers (245 Mt en 2006 contre 348 Mt en 2017).

En 2006, l'Europe était parmi les premiers (25%) devant l'Amérique du nord (23%), la chine était en 4<sup>e</sup> position avec 15%. En 2017, c'est la chine qui est en tête avec 29% suivie du japon et le reste de l'Asie qui présente les 50% des plastiques produites [29]. En 65 ans, la production de plastique dans le monde s'est élevée à 8,3 milliards de tonnes dont une grande partie est déversée dans la nature, soit l'équivalent du poids de 822 000 tours Eiffel ou de 80 millions de baleines. Sur ces quantités gigantesques, 6,3 milliards de tonnes sont dès à présent devenues des déchets, dont seuls 9 % ont été recyclés, 12 % ont été incinérés et 79% accumulés dans des décharges ou dans la nature [30].



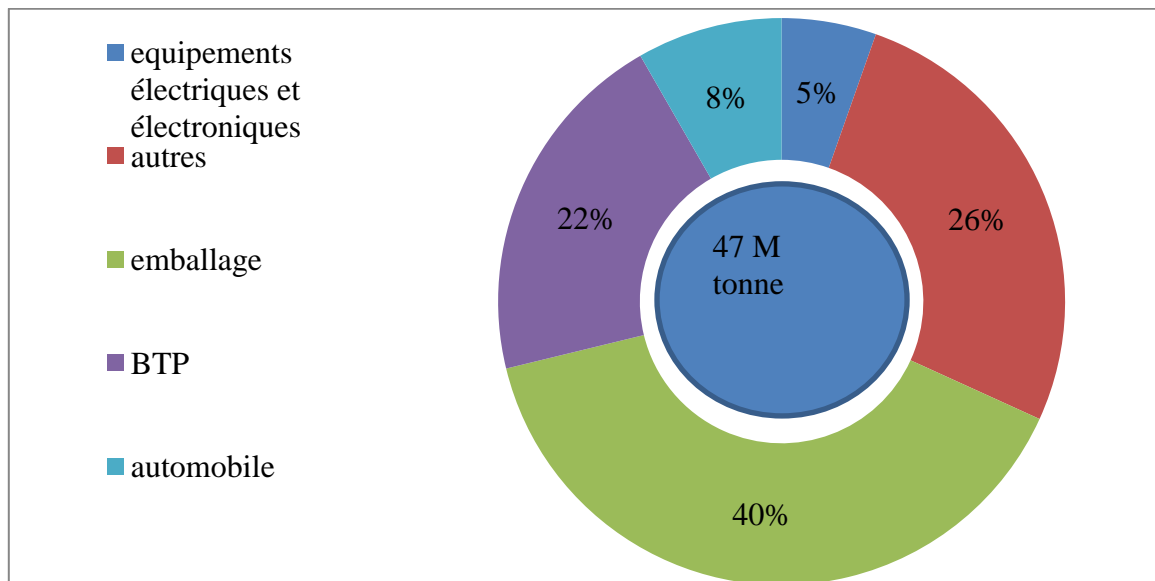
**Figure I.5 :** Croissance de la production des matières plastiques (1950-2016) [31].

### I.2.5. L'usage de matière en plastique

Au cours de dernières décennies le plastique est entrain de prendre de plus en plus d'importance dans un vaste éventail de secteurs. Il est présent dans tous les domaines : agroalimentaire, hygiène, santé, beauté, parfumerie, produits d'entretien, industrie (chimie, phytosanitaire, peinture...), commerce, distribution et transport. Les thermoplastiques sont de loin les plus utilisés et représentent 80% de la demande des transformateurs de plastique.

La demande des plasturgistes européens s'est accrue de 1,1 % depuis 2010 pour atteindre 47 millions de tonnes en 2012. La part relative des divers secteurs utilisant des matières plastiques est restée équivalente aux années précédentes, l'emballage gardant la tête avec plus de 39 % de la demande totale. Le secteur de l'emballage est suivi par le BTP (20,5 %), l'automobile (8,3 %) et les équipements électriques & électroniques (5,4 %). Les autres applications, notamment la médecine (seringues, thermomètres) et les loisirs (joues) consomment 26,4%, alors que la plupart des secteurs ont plus ou moins stagné en 2012 autour de +/- 2 %, la part de l'automobile a augmenté de près de 10 %. Les autres secteurs comprennent notamment les appareils ménagers, l'ameublement, l'agriculture, le sport, la santé et la sécurité [32].

La figure I.6 présente l'usage de matières plastiques par secteur dans le monde :



**Figure I.6 :** Demande européenne de plastiques par segment 2012 [33].

### I.2.6. Impact des déchets plastiques sur l'environnement

- Le plastique bloque l'infiltration de l'eau dans le sol ce qui entraîne une recharge insuffisante de la nappe souterraine et favorise aussi le ruissellement, qui entraîne l'érosion.
- Le plastique s'enfonce dans le sol, il empêche les végétaux de pousser ou bloque le développement racinaire des herbes.
- Les plastiques contribuent aussi à asphyxier les micro-organismes du sol.
- Les déchets plastiques empêchent le passage des rayons UV, nécessaires au déroulement normal du processus physiologique des plantes.

Certains composés de plastique : éthylène, propylène, benzène, et autres additifs comme les bisphénol sont toxiques et cancérigène et peuvent causés d'autres maladies liées à l'appareil génital (perturbations endocriniennes), la décroissance des ovaires chez la femme, ainsi les populations vivantes près de ces sites peuvent alors se contaminer par :

- Inhalation de gaz, de composés organiques volatils ou de particules émises par les déchets.
- Ingestion d'eau contaminée par infiltration de lixiviats dans les puits privés.
- Baignade dans des cours d'eau contaminés [18].

- l'ingestion des déchets plastique par les animaux (les poissons, les tortues les confondent avec les méduses, les oiseaux de mer piquent des plastiques flottants (environ 660 espèces de mammifères meurent chaque année).
- Transport d'espèce invasive par le plastique ce qui cause l'altération de l'équilibre des écosystèmes [34].
- **Sur l'animal**

Les filets dite fantômes abandonnés ou perdus accidentellement, très résistants sont une cause de mortalité importante chez les animaux par étranglement ou étouffement et enchevêtrement dans ces pièges (environ 100,000 le nombre de mammifères et 1 million d'oiseaux qui meurent par ces pièges) [34].

## Chapitre II : Gestions et valorisations des déchets solides en particulier le plastique

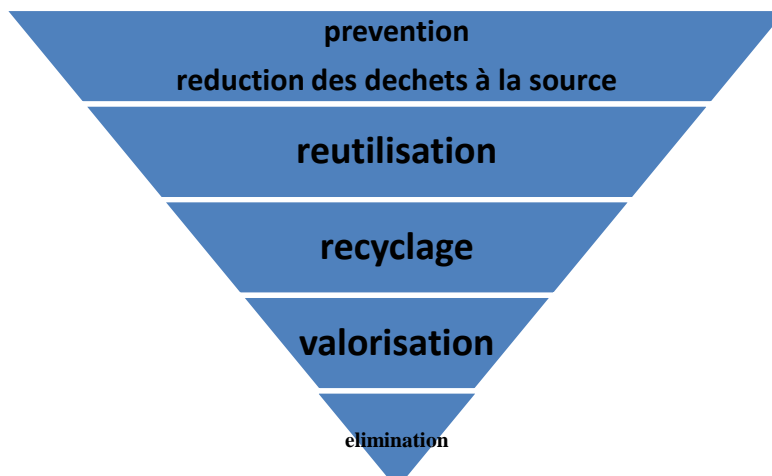
### II.1. Gestions des déchets solides

La gestion se définit selon le petit Larousse comme étant l'action ou la manière de gérer, d'administrer, de diriger, d'organiser quelque chose ou bien, période pendant laquelle quelqu'un gère une affaire. C'est une définition plus générale et par conséquent peu précise lorsqu'on parle de la gestion des déchets solides urbains [35].

La gestion des déchets solides nécessite la connaissance de certaines données comme la démographie, la quantité des déchets produites et leur composition.

#### II.1.1. Méthodes d'éliminations et de traitements des déchets solides

Dans les pays développés, une hiérarchie des modes de gestion des déchets a été définie au niveau européen. La (figure II.1) indique les attitudes économe-socio-environnemental préférentielles à adopter face à la problématique des déchets et prévoir par défaut dans toute décision relative à la gestion des déchets. Le concept de cette hiérarchie a été introduit dans la réglementation européenne par la **directive n°91/156CEE** [36].



**Figure II.1:** Hiérarchie de mode de gestion des déchets [37].

### II.1.1.1. La prévention

La réduction à la source ou prévention devient une priorité afin de réduire l'accumulation des déchets. Certains incluent dans ce principe la réutilisation et le recyclage et tout ce qui permet de réduire les besoins d'élimination des déchets, on parle également de politique de minimisation des déchets [38].

### II.1.1.2. Le réemploi

C'est l'emploi d'un déchet pour un usage analogue à son premier emploi. C'est par exemple le réemploi de bouteilles consignées. C'est en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet.

### II.1.1.3. La réutilisation

C'est l'emploi d'un déchet pour un usage différent de son premier emploi.

### II.1.1.4. La collecte

Selon l'article L.541-1-1 du code de l'environnement de la législation française, c'est la première étape de traitement des déchets, c'est toute opération de ramassage des déchets en vue de leur transport vers une installation de traitement des déchets. C'est l'évacuation des déchets vers une destination appropriée (décharge, centre de tri, station de transfert,...etc.). Une bonne collecte des déchets a pour objet de libérer le plus vite possible l'homme de ses déchets. Ces derniers s'ils séjournent trop longtemps en milieu urbain, ils peuvent causer des nuisances olfactives en raison de leur décomposition rapide, des dangers pour l'hygiène et la santé de la population, (milieu favorable pour le développement des vecteurs de maladies transmissibles comme les rats et les mouches). C'est pourquoi la collecte doit être régulière et dans des récipients fermés [35].

Il existe plusieurs types de collectes, de la collecte traditionnelle, collecte par apport volontaire,...etc., et la forme la plus répandue de collecte de déchets à traiter est la collecte sélective, appelée aussi tri sélectif. L'idée est que celui qui crée le déchet le trie lui-même où les communautés locales (mairies) régionales voire même des entreprises privées disposent de différentes poubelles, des bacs, pour chaque type de déchets. Les poubelles disposées sont identifiées par de différentes couleurs et chaque couleur sert à un type de déchet défini et pour encourager le geste de tri chez le citoyen plusieurs campagnes publicitaires et de

sensibilisations sont réalisées par différents organismes voir l'organisme éco-emballage fondé en 1992 qui a l'origine de plusieurs campagnes de publicitaires en Europe.

En Algérie le tri sélectif des déchets restent assez confiné, cependant des efforts réalisés par les communautés régionales et des associations de protection de l'environnement pour sensibiliser et informer les gens et même organiser des journées de nettoyage, le secteur privé aussi participe par présence de différents organismes comme le Net com créée en 2012, qui assure le tri et collecte des déchets ménagers au niveau de la wilaya d'Alger où il organise aussi des campagnes publicitaires et informe aux gens comment triés les déchets et quel est l'objectif de ce geste.

- **Avantage de tri à la source des déchets solide et des plastiques**

- Trier les déchets préserve l'environnement et réduit le nombre de déchets et des plastiques dans la nature.
- Trier les déchets à la source évite la contamination des différents matériaux lors du mélange et favorise le recyclage, ce qui supprime des coûts supplémentaires pour le traitement des mélanges complexes.
- Le tri des déchets favorise aussi l'économie circulaire fondée sur les 3R, réduire, réutiliser, et recycler car les objets triés sont transformés en nouvelles matières premières.
- En favorisant le recyclage cela permet de participer à la diminution de l'empreinte écologique et limiter le gaspillage de ressources naturelles.

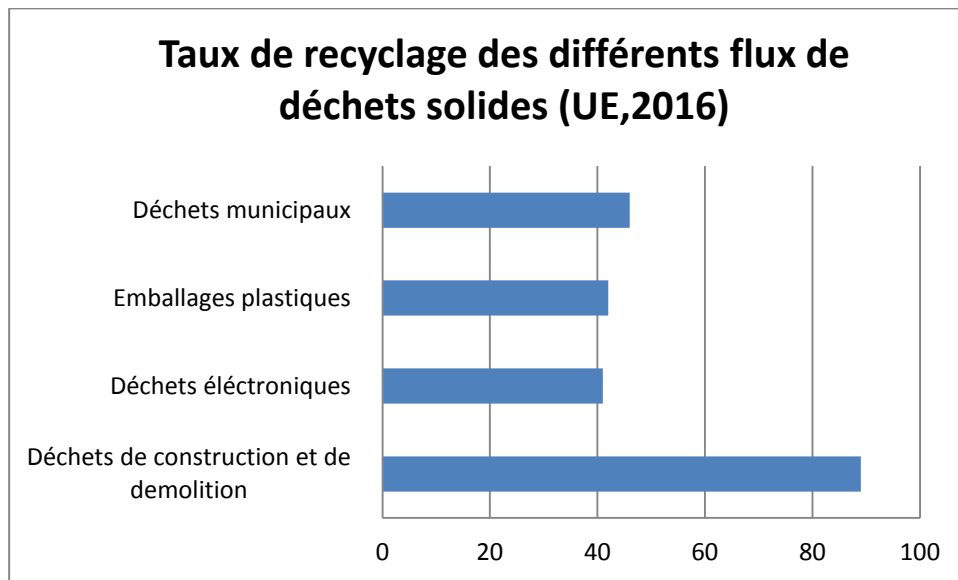
Quelques obstacles et difficultés peuvent être rencontrés lors du tri sélectif des déchets surtout pour les pays en voie de développement, comme le manque de culture de tri et de conscience écologique chez le citoyen, absence de loi en vigueur qui interdit le mélange de certains déchets et impose des impôts en cas de dépassement, manque de moyens techniques (poubelles de tri sélectif) pour réaliser le tri.

#### **II.1.1.5. Le Recyclage**

L'une des méthodes de valorisation des déchets, c'est une activité très ancienne qui a de multiples avantages. Le recyclage est une activité à la fois économique et écologique [39]. Il consiste à recycler les matières premières dans les déchets pour les réintroduire dans les processus de fabrication des produits neufs, les matières premières recyclées sont appelées matières premières secondaires c'est à dire l'utilisation du déchet comme matière première dans une fonction différente de sa fonction d'origine [40].



Pour les pays de l'union européenne, le secteur de recyclage des différents déchets solide est en évolution constante depuis 2005, et en 2016 l'UE a recyclé presque 55% de l'ensemble de ses déchets (figure II.2 ) où on voit que le taux de recyclage des déchets de construction s'élevait à 89% en 2016 et pour les déchets d'emballage plastique le taux était de 42%, et aussi pour les déchets électroniques le taux de recyclage en 2016 est de 41% ( contiennent des matériau de valeur), les déchets municipaux quand à eux le taux de recyclage est de 46%.



**Figure II.2 :** Les taux de recyclage des différents flux de déchets solide en Europe en 2016 en UE [41].

#### II.1.1.6. La valorisations organique

Les déchets ménagers organiques peuvent être traités par le compostage ou la méthanisation

- **Le compostage**

Le compostage est une méthode biologique de valorisation des matières organiques contenues dans les ordures ménagères. C'est un procédé biologique de fermentation naturelle par lequel des micro-organismes (bactéries) décomposent la matière organique (résidus de fruits, légumes, bois,..) [42].

- **La méthanisation**

C'est un procédé qui utilise la fermentation anaérobie pour traiter une partie des déchets ménagers. Il en résulte du biogaz et un amendement organique. Ce biogaz (composé

majoritairement du méthane) peut servir à fournir l'énergie nécessaire au processus de fermentation et le reste peut être prélevé pour d'autres usages, (il peut être injecté dans le réseau de distribution de gaz) [43].

#### II.1.1.7. La valorisations énergétique

- **L'incinération**

L'incinération consiste à brûler les déchets ménagers dans des incinérateurs et permet de produire de l'énergie qui peut être valorisée sous forme de chaleur ou pour produire de l'électricité, ou les deux à la fois (cogénération) [43]. L'incinération génère aussi des mâchefers (résidus solides granulaires) qui selon leurs caractéristiques physiques et chimiques et leur potentiel polluant, peuvent être valorisés dans les constructions routières ou doivent être stockés en décharges [44].

- **La mise en décharge**

C'est la plus ancienne mode de gestion qui était encore d'actualité il ya à quelque année et qui doit disparaître à l'exception de quelques sites réservés aux déchets ultimes.

Avant l'ère industrielle, les déchets, correspondent à une économie de pénurie, étaient de nature organique dans leur grande majorité, et leur volume, déjà limité au départ, diminuait donc rapidement de façon naturelle, les décharges étaient de simples trous, dans lequel étaient entassées les déchets, la nature faisant le reste [45].

#### II.1.2. Obligations légales Européenne

Un cadre juridique bien défini, réglementant de nombreux aspects de la gestion des déchets et de la protection de l'environnement, représente un atout considérable pour une utilisation plus durable des ressources et un usage accru du recyclage. La directive de l'Union Européenne sur les déchets liés aux emballages (94/62/EC) illustre parfaitement cet effet, elle a amené tous les Etats membres de l'Union européenne à disposer de systèmes nationaux pour la collecte, le recyclage et la récupération des déchets d'emballages. Cependant, les démarches entreprises lors de la mise en œuvre de ces politiques paneuropéennes diffèrent d'un pays à l'autre.

Dans certains cas, comme aux Pays-Bas, la culture favorise les accords volontaires (même si ceux ci doivent également être encadrés juridiquement). Dans ces pays, des taux de recyclage élevés peuvent être atteints sans s'appuyer exclusivement sur la législation. Dans le

but de minimiser les conséquences écologiques des flux croissants de déchets, la législation européenne a défini différentes obligations liées à certains types de déchets. Ces obligations doivent être observées par l'ensemble des états membres.

- Les directives suivantes traitent des déchets plastiques :
  - ✚ Directive sur les emballages et déchets d'emballages (94/62/EC)
  - ✚ Directive sur les véhicules hors d'usage (2000/53/EC)
  - ✚ Directive sur les déchets liés aux équipements électriques et électroniques (2002/96/EC)
  - ✚ Directive sur l'enfouissement des déchets (99/31/EC) [15].

Le cadre générale repose sur deux textes :

- La directive cadre sur les déchets de 2008 définit 3 principes :
  - la priorité donnée à la prévention en termes de production de déchets et en termes de dommages causés par les déchets avant la préparation pour une réutilisation, le recyclage et l'élimination.
  - le principe pollueur-payeur.
  - la responsabilité élargie du producteur pour la gestion des produits en fin de vie.
- Le règlement sur les transferts de déchets de 2006 révisé en 2014 à été pris pour superviser et contrôler les transferts à l'intérieur et à l'extérieur de l'UE.
  - ✚ Directive 2008/98/CE du parlement européen et du conseil du 19 novembre relative aux déchets et abrogeant certaines directives, JOCE, L, 312.
  - ✚ Règlement CE n°1013/2006 du parlement européen et du conseil du 14 juin 2006 concernant le transfert des déchets, JOCE, L, 190,12 juillet 2006 [15]

### II.1.3. Gestions des déchets en Algérie

Dans les pays en développement, la décharge contrôlée ou centre d'enfouissement technique est à l'heure actuelle, considérée comme la technique de traitement la plus facilement maitrisable et la moins couteuse [46].

Or que le manque de maitrise de cette technique engendre d'un autre coté des impacts sur l'environnement et sur la santé publique causés par les fuites de lixiviats, contamination des nappes phréatiques voir même des explosions causées par les biogaz qui ne sont pas retirés et exploités.

En Algérie, la politique de gestion des déchets est fondée sur trois types d'instruments :

Les instruments législatifs ou réglementaires, les instruments économiques (incitation, taxation) et les instruments de sensibilisation et formation. Pour répondre aux exigences auxquelles elle a souscrit, l'Algérie a signé beaucoup de protocoles et conventions visant à préserver la santé publique et l'environnement et notamment, la convention de Bâle en 1998 par la suite, l'Algérie a ratifiée le protocole de Kyoto sur les changements climatiques [35].

En 2001, l'Algérie a pris un nouveau départ avec l'adoption du programme national de la gestion intégrée des déchets municipaux (**PROGDEME**), dont les objectifs sont entre autres, l'éradication des décharges sauvages, et la promotion des activités de recyclages et de tri sélectif afin d'améliorer la qualité de l'environnement et protéger la santé publique

Un autre système public de reprise et valorisation de déchets d'emballages :

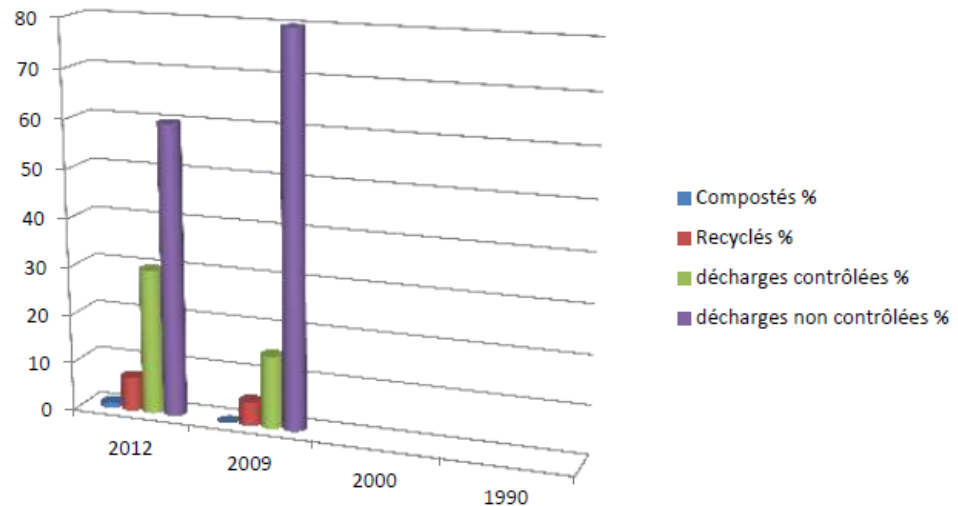
- **Dispositif Eco-Jem**

La société algérienne a connu durant la dernière décennie une évolution dans les habitudes de consommation, générant ainsi des quantités importantes de déchets dont les emballages sont loin de constituer une partie négligeable. Face à cette situation, il n'existe aucun système de tri, de récupération et de recyclage. Le MATE a mis en place un système public de reprise et de valorisation des déchets d'emballage sous le label Eco-Jem qui découle du **décret du 11 novembre 2002** relatif à la gestion des déchets d'emballages [12].

- **Le plan national d'action pour l'environnement [14]**

Le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) a fixé les différents programmes environnementaux du pays pour 2001-2009. Le « Rapport National sur l'État et l'Avenir de l'Environnement » (RNE 2000) a servi de base à l'élaboration de ce plan. Ainsi, depuis 2002 la gestion des déchets solides urbains a connu de nets progrès à travers l'élaboration et la mise en œuvre des mesures réglementaires et un accompagnement de formation et de sensibilisation en direction des services techniques (Collectivités locales) et gestionnaires de déchets.

Malgré l'existence de ces politiques environnementales et la réglementation en matière d'élimination des déchets, l'élimination des déchets solides par la voie de la mise en décharges sauvages (figure II.3) est le mode le plus utilisé avec un taux de 82% [12].



**Figure II.3 :** Histogramme de méthode de traitement des déchets en Algérie (2009-2012) [14].

### II.1.3.1. Législations Algérienne

#### II.1.3.1.1. Cadre juridique

Le premier texte en Algérie qui pose le problème, jusqu'alors négligé, des déchets en général, date de 1987. Depuis, de nombreux textes réglementant la collecte et l'élimination des déchets, en général et en particulier, sont apparus, surtout depuis la promulgation de la **loi N° 83-03 du 05 février 1983**, relative à la protection de l'environnement.

La prise de conscience du réel problème et des dangers que représentent les déchets, à risque ou pas a conduit le pouvoir public à réglementer les déchets. Le principal texte réglementaire relatif à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets est la **loi N° 01- 19 du 12 –Décembre 2001** relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets [47].

- ✚ **Loi n° 01 -19 du 12 décembre 2001**, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- ✚ **Loi n° 02 – 02 du 05 février 2002** relative à la protection et la valorisation du littoral.
- ✚ **Décret exécutif n°02-372 du 11 novembre 2002** relatif aux déchets d'emballage.
- ✚ **Décret No 02- 372 du 11 novembre 2002** relatif aux déchets d'emballages.
- ✚ **Loi N° 03 – 10 du 19 juillet 2003** relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- ✚ **Décret No 03-477 du 09 Décembre 2003** fixant les modalités et les procédures d'élaboration, de publication et de révision du plan national de gestion des déchets spéciaux.

- ✚ **Décret No 03-478 du 09 Décembre 2003** définissant les modalités de gestion des déchets d'activités de soins.
- ✚ **Décret No 04-409 du 14 Décembre 2004** fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux.
- ✚ **Décret No 04-410 du 14 Décembre 2004** fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.

## II.2. Recyclage du plastique

Les directives relatives à la mise en décharge et à l'incinération imposent le contrôle des quantités de déchets éliminés par les voies traditionnelles. Cependant, certains pays interdisent également l'élimination des déchets par les méthodes traditionnelles. Ces interdictions obligent les producteurs de déchets à recourir à des méthodes alternatives pour la gestion de leurs déchets, à savoir la réutilisation ou le recyclage [15].

### II.2.1. Recyclage des plastiques et développement durable

Le recyclage des déchets plastiques peut contribuer positivement à une politique de développement durable intégrant des aspects environnementaux, économiques et sociaux, encadrée par une législation efficace [15].

#### II.2.1.1. Avantages

##### a. Aspects environnementaux

Le recyclage des déchets plastiques peut s'avérer très utile pour les autorités locales ou régionales soucieuses d'améliorer leur environnement au niveau local, régional, national et mondial :

- **Lutte contre le gaspillage des ressources**

Selon les estimations du secteur, la fabrication du plastique, largement fondée sur le pétrole brut comme matière première, entrerait à hauteur de 4 % dans la consommation globale de pétrole brut. Pour chaque kilo de plastique produit, environ deux kilos de pétrole sont nécessaires.

- **Réduction du besoin de nouveaux sites d'élimination des déchets**

Recycler les déchets cela permet de réduire voir éliminer le mode de mise en décharge des déchets.

- **Limitation des émissions de gaz à effet de serre**

Dans le cadre de l'application du **protocole de Kyoto** et conformément au souhait général de réduire l'impact de la société sur notre climat, il est primordial d'examiner les aspects globaux de la gestion des déchets en termes environnementaux. Comparés aux processus de production des résines vierges, les processus de recyclage génèrent moins de CO<sub>2</sub>. Une étude réalisée pour la Commission européenne<sup>15</sup> fournit quelques chiffres relatifs à ces économies.

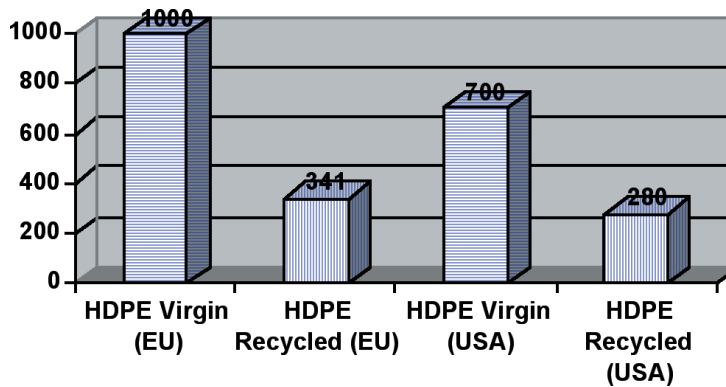


Figure II.4 : Emissions de CO<sub>2</sub> pour les PEHD vierges et recyclés (2004) [15].

### a. Aspects économiques

- **Création d'emplois**

Le recyclage peut offrir, au niveau local, des opportunités de création de postes pour la collecte, le tri, les communications, l'administration et le retraitement. Le retraitement peut être assuré à l'échelon local, régional ou au-delà. Par conséquent, les avantages économiques de l'embauche peuvent être ressentis localement ou à plus grande distance. La création d'emplois engendre incontestablement des effets positifs sur la société.

### b. Aspects sociaux

- **Sensibilisation de la population à l'environnement**

- La mise en place de programmes de recyclage permet de sensibiliser davantage la population aux questions environnementales. En effet, une portion importante de la population participe activement aux projets lorsque ceux-ci sont disponibles,

Pour l'amélioration et l'expansion des services existants autour d'un éventail plus complet de déchets plastiques.

- Amélioration de la qualité de la vie des citoyens

## II.2.2. Valorisations du plastique en Europe

Le recyclage des plastiques constitue à présent une activité de plus en plus viable, le taux de recyclage est appelé à poursuivre sa progression en suivant le rythme des volumes croissants de déchets plastiques dont la conséquence est une augmentation des volumes collectés [48].

**Tableau II.1 : Taux de collecte séparée par type d'utilisation des emballages en (UE) [48].**

Utilisation des emballages	2007	2015
<b>Bouteilles, contenants et dispositif de fermeture</b>	25%	37,7%
<b>Boîtes PEHD</b>	100%	100%
<b>Emballage rétractables</b>	10%	15%
<b>Films</b>	10%	15%
<b>Sac</b>	5%	7,5%
<b>Sachets</b>	5%	7,5%
<b>Plateaux</b>	10%	15%
<b>Autres petits emballages</b>	3%	4,5%

L'Europe produit 25 millions de tonnes de déchets plastique chaque année et d'après la (figure II.5) le taux des modes de gestion de ce déchets ont cru une augmentation dont 15 millions de tonnes sont valorisés (incinération sans récupération d'énergie) en 2012 contre 13 millions de tonnes en 2009, 9,5 millions de tonnes sont valorisés énergétiquement contre 7 millions en 2007 et 6 millions de tonnes sont recyclés en 2012 et pour les quantités de déchet plastique mises en décharge à connu une baisse de 14 millions de tonnes en 2007 à 10 millions de tonnes en 2012 Globalement, la quantité de déchets plastiques post consommation recyclés et valorisés a progressé de 4,8 % par rapport à 2010 [32].



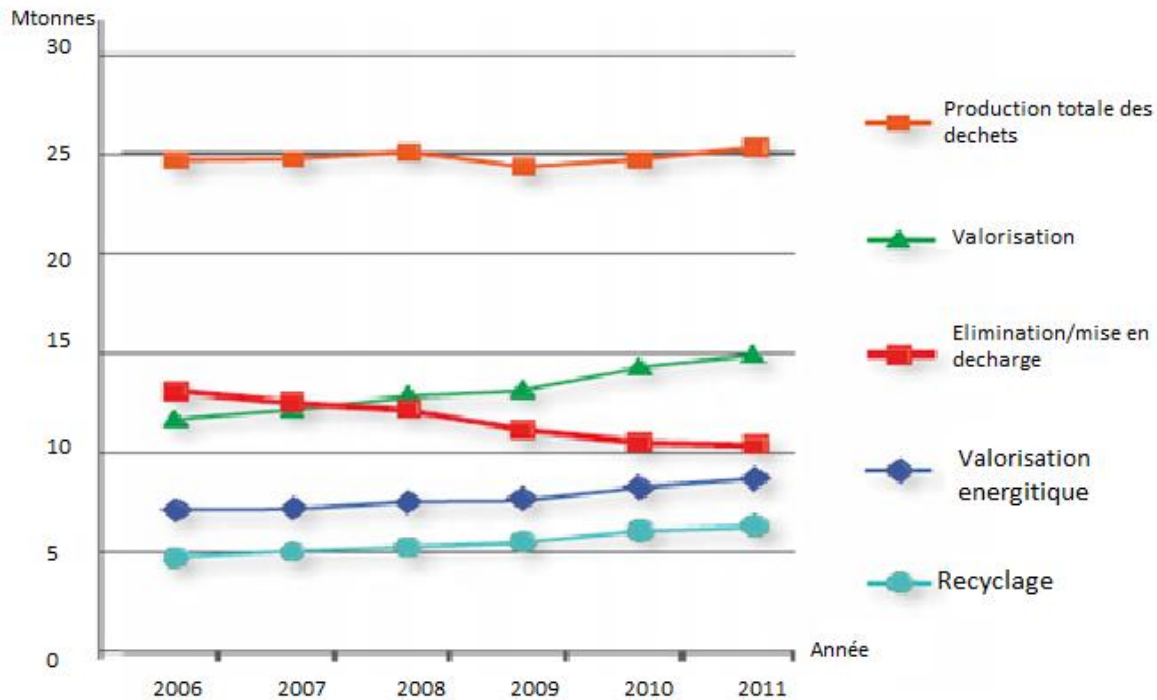


Figure II.5 : Quantité totale de déchets plastiques recyclés et valorisés en Europe (2006 – 2012) [32].

### II.2.3. Le recyclage du plastique en Algérie

Les principaux produits contenant des emballages en plastique sont : huile, boissons, eau et produits de lessive. Plus de 2 millions de tonnes d’emballage plastique produits en Algérie par 192 unités dont seules 4000 tonnes sont récupérées (soit 0,0002%), sauf que la capacité de récupération du plastique est de 130 mille tonnes par an.

Cependant, seulement sept entreprises se spécialisent dans le recyclage du plastique, alors que l’Algérie produit 1.7 milliard de bouteilles par an [49].

La diversité des polymères doit être prise en compte comme un critère essentiel dans la planification de la collecte, du tri et du traitement des déchets. Un type de plastique spécifique peut présenter de nombreux aspects et propriétés différent, et avant d’adopter un mode de traitement de ces déchets en particulier le traitement par le recyclage; un bon tri est nécessaire car le volume de déchets recyclés dépend de la qualité du tri. Pour cela des centres de tri existent et des techniques de tri sont multipliées et améliorées.

### II.2.4. Les techniques de tri des déchets solides et des plastiques








#### II.2.4.1. Reconnaissance des plastiques les plus courants

Au premier coup d’œil c’est difficile de connaître et trier les plastiques :

- Le moyen le plus simple pour reconnaître un plastique est d'utiliser si possible le code d'identification des résines qui est un pictogramme représente la boucle de recyclage (boucle de Möbius) associé à un numéro à l'intérieur que l'on peut repérer quel plastique se recycle, c'est un système d'identification des résines développé par la Société de l'Industrie Plastique du Canada dans l'objectif de favoriser le tri et le recyclage des bouteilles et contenants en plastique. Puis repris en Allemagne, puis en Europe, son application est volontaire de la part des fabricants.

Il existe plusieurs sortes de plastiques destinées bien souvent à des usages différents. C'est pourquoi un système à 7 codes a été mis en place :

**Tableau II.2 : Les codes d'identification des plastiques [50].**

Code	Nom	Utilisations courantes
	Polyéthylène téréphtalate	Bouteilles de boissons gazeuses et d'eau de source, pots de beurre d'arachide, contenants d'œufs.
	Polyéthylène haute densité (PEHD)	Bouteilles de savon à lessive et de shampoing, contenants de lait ou de jus, sacs d'emplettes.
	Polychlorure de vinyle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emballages plastiques (pellicules plastiques moulantes, films souples)</li> <li>• Cartes « format carte de crédit » (genre carte fidélité, réduction, ...)</li> </ul>
	Polyéthylène basse densité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récipients souples</li> <li>• Sachets</li> <li>• Sacs (ordures ménagères, sorties de caisses)</li> <li>• Tubes souples (crèmes dermiques, cosmétiques...)</li> </ul>
	Polypropylène	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emballage de produits gras</li> <li>• Flacons, récipients et objets divers</li> <li>• Conditionnement de produits laitiers et des charcuteries (yoghourts, margarines,...)</li> <li>• Récipients de préparations à réchauffer</li> </ul>
	Polystyrène	matériel de bureau (règles équerres, rapporteurs.
	Autres : variété de résines, matériaux composites	Bouteilles d'eau de 18 l réutilisables, bouteilles de polycarbonate.

### II.2.4.2. Tri par séparation balistique

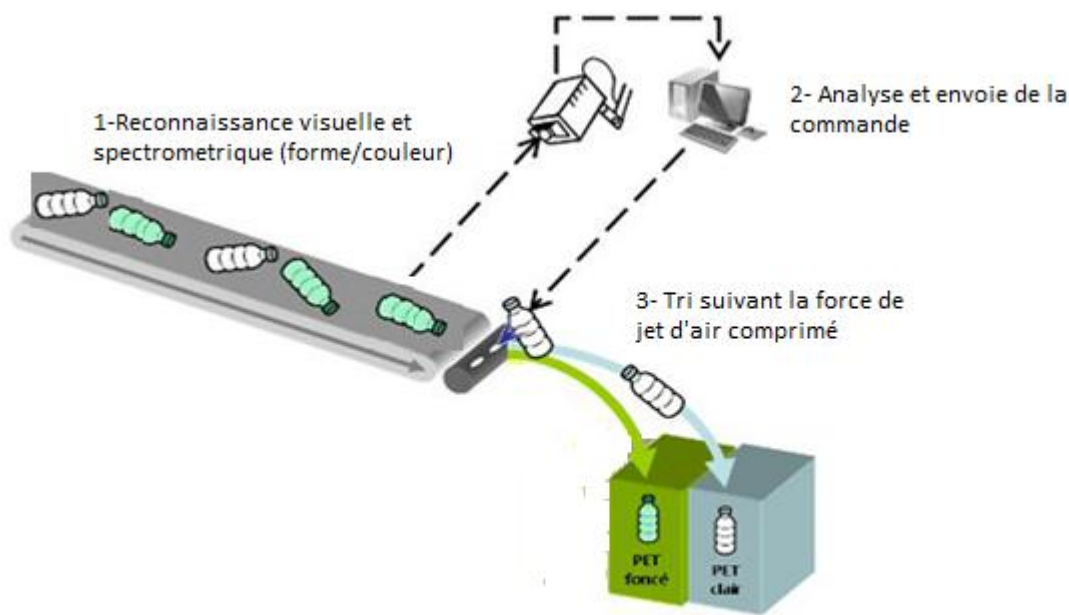
Ce mode de tri permet de trier les mélanges de déchets solides.

C'est un mode de tri qui est basé sur le mouvement de projectiles, il sépare à la fin trois fractions différentes, les corps légers et plats comme les films, les corps lourds creux comme les bouteilles, canettes, boîtes, et la troisième fraction qui sont les plus petits déchets (particule de papier, métaux, tissu,...) sont criblés par les grilles d'un séparateur.

Le système constitue de séparateur balistique où les déchets en mélange passent par le premier tapis tournant horizontal qui se trouve en dessous d'un deuxième tapis tournant incliné, ce dernier contient des pales qui tournent et laissent rebondir les déchets et acquièrent une trajectoire selon leurs poids. Les corps lourds et creux comme les bouteilles, canettes, boîtes, tombent dans la partie inférieure du séparateur et les corps légers et plats comme les films se dirigent vers la partie supérieure du tapis incliné et au niveau de ce tapis incliné se trouve une grille qui sert pour l'évacuation des éléments fins par criblage.

### II.2.4.3. Tri optique

C'est une technique de tri utilisée surtout pour les déchets plastiques (bouteilles, tube,...) les critères examinés sont la forme, la tailles et la couleur au sens large. La technologie de tri optique (figure II.6) se base sur le principe de détection des couleurs. Les déchets sont envoyés sur un tapis tournant et à l'aide d'une camera placée en dessus du tapis et d'un faisceau lumineux assuré par des lampes halogènes (domaine du visible et la longueur d'onde est située entre 400-800 nm) les objets sont éclairés et une certaine quantité de lumière est réfléchi, cette dernière est relevée par un capteur (camera ou spectrocolorimetre ) et l'information est envoyée vers l'unité de traitement qui va l'analyser et commander les électrovannes qui sont responsables de l'éjection des objets en deux ou trois catégories, par familles et couleurs.



**Figure II.6 :** Représentation de la technique de tri optique [51].

#### II.2.4.4. Tri manuel

Dans bien des cas et pour un grand nombre de matières, le tri manuel permet après vérification de conformité d'effectuer un premier tri des déchets, et de faciliter leur futur traitement automatique. Ainsi tout les déchets plastiques collectés (bouteilles flacons, boîtes... en PET, PP, PEHD) sont placés sur des tapis, et démantelés par des opérateurs qui retirent les polluants qui ne sont pas de même nature. Il en va de même pour les films, par exemple, qui sont ainsi devisés en deux flux, les films couleurs et les films transparents, qui sont retirés à la main, dans certain cas une simple vérification visuelle est nécessaire avant d'envoyer les produits vers les filières de recyclage.

#### II.2.4.5. Tri par flottation

La flottation est une autre technique post-broyage utilisée pour le traitement (tri) automatique des déchets, elle est basée sur le principe de différence de densité des différents types de plastique.

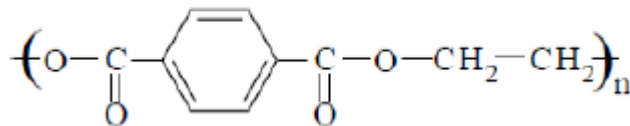
La matière broyée sous forme de paillettes est envoyée dans un bassin remplie de l'eau qui va permettre de séparer les paillettes selon leurs natures et sous l'effet de la densité où le plastique plus dense va couler et les plastiques légères vont flotter. Cette méthode est

employée non seulement pour les mélanges de plastique PET, PEHD, PP,.....etc., mais aussi peut être utilisée pour débarrasser les différents polluants (comme les particules métalliques) qui sont susceptibles d'être présents dans un mélange de plastique (PEHD, PP).

## II.2.5. Types des plastiques recyclés

### II.2.5.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET)

Le PET (figure II.7) est un polymère de grande diffusion utilisé dans de nombreuses applications. Il est obtenu par estérification lente entre l'acide téréphtalate (AT) et de l'éthylène glycol (EG), c'est un matériau dur, rigide et solide avec une bonne stabilité dimensionnelle et un faible taux d'absorption d'eau. Il présente une bonne imperméabilité des gaz ce qui explique son utilisation pour les boissons gazeuses, il peut être transparent comme il peut être colore. Ce matériau peut être recyclé à l'aide pratiquement de toutes les techniques disponibles, du recyclage mécanique au recyclage chimique [52].



**Figure II.7 :** Structure de répétition du polyéthylène téréphtalate [53].

Les principales propriétés physico-chimiques et thermiques sont données dans le (tableau II.3)

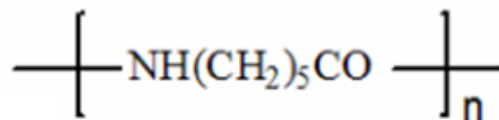
**Tableau II.3 :** Propriétés physico-chimiques et thermiques du PET [54].

Propriétés	Valeur
Masse volumique	1,3g/cm <sup>3</sup>
Transition vitreuse	67 °C
Taux d'absorption d'eau	30%
Capacité calorifique	1200-1350 KJ/KG
Température de fusion	245 °C

Le PET très largement utilisé par les industriels, représente une production mondiale de 21 millions de tonnes en 2014 avec un taux de croissance annuel de 4 à 5% qui devrait atteindre plus de 26 millions de tonnes en 2020 ce matériau thermoplastique est principalement utilisé pour la fabrication de bouteilles (69% de PET), de films (14%), d'emballage (10%) et d'autre applications, comme la production de 1kg de PET nécessite 1,9 kg de pétrole brute, le recyclage de cette matière est donc devenu une priorité à cause du coût élevé de la matière première (pétrole) [55].

### II.2.5.2. Le polyamide PA ou nylon

Les polyamides (PA) (Figure II.8) sont des polymères relativement peu photosensibles, ils sont donc les plus appropriés pour les utilisations en extérieur. Les polyamides offrent en général une grande résistance à la traction, un bon comportement aux chocs à température ambiante ou élevée et une excellente résistance à l'abrasion. Cependant, ils sont très sensibles à l'humidité [56].



**Figure II.8 :** Formule chimique du PA 6 [56].

**Tableau II.4 :** Propriétés physico-chimiques et thermiques du PA 6 [57].

Propriété	valeur
Densité	1,14
Absorption d'eau à 23°C	3%
Allongement à la rupture	50%
Point de fusion	220°C
Transition vitreuse	120 °C

- **Domaine d'utilisation de PA**

- Sa première application était le soi des brosses à dents en 1938.
- Domaine des textiles : le bas en nylon en 1939, des vêtements, des parapluies.
- Les cordes de parachutes et les ceintures de sécurités.
- Utiliser pour les emballages [57].

### II.2.5.3. Le polyéthylène haute densité(PEHD)

Le PEHD est un thermoplastique de la famille des polyoléfines issue de la polymérisation de l'éthylène (CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>) le PEHD possède une bonne flexibilité, très résistant aux acides (vinaigre) aux alcools aliphatique (l'éthanol) et aux hydrocarbures. Les marchés du PEHD incluent, entre autres le conditionnement, les bidons, les poubelles, caisses, tuyaux, meubles et films.

**Tableau II.5 :** Propriétés physique-chimiques et thermique du PEHD [58].

Propriétés	Valeurs
Température d'utilisation	15°C
Masse volumique	0,92 g/cm <sup>3</sup>
Température de fusion	126-136 °C
Transition vitreuse	-110°C
Contrainte à la rupture	13-25 MPa
Taux d'absorption d'eau	0,01 %

En 2007 le marché du PEHD à atteint un volume de plus de 30 millions de tonnes, pour arriver à 50 millions de tonnes en 2016. Pour faire un kilo de PEHD il faut 1,75 kg de pétrole [59].

### II.2.6. Les procédés de recyclage de plastique

Actuellement, il existe trois voies de revalorisation des plastiques :

- **La valorisation chimique :** Le polymère va subir un traitement chimique qui va fournir de nouveaux monomères.
- **La valorisation énergétique :** Le polymère va fournir de l'énergie par combustion.
- **La valorisation mécanique ou matière :** Le polymère va être retravaillé puis retransformé [60].

#### II.2.6.1. Valorisation énergétique

- **Incineration sans récupération d'énergie**

C'est encore pour le moment, la façon la plus utilisée et la plus rapide pour faire disparaître les déchets plastiques sans cesse, croissants. La combustion se fait dans des fours à des températures comprises entre 800 et 1000°C, les fumées dégagées sont traitées grâce à des électrofiltres pour capter des poussières. Le charbon actif et le lait de chaux sont utilisés pour enlever les gaz acides et dangereux (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>,...) et les résidus solides (mâchefers) seront récupérés au fond du four et ils peuvent être stockés ou utilisés en travaux public.

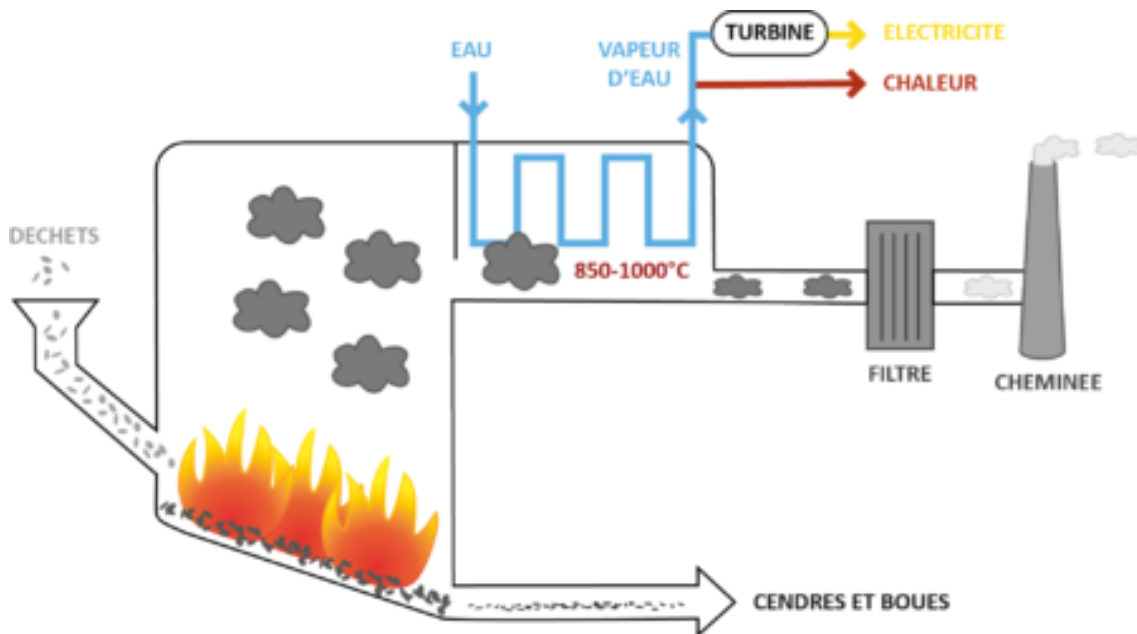
- **Incineration avec récupération d'énergie**

Le plastique constitue le principal facteur de contenu énergétique (valeur calorifique) des déchets ménagers. La plupart des déchets plastiques présentent en effet, une valeur calorifique élevée, environ 40 MJ/kg, proche de celle du pétrole [15].

**Tableau II.6 : Valeurs calorifiques des types de plastique [15].**

Polymères, carburants et déchets plastique mixtes (Mj/Kg)	Valeur calorifique nette
PEHD/PEBD/PP	45
Pétrole	40
Charbon	25
PVC (variations importantes entre PVC rigide et PVC souple)	22
Emballages alimentaires mixtes	45
Emballages non alimentaires mixtes	37

La valorisation énergétique par incinération consiste à sécher les déchets et à les soumettre à une combustion totale à des températures comprises entre 800 et 1000°C. Elle produit principalement du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> et de l'eau H<sub>2</sub>O. L'énergie dégagée peut donc être récupérée sous forme de chaleur ou d'électricité [61].

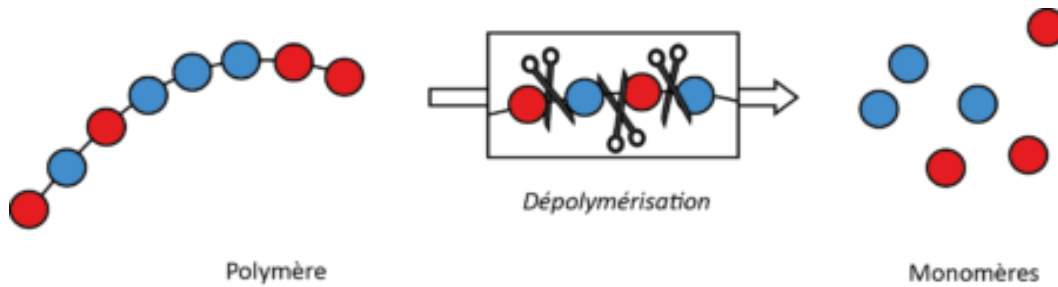
**Figure II.9 : Schéma d'un incinérateur avec récupération d'énergie de déchet [61].**

L'impact sur l'environnement de l'incinération des déchets solides en particulier le plastique est le dégagement des gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>,...). Des normes sévères sont fixées et imposent des taux d'épuration qui dépassent les 99%, ce qui engendre plus de frais pour le traitement de ces fumées et cela rend la technique plus coûteuse.

### II.2.6.2. Le recyclage chimique du plastique

Le recyclage des matières plastiques par voie chimique vise à décomposer les molécules constituant des résines en matières premières utilisables à nouveau dans les raffineries, la pétrochimie et la chimie. Un certain nombre de techniques sont utilisés [62] :





**Figure II.10 :** Représentation de la dépolymérisation [62].

- **La pyrolyse :** Décomposition des molécules par chauffage sous vide, ce procédé conduit à des hydrocarbures liquides ou gazeux utilisables ultérieurement dans les raffineries.
- **L'hydrogénisation :** Traitement par hydrogène et la chaleur des polymères qui sont craqués 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 ou d'ammoniac.

#### ➤ **Avantage**

Le recyclage chimique entre en ligne lorsque le recyclage mécanique n'est pas possible, car ce dernier est plus simple, le recyclage chimique s'adresse donc à des flux de plastiques ayant au moins une des caractéristiques suivante :

- ❖ Mélange de différents plastiques, différents additifs qui changent sensiblement les caractéristiques.
- ❖ Des composites.
- ❖ Mélange à des matières organiques inséparables [63]

#### ➤ **Inconvénient**

Le recyclage chimique des plastiques est onéreux en raison des faibles capacités et de la complexité technologique, il est donc rarement rentable par rapport à la valorisation

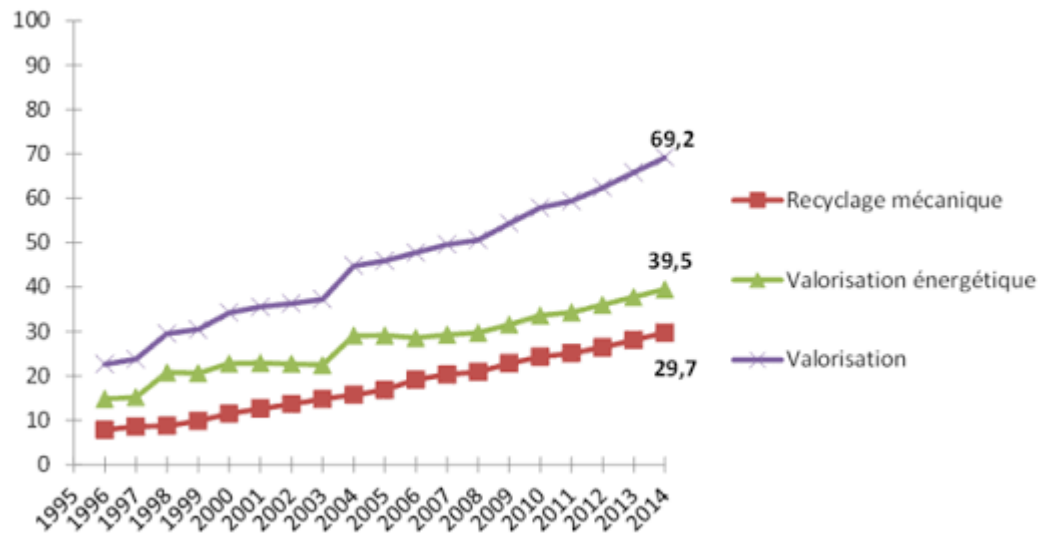
énergétique voire à l'élimination (mise en décharge, incinération) sa rentabilité à quelques exceptions près, ne pourrait donc provenir que d'une contrainte sur le marché [63].

### II.2.6.3. Recyclage mécanique

La valorisation des plastiques par la voie mécanique est une méthode simple, peu dommageable pour l'environnement et demandant peu d'investissements par rapport au recyclage chimique. Le recyclage mécanique consiste à transformer les déchets plastiques par des moyens physiques (broyage, déchiquetage, lavage, séchage et fusion) sans changer la structure chimique de la matière, pour en faire de nouveaux produits à base de plastique. L'efficacité de ce procédé pour une quantité donnée de plastique est variable, mais c'est approximativement 60% des plastiques qui peuvent être utilisés en moyenne. En principe, tous les types des thermoplastiques peuvent être recyclés mécaniquement avec peu ou pas de perte de qualité [48].

L'inconvénient majeur du recyclage mécanique est la présence d'eau et de contaminants dans le matériau pendant la mise en œuvre, qui engendre ou catalyse les réactions de dégradation responsables de la diminution de masse molaire de la résine recyclée. Les scissions de chaînes sont responsables de la diminution de viscosité du matériau et donc de la perte de ses propriétés mécanique Un autre inconvénient c'est que la qualité du produit obtenu après recyclage est moindre que celle du produit issu de matière vierge due à la présence d'impuretés [64].

La figure II.11 indique les taux de valorisation des déchets plastiques en Europe pour 2014 où le taux de valorisation (incinération sans récupération d'énergie) a connue une augmentation pour passer de 60% en 2010 à 69,2 en 2014, ce qui le rend la méthode la plus appliquée dans les pays développés et pour la valorisation énergétique qui est classée en deuxième aussi comme le montre le graphe a connu une augmentation de 35% en 2010 à 39.5 en 2014 même chose pour le recyclage mécanique qui a lui aussi connu une élévation de 20% en 2010 à 29,7 en 2014.



**Figure II.11:** Croissance régulière soutenue du recyclage et de la valorisation énergétique dans les pays européens (1995-2014) [65].

## Chapitre III : Processus de recyclage du plastique

### III.1. Entreprise de valorisation des déchets plastique (REVAPLAST)

#### III.1.1. Présentation de l'entreprise

**REVAPLAST** est une entreprise de responsabilité limitée qui s'est lancée depuis 2017. Elle s'intéresse au domaine de recyclage des déchets, en particulier le plastique. L'entreprise est située au niveau de la zone industrielle de la daïra d'Akbou. **REVAPLAST** est une entreprise qui procède aussi à des campagnes de sensibilisation envers la population avec le slogan "le plastique c'est de l'argent", ce qui encourage les initiatives personnelles.

##### III.1.1.1. Structure de la société REVAPLAST

L'entreprise REVAPLASTEST est composée des structures suivantes:

- Un centre de tri des déchets plastiques d'une capacité de 10 tonnes par jours situé à Bouizen dans la commune d'Akbou w. Bejaia, implanté sur un terrain de 1700 m<sup>2</sup> dont 800 m<sup>2</sup> couvert.
- Une usine de recyclage des déchets plastiques d'une capacité de 500 kg/heure, situé à Bouzeroual dans la commune d'Akbou, le projet est implanté sur un terrain de 3000 m<sup>2</sup> dont 1200m<sup>2</sup> couvert.

##### III.1.1.2. Principales activités de REVAPLAST

De la collecte des déchets plastiques à la production de la matière première.

L'entreprise assure la collecte, le tri, le recyclage et la valorisation des déchets plastiques.

##### III.1.1.3. Stratégie d'approvisionnement des matières premières (déchets PET, PEHD)

**REVAPLAST** a mis au point une stratégie de collecte de déchets plastiques, elle a créé des comptoirs d'achats réparties dans plusieurs wilayas, ces comptoirs d'achats sont devenus des fournisseurs réguliers pour l'entreprise.

Cette entreprise mobilise aussi un réseau de collecteurs, qui jouent le rôle d'intermédiaires et de grossistes et ils garantissent un tri sélectif des plastiques.

L'entreprise a préparé un plan de collecte pour la daïra d'Akbou avec l'implantation de 350 socles pour le plastique qui sont installés dans chaque quartier et village de la daïra d'Akbou.

#### III.1.1.4. Répartition des emplois au niveau de REVAPLAST

**Tableau III.1** : Répartition des emplois au niveau de REVAPLAST.

Administration	
Directeur d'unité et de personnels	1
Secrétaire de direction	1
Comptable	1
Caissier et magasinier	1
Responsable commercial	1
Responsable marketing et sensibilisation	1
Commerciaux	2
Collecte, Triage, Logistique	
Responsable collecte et logistique	1
Agents de tri	6
Collecteur,	8
Chauffeur	4
Production	
Ingénieur et chef de production	1
Opérateur sur machines	2
Gardiennage et sécurité	2
<b>Total</b>	<b>32</b>

#### III.1.1.5. Les ressources principales de l'entreprise

- Les ordures ménagères et assimilées (bouteilles, flacons, boîte de margarine).
- Les usines d'embouteillages plastiques.
- Les points de collecte.
- Les collecteurs indépendants.

### III.1.1.6. Objectif de l'entreprise

**REVAPLAST** a ciblé le recyclage de bouteilles en plastique PET des eaux minérales et des sodas, des bouteilles et flacons en PEHD. Cela suppose la mise en place d'un système de collecte, activité balbutiante en Algérie.

L'objectif de **REVAPLAST** est de transformer une moyenne de 5000T de plastiques PET et PEHD par an. La première année, l'entreprise cherche à contribuer au développement économique local via un réseau d'initiative de collecte, de tri et de logistique.

### III.1.1.7. Utilité de l'entreprise REVAPLAST

- La mise en place de **REVAPLAST** constitue un véritable enjeu pour les pouvoirs publics, car l'établissement d'une stratégie de recyclage permet d'éviter la création ou l'expansion des sites d'incinération ou de décharge.
- Le recyclage et valorisation des plastiques est une activité économique, il constitue un moyen de création de richesses, il participe à la lutte contre la pauvreté en milieu urbain, avec l'encouragement du petit citoyen à s'investir dans la collecte et le ramassage des plastiques a lui montrer les bénéfices économiques et environnementaux que génère cette activité.
- Il a été prouvé que recycler les bouteilles et flacons en plastiques (PET, PEHD) était plus avantageux que de produire du plastique vierge. La consommation d'énergie est moindre donc c'est un double avantage on paye moins et on pollue moins.
- Création des emplois de jeunes avec la mobilisation d'un réseau de collecteurs, ils joueront un rôle d'intermédiaire.
- Du côté environnemental, personne n'apprécie la vision de paysages pollués par des déchets sur les sites touristiques. Le dépôt non contrôlé de déchets sauvages, y compris de plastiques, ne pose pas seulement un problème d'hygiène publique mais également un problème d'image, lequel peut entraîner des répercussions négatives sur l'économie.
- La consommation d'électricité, d'eau et de fioul, au niveau de REVAPLAST est de :
  - Fioul : 500 litres /heures.
  - Electricité : 340 KW.
  - Eau : 20 m<sup>3</sup>.

### III.1.1.8. Types des plastiques traités :

Au niveau de REVAPLAST, trois types de plastiques sont collectés et traités :

- Polyéthylène Téréphtalate (PET) environ 3 tonnes par jour sont collectés.
- Polyéthylène Haute Densité (PEHD) environ 500 kg à 1 tonnes par jour.
- Nylon environ 1 tonne à 1,5 tonnes collecté par jour.

### III.1.2. La collectes des déchets plastiques

La collecte est l'étape principale au niveau de REVAPLAST car tout commence par là :

- **Moyen de transport utilisé :**

Le véhicule utilisé au niveau de l'entreprise pour la collecte est le camion à plateau où chaque jour environ 4 à 6 voyages s'effectuent.



Figure III.1 : Camion de collecte des déchets.

#### III.1.2.1. Les différents déchets en plastiques collectés

- **Les bouteilles en PET (boissons, huiles, eau) et les bouteilles en PEHD (détergents, champoing, tubes cosmétiques)**

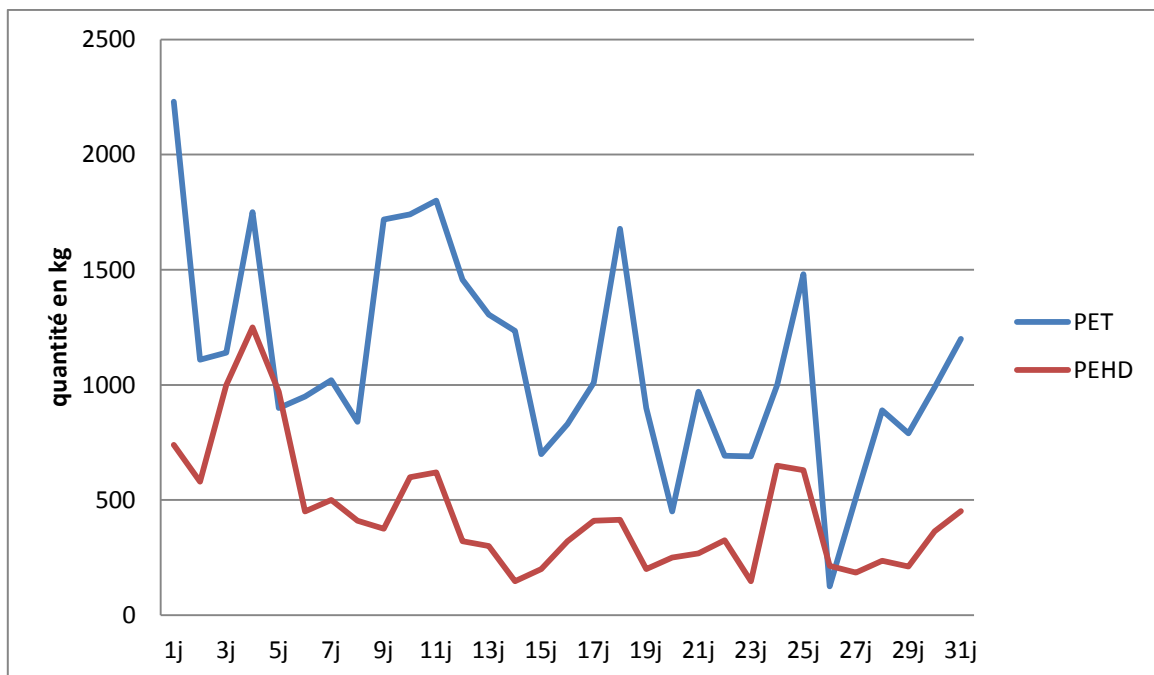


**Figure III.2 :** Bouteilles de PET collectées.

**Figure III.3 :** Bouteilles et flacons en PEHD.

Dans le monde environ 1,5 millions de tonnes de PET sont collectées par an, d'où l'importance de leur recyclage. En effet, plus de 20.000 bouteilles en plastique sont nécessaires pour obtenir 1 tonne plastique.

Pour l'entreprise de REVAPLAST, les quantités de bouteilles (PET, PEHD) collectées sont de 4 tonnes /jour et l'évolution de ces quantités est indiquée dans la figure (III.4.).



**Figure III.4 :** Evolution des quantités du PET et PEHD collectées par jour pendant le mois de janvier 2019 en (kg / j).



- **Les films transparents et colorés (cellophanes, nylon.....)**

Au niveau de REVAPLAST, une quantité de 1 tonne à 1,5 tonnes est collectée chaque jour chez les superettes, les cafeterias, les restaurants,.....etc.



**Figure III.5 :** Les films plastiques transparents et colorés collectés.

Certains facteurs influent sur l'évolution des quantités collectées comme :

- Les saisons où les quantités de bouteilles augmentent durant l'été en raison de la grande consommation des boissons et de l'eau minérale.
- Les occasions et les fêtes génèrent plus de déchets (bouteilles, pipettes et gobelets).
- L'endroit de collecte où il y a de grandes quantités dans les villes (Akbou, Bejaia et Lekseur) surtout près des restaurants, hôpitaux, centres commerciaux et cités, que dans les endroits ruraux (région de Seddouk et Ighil Ali).

- **Le matériel au niveau de centre de tri**

- Table de dépôt.
- Deux tapis roulants.
- Une presse pour la mise en balle.
- Un engin pour déplacer les déchets.
- Des big bag.

- **Matériel de sécurité**

- Des combinaisons de travail.
- Des lunettes de sécurité.
- Des gants.
- Masques.

### III.1.3. Processus de tri « Le tri manuel »

C'est l'étape clé dans un processus de recyclage. La séparation par tri dépend étroitement de la typologie du déchet rencontré et des impuretés et corps étrangers présents dans le flux de déchets. Le tri s'opère avant le broyage et s'effectue d'une manière manuelle. Les impuretés sont généralement le PVC, les bouteilles d'huile opaques, les métaux, papier, tissus.....etc.

Au niveau de centre de tri, chaque type de plastique est séparé car le mélange des plastiques lors de processus de recyclage engendre des phénomènes nuisibles sur le produit final.

Au niveau de centre de tri de REVAPLAST, la technique du tri appliquée est le tri manuel.

#### a. Séparation de matières

Qui consiste à séparer les matières :

- Sur une table les déchets sont renversés, un agent s'occupe de tri et enlève les polluants (carton, vis, objet en verre, tissus) et ne laisse passer que les déchets en plastique vers un tapis tournant.



**Figure III.6 :** Table d'alimentation.

- Autour du premier tapis horizontal tournant se trouve quatre agents (agents de tri), pour affiner la sélection, séparer les bouteilles, boîtes, tubes en plastique en fonction de leurs natures (PET, PEHD, PP) et de leur couleur (transparent, coloré, opaque) et les mettre

dans des bacs séparés pour chaque type, seul le PET transparent passe vers le 2ème tapis incliné. Les agents enlèvent manuellement les étiquettes en PVC et papier sur les bouteilles et les plastiques qui ne se recyclent pas, et ils sont jetés dans des poubelles qui se trouvent auprès de chaque agent.



**Figure III.7 :** Le tapis tournant de tri manuel.

❖ Sur le deuxième tapis incliné, les déchets sont acheminés vers une presse



**Figure III.8 :** Le tapis incliné pour l'alimentation de la presse.

#### III.1.4. Le conditionnement

- La mise en balle à l'aide d'une presse hydraulique verticale à double pivot d'une puissance de cinq chevaux.
- Les déchets sélectionnés entrent dans une chambre jusqu'à remplissage puis un agent s'occupe du panneau de contrôle pour faire le pressage et fait tourner les chambres (quand

une chambre compresse, l'autre chambre est toujours prête à être chargée) ce qui permet d'effectuer deux tâches à la fois et augmenter l'efficacité de travail.

A la fin il sort deux balles de déchet en plastique emballées et attachées, chacune des balles ont presque le même poids (1tonne), les balles formées seront déplacées vers une surface de stockage.



**Figure III.9 :** La presse de mise en balle.



**Figure III.10 :** Les balles de déchets.

- **Pour les films de (nylon et cellophane)**

- Le tri s'effectue manuellement, les agents séparent les films en fonction de la nature (nylon, cellophane, polyester) et de la couleur (transparent, noir, rose) et enlèvent les déchets non recyclables ou qui demande un traitement spécifique (sachet alimentaire, sachet de chips, papier et le scotch)
- Stockage de produits conditionnés, le stockage est la dernière étape de processus, une zone spécifique du centre de tri est dédiée au stockage des produits conditionnés (balles et big bag).



**Figure III.11 :** Les déchets plastiques stockés sous forme de balles.

### **III.1.5. Processus de recyclage mécanique de plastique (PET)**

Le recyclage mécanique a pour but d'utiliser les matières plastiques usagées dans la production d'un nouvel objet. Le processus consiste à identifier les différentes sources de déchets du plastique à recycler, à les collecter, les trier, les broyer, puis à les régénérer. La séparation est nécessaire à l'obtention de lots de matières purifiées, traitées, le plastique peut être ensuite transformé en produits finis.

#### **III.1.5.1. La Réception de la matière première**

Après la collecte, le tri et le conditionnement des déchets, (mise en balles, big bag), la matière première est transportée vers le centre de traitement.

#### **III.1.5.2. Sélection et tri pré-broyage**

Sur une table, les balles sont déposées, un ouvrier s'occupe de l'acheminement vers le tapis tournant incliné de largeur de 1,20m et de longueur de 3,55m.



**Figure III.12 :** Le tapis élévateur de déchets.

Les déchets passent par un premier tapis élévateur vers une vis déballeuse horizontal avec des dents, la vis tourne et les dents écrasent les bouteilles contre les parois ce qui permet d'enlever les étiquettes (papier, PVC). La présence d'un ventilateur à la sortie de la vis facilite la séparation de bouteilles et étiquettes grâce à la force du vent, (les objets plus légers (papier, emballage) montent et les bouteilles et plastiques descendent.

Les étiquettes et papier sont récupérés en haut dans une chambre et les bouteilles sont dirigées vers le broyeur à l'aide d'un tapis chargeur.



**Figure III.13 :** La déballeuse.



**Figure III.14 :** Le tapis incliné d'aimantation.

### III.1.5.3. Le broyage

Le broyage est une étape importante et incontournable dans le processus de recyclage. Au cours de cette opération, les déchets vont subir une réduction de taille (paillettes), les bouteilles sont broyées grâce aux lames rotatives qui ont un calibre bien défini (calibre 12). Pour l'homogénéisation de la taille des paillettes le broyage se réalise en présence de l'eau froide (500L) pour éviter tout risque d'incendie et faciliter l'opération.



**Figure III.15 :** Le broyeur.

- Pour les films du nylon, ils passent par une autre chaîne de traitement où ils sont directement acheminés vers le broyeur (calibre 16) à l'aide d'un tapis d'alimentation et le broyage s'effectue toujours en présence de l'eau froide pour avoir à la sortie des paillettes.



**Figure III.16 :** Le tapis d'alimentation du nylon. **Figure III.17 :** Broyeur de film en nylon.

#### III.1.5.4. Le lavage

- **Lavage des paillettes**

Le lavage des paillettes s'effectue dans une cuve cylindrique de 1000L (malaxeur) pleine d'eau chaude à (110°C) contenant de la soude caustique (NaOH) sous forme d'une poudre. Cette cuve est dotée d'un système d'agitation (vice) qui assure un bon mélange, et pour se débarrasser des impuretés et des souillures il se trouve un tamis de 0,2cm, au fond de la cuve qui laisse passer tout ces souillures en appliquant un système de purge, donc cette étape agit sur le degré de propreté des paillettes.

Notons que, lors du lavage, les facteurs température de l'eau, concentration de la soude et le temps de séjour des paillettes dans la cuve influent sur la qualité des paillettes. Donc, cette opération nécessite des conditions opératoires bien définies.

- Au niveau de REVAPLAST la quantité de la soude ajoutée est de 20kg par 1000L.
- Le pH égale à 13 à l'intérieur de la cuve (milieu basique).
- Le temps de séjour des paillettes de PET à l'intérieur de la cuve est de 3 minutes.
- La quantité d'eau rejetée par purge est presque de 10 L par semaine stockée dans un bassin de 100 L pour subir une décantation.
- La vitesse d'agitation à l'intérieur de la cuve est de 30 tpm.



**Figure III.18 :** La cuve de lavage.

- Le nylon broyé est dirigé à l'aide d'une visse horizontale vers le bassin de lavage qui est remplie de l'eau (2000 L) et d'une quantité de la soude (environ 3 kg), et l'agitation se fait grâce à 6 racleurs qui sont émergés dans le bassin. La température de lavage ne dépasse pas 30 °C, car le nylon est de la famille des polyamides qui sont très sensibles à la chaleur, et le temps de séjour de nylon à l'intérieur du bassin ne dépasse pas les 3 minutes.



**Figure III.19 :** Bassin de lavage de films de nylon.

### III.1.5.6. Le tri par flottation (post-broyage)

#### a. Première séparation par densité (flottation)

C'est une étape importante puisqu'elle sépare les paillettes du PET et d'autres impuretés par différence de densité, par exemple : les bouteilles en PET d'eau ou de soda et les bouchons sont en PEHD ou polyoléfinés (PE, PP) doivent être séparés, car ils sont de nature chimique différente, la présence de polyoléfinés dans les paillettes du PET perturbe le procédé de recyclage, entraînant des défauts de qualité des déchets à traiter et voir même l'impossibilité de production finie.



**REVAPLAST** possède un système de séparation qui se déroule dans un bassin d'eau de 600 L d'une température ambiante (environ 24°C) doté de 5 racleurs à dents pour débarrasser les impuretés, les particules de PEHD, PP qui possèdent une densité plus légère ( $<1\text{g/cm}^3$ ) et qui vont flottés à la surface de l'eau. Grâce aux racleurs qui tournent en continue, les particules sont acheminées vers la sortie du bassin et récupérées dans des big bag. Les paillettes les plus denses ( $> 1\text{g/cm}^3$ ) (PET) restent au fond du bassin et elles sont transportées vers le deuxième bassin avec une vis dans la géométrie spirale.



**Figure III.20** : Bassin de lavage et de séparation.



**Figure III.21** : Récupération des paillettes de PEHD au niveau du bassin 1.

**b. Deuxième séparation par flottation**

Cette étape au même principe que la première séparation, s'effectue dans un bassin de même forme rectangulaire, de même température d'eau, et de même capacité (600 L).

Le but est d'assurer une bonne séparation et d'éliminer presque toutes les impuretés qui subsistent lors de la première séparation et pour la neutralisation du milieu basique qui est causé par la soude caustique (pH=6.5 à 7).

Le nylon ne subit pas un deuxième lavage (séparation par flottation).

**. III.1.5.7. Essorage et séchage**

A la sortie du deuxième bassin, les paillettes sont envoyées vers une centrifugeuse d'une vitesse (1480 tpm) et d'une capacité de 1 tonnes par heure, pour enlever tout le reste des impuretés (papier, terre,..). Les particules essorées sont agitées mécaniquement par brassage et exposées à un air chaud, produit par des résistances électriques (sècheur) dont la température est réglée à 185°C pour les paillettes en PET. A la sortie, les paillettes sont dirigées vers la tête de récupération et de remplissage des big bag.



**Figure III.22 :** Centrifugeuse (1 tonne/h).



**Figure III.23:** Tête de récupération des Paillettes.

- Les paillettes de nylons bien lavées passent aussi par une centrifugeuse de vitesse de 1000 tpm et de capacité de 0,5 tonne par heure pour enlever l'eau.



**Figure III.24 :** La centrifugeuse.

### III.1.5.8. Le stockage du produit fini

Une fois déchiquetée, lavée et séchée, la matière plastique (PET, PEHD et paillettes) est considérée comme matière première pour la production d'autres objets.

REVAPLAST produit une quantité de 4 tonnes/jour de PET et presque 1,5 tonnes de PEHD stockés sous forme de paillettes dans des big bag de 500 kg, puis livrés par l'entreprise aux clients ou bien retirés par les clients eux- même.



**Figure III.25 :** Big bag remplis de paillettes de PET.

### III.1.6. Les facteurs influençant sur la qualité du produit obtenu

- Système de tri, un tri manuel pour enlevé 90% des impuretés et un tri par flottation pour enlevé les 10% qui reste.
- La présence des impuretés (paillettes huilées ou colorées, PVC, papier, métaux,...etc.) est presque nulle (<0,2%).
- Au cours du lavage :
  - Le type d'eau utilisée lors du lavage est une eau potable de sondage.
  - Température de l'eau de lavage pour la cuve (110°C) pour les 2 bassins de séparation une température de 24°C.
  - Concentration de la soude environ 20 kg par 1000 L chaque mois.

- Le temps de séjours dans la cuve est de 3 min.

#### III.1.6.1. Critères de classification

La qualité de produit obtenu (paillettes) est basée sur la présence ou l'absence d'impuretés et le degré de traitement tel que :

- Taux des paillettes huilées (0%).
- Taux de PVC (0,2%).
- Taux de papier (0,2%).
- Taux des paillettes colorées (0,2%).
- Taux des métaux (0%).

#### III.1.7. Extrusion :

Les paillettes séchées passent dans une filière (extrusion) pour la mise sous forme de granulées. Les nylons broyés, lavés et séchés passent aussi par la phase d'extrusion.

#### III.1.7.1. Déshumidification

Les paillettes lavées et séchées, rentrent à l'aide d'une vis dans une centrifugeuse (figure III.28) pour l'essorage grâce à l'agitation en grande vitesse (1000 tpm) et de capacité de 0,5 tonne par heure , puis passer par un sécheur (air chaud à 50°C) et de vitesse de 20 tpm pour enlever l'humidité. Il est nécessaire de travailler avec des taux d'humidité inférieur à 50 ppm car si le matériau contient un taux supérieur, les granulés à la sortie contiennent des trous. Des phénomènes nuisibles apparaissent pendant la mise en œuvre telle qu'une diminution de la masse molaire entrainant une augmentation de la vitesse de cristallisation et engendre des problèmes lors de moulage par injection (déformation), ce qui dégrade la qualité de produit. La matière séchée est acheminée grâce à un aspirateur vers une trémie pour la récupérée dans des big bag

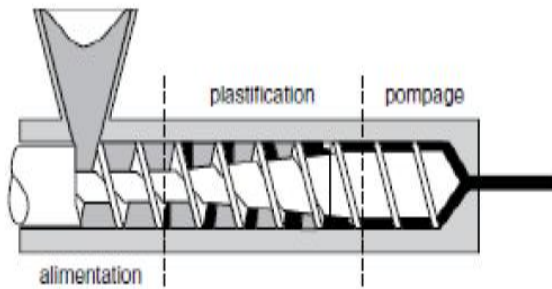


**Figure III.26 :** Tête de récupération.

### III.1.7.2. Extrusion

Les big bag remplient sont transportés à l'aide d'un chariot vers une extrudeuse horizontale.

- L'extrudeuse mono vis est un mode de mise en œuvre permettant de travailler sur le matériau à l'état fondu.
- L'appareil est constitué d'une vis sans fin qui est amenée d'un mouvement de rotation à l'intérieur d'un fourreau cylindrique.
- Le polymère à l'état solide sous forme de paillettes séchées est introduit manuellement par l'intermédiaire d'une trémie qui s'ouvre sur le fourreau et à l'entrée de la vis, et celle-ci la pousse de façon continue et force la pate de plastique en fusion de s'avancer sous pression jusqu'à la filière de sortie.
- Le système de l'extrudeuse mono vis se divise habituellement en trois zones :
  - l'alimentation, la compression et le pompage
  - La zone d'alimentation : permet la plastification du polymère (nylon).
  - La zone de compression : le matériau va être comprimé, cette étape assuré un dégazage adéquat du fondu.
  - La zone de pompage : Le polymère est homogénéisé, la sortie de l'extrudeuse (filière) donnera la forme finale a l'extrudé (filament) où ils utilisent des tamis de 0,2 cm.



**Figure III.27** : Schéma d'une Extrudeuse mono vis.



**Figure III.28** : Sortie d'une extrudeuse.

- Au niveau de l'extrudeuse, les températures sont réparties en 3 zones :
  - Le corps de l'extrudeuse, la température est de 180°C.
  - Au niveau de la vise, la température est de 120°C.
  - Vers la sortie de l'extrudeuse (tamis), la température est de 120°C aussi.

- **Facteurs influençant l'extrusion et la qualité du produit**

Les facteurs influents sur l'extrusion et la qualité du produit sont comme suit :

- La température de fusion (180°C).
- Filtration (homogénéisation) : des tamis en inox de 0,3cm.
- Présence d'impuretés <0,2 %.
- Taux d'humidité <50 ppm.

### III.1.7.3. Refroidissement et granulation

A la sortie de l'extrudeuse, des filaments de plastique sont formés, ces derniers passent par un bassin rectangulaire rempli d'eau (200 L) d'une température stable de (23°C). Le passage par l'eau permet aux fils de garder leurs formes et éviter le collage entre eux.



**Figure III.29 :** Bassin de refroidissement

Le produit va subir une dernière opération qui est la granulation où les filaments vont passer par un système (granuleuse) qui consiste à couper les fils en granulés à l'aide de lames coupante en métal.

Les granulés sont stockés dans des sachets de 50 kg et seront prêts à être commercialisés. Après granulation, la matière est dite matière première secondaire, environ 1,5 tonne de granulés produite par jour à REVAPLAT.



**Figure III.30 :** Granuleuse.



**Figure III.31 :** Des granulés de nylon.

- Le contrôle de fonctionnement de toutes les machines électriques de toute la ligne de traitement ce fait grâce a un tableau de bord (figure III.30) qui se trouve a l'intérieur de l'usine.



**Figure III.32 :** Tableau de bord électrique.

Il existe plusieurs procédés pour la mise en œuvre de la matière première recyclée pour la transformer en produit fini.

### **III.2. Les méthodes de mise en œuvre des thermoplastiques recyclés**

Pour faire un suivi de la matière première secondaire (paillettes en PEHD), nous avons visité une autre entreprise (**AKBOUPLAST**), qui est une entreprise à responsabilité limitée (SARL), située au niveau de la zone industrielle d'Akbou (Taharacht) lancée depuis 2010.

Ces activités sont la fabrication de caisses en plastique de différentes tailles (10 kg, 20 kg et 40 kg) utilisées pour contenir des produits alimentaires (sachets de lait, pots de yaourt, bouteilles de boisson, légumes).

La matière première utilisée est des granulés de PEHD vierges importés et des paillettes de PEHD recyclées achetées chez les broyeurs au niveau de la wilaya de Bejaia.

**AKBOUPLAST** dispose de deux machines électriques de moulage par injection automatique de 5 tonnes par jour et de capacité de production pour chacune de ces machines de 74 pièces (caisses) par heure et le cycle de production d'une seule pièce depuis l'alimentation jusqu'à la récupération de la ingénieur de production.

#### **III.2.1. Moulage par injection au niveau d'Akbou Plast**

Le procédé d'injection-moulage est le procédé de fabrication de pièces plastiques le plus utilisé au monde.





**Figure III.33 :** Machine de moulage par injection.

### III.2.1.1. Le principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement consiste à injecter la matière première en granulés ou en paillettes à partir d'une trémie, puis la matière est fondue à l'intérieur d'un fourreau et dirigée sous haute pression dans un moule.

### III.2.1.2. Les étapes de procédé

Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

#### **Etape 1 : La phase de dosage**

La matière plastique avant transformation se présente sous forme de granulés (3 mm) ou paillettes dépassant rarement quelques millimètres (5-6 mm), ces matières sont introduites depuis une trémie pour alimenter l'ensemble vis-fourreau (vis de plastification sans fin), celle-ci est chauffée via le fourreau à (180°C). La rotation de la vis de plastification (cisaillement de la matière), et l'action conjuguée de la température du fourreau permettent de ramollir les granulés (passage de l'état solide à l'état fondu ou déformable). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti-retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation.

Au niveau de la phase de dosage les colorants sont ajoutés (2%) sous forme de granulés (solide) et mélangés avec le PEHD pour homogénéiser la couleur du produit final.



**Figure III.34:** Le corps du four.

### **Etape 2 : La phase d'injection**

Le fondu va être acheminé grâce aux mouvements de rotation de la vis et d'une pression appliquée (115 bar) vers la sortie (buse) pour l'injecter dans le moule, et la température au niveau de la vis est de 200°C.



**Figure III.35 :** Tête de la vis d'injection (buse).

### **Etape 3 : La phase de compactage**

La matière fondue est injectée dans le moule qui est composé de deux parties, une fixe et une mobile et pendant le compactage, le moule reste fermé sous l'effet de la pression appliquée (120 bar) pour que la matière prenne la forme finale, durant la phase du compactage, la matière continue de s'écouler pour compenser le rétrécissement ou retrait de la matière qui refroidit.



**Figure III.36 :** Le moule de fabrication des caisses qui constitue d'une partie fixe (a) et une partie mobile(b)

#### **Etape 4 : La phase de refroidissement**

Lorsque le polymère est injecté et compacté, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien et la pièce formée va subir un refroidissement avec de l'eau froide (11°C) en cycle fermé, jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée et garde sa forme final. Au niveau de AKBOUPLAST environ 2000 L d'eau consommé par mois pour les deux machines.

#### **Etape 5 : La phase d'éjection**

Après refroidissement le moule s'ouvre, et la pièce formée est prête a éjectée.



**Figure III.37 :** Une caisse formée éjectée.

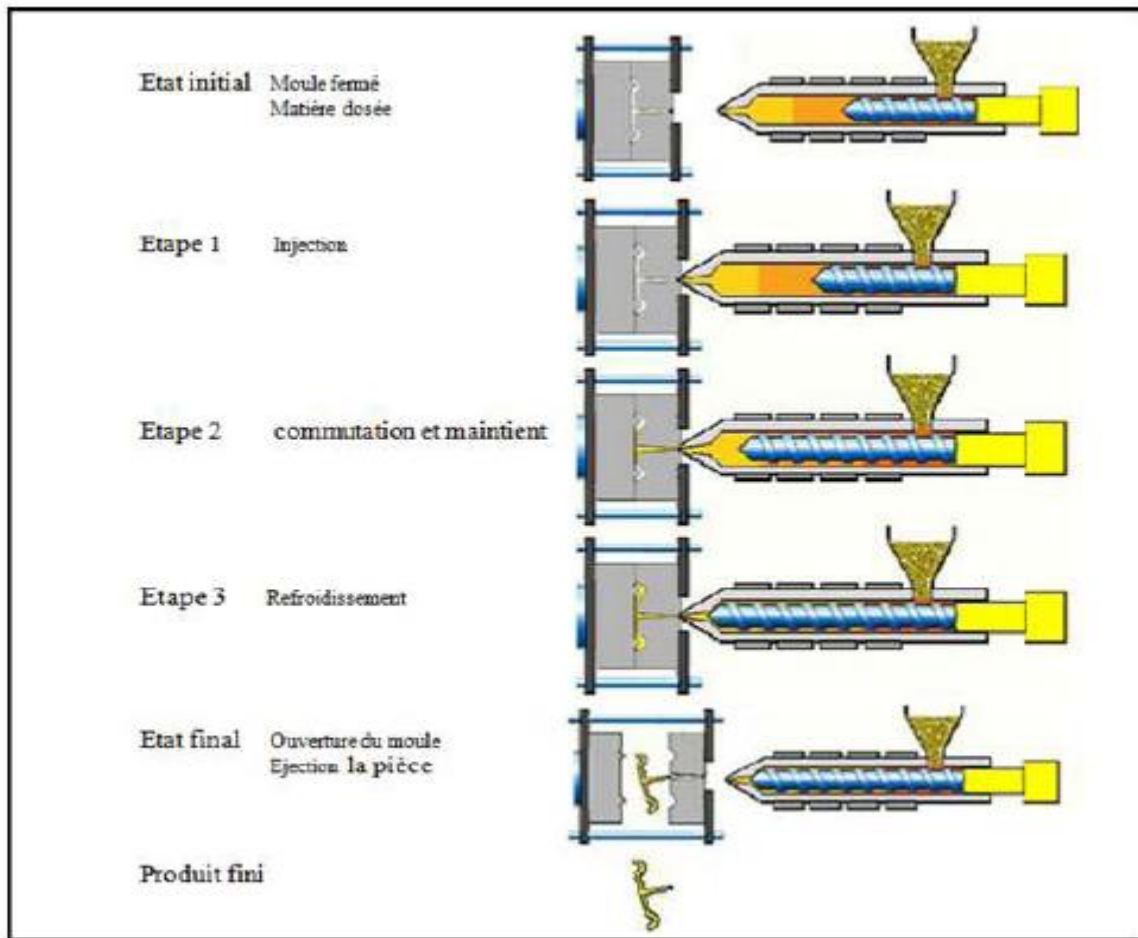


Figure III.38 : Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques [66].

### III.3. Caractérisation des plastiques recyclés par la technique de Spectroscopie Infrarouge à transformation de fourrier

La technique d'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier permet de mesurer la quantité de lumière absorbée par un échantillon en fonction de sa longueur d'onde, cela permet essentiellement l'identification des groupements fonctionnels d'un composé. Cette technique aide à détecter les modifications apportées sur la structure chimique d'un matériau donné.

Le principe de la spectroscopie infrarouge consiste à illuminer l'échantillon avec un faisceau de lumière à différentes fréquences et à mesurer les rayonnements absorbés par l'échantillon, dans le domaine des fréquences, compris entre  $4000 \text{ cm}^{-1}$  et  $400 \text{ cm}^{-1}$ .

Dans ce travail, l'analyse par spectroscopie IR a été effectuée sur un appareil de marque Agilent Technologie (Cary 630 FTIR) (figure III.39).



Figure III. 39 : Spectrophotomètre Infrarouge Agilent Technologie (Cary 630 FTIR).

Des échantillons de plastiques (PEHD et Nylon) obtenus après recyclage et mise en forme ont été récupérés au niveau de REVAPLAST.

- **PEHD** : Le spectre obtenu par analyse IR du PEHD recyclé est représenté sur la (figure III.40) Ce spectre est comparé à celui du PEHD vierge pris de littérature (figure III.41).

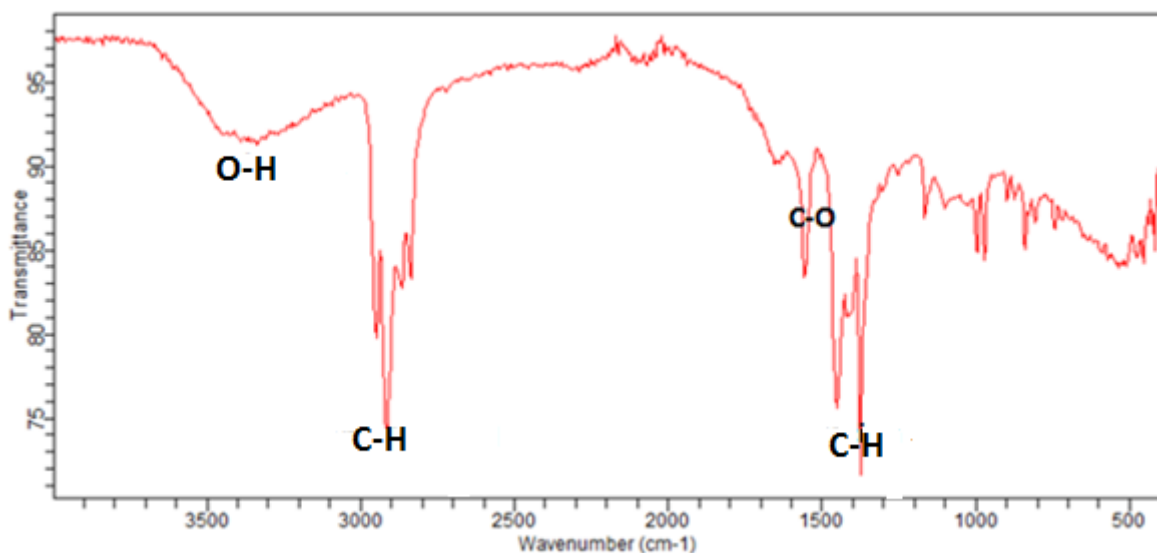
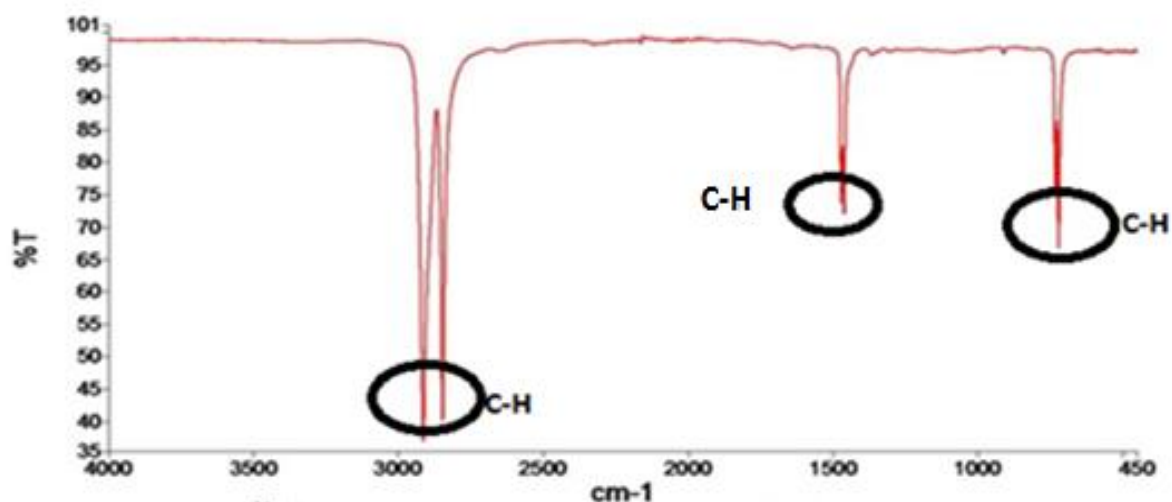


Figure III.40 : Spectre infrarouge du PEHD recyclé.



**Figure III.41** : Spectre infrarouge de PEHD avant utilisation [67].

Afin d'identifier les groupes fonctionnels et les liaisons présents dans une molécule, on dispose de tables archivées et accessibles dans toute la littérature relative aux techniques d'analyse.

**Tableau III.2** : Attribution des liaisons et des bandes d'absorption en fonction du nombre d'onde [68].

Groupement	Liaison	Nombre d'onde	Vibration	Bande
Alcools primaires	O-H	3100-3500	élongation	intense et large
=CH <sub>2</sub> (alcènes)	C-H	3080	élongation asymétrique	moyenne
		2975	élongation symétrique	moyenne
-CH <sub>3</sub> (alcanes)	C-H	2960	élongation asymétrique	forte
		2870	élongation symétrique	moyenne
-CH <sub>2</sub> -	C-H	2925	élongation asymétrique	forte
		2850	élongation symétrique	forte
-C-H	C-H	2890	élongation	Faible
-CH <sub>2</sub> -	C-H	1470	déformation cisaillement	Moyenne
-CH <sub>3</sub> (alcanes)	C-H	1460	déformation asymétrique	Moyenne
		1380	déformation symétrique	

Par identification, nous relevons une ressemblance des deux spectres, les bandes principales sont attribuées aux liaisons C-H (alcane) du PEHD, entre  $2960$  et  $2870\text{ cm}^{-1}$ , c'est les vibrations d'élongation (symétrique et asymétrique), et à environ  $1470\text{ cm}^{-1}$  la vibration de déformation. Le spectre du PEHD recyclé montre des bandes supplémentaires, comme la bande située vers  $3400\text{ cm}^{-1}$  que nous pouvons attribuer à vibration d'élongation de la liaison O-H, qui révèle la présence l'humidité ( $\text{H}_2\text{O}$ ) qui persiste après séchage, avec possibilité de formation de liaison alcool sur certain site du polymère suite à l'hydrolyse engendré par le lavage avec la soude ( $\text{NaOH}$ ). D'autres bandes sont aussi décelées sur ce dernier spectre, sur lesquelles nous ne pouvons pas trop insister car elles peuvent être associées au colorant incorporé au PEHD (le matériau est de couleur rouge).

En conclusion, nous pouvons dire qu'en dépit des modifications enregistrées, le PEHD recyclé semble avoir gardé sa structure de base intacte.

- **Nylon (PA 6)** : Les spectres obtenus par analyse IR du Nylon recyclé et du Nylon avant utilisation, sont représentés sur les figures III.42 et III.43.

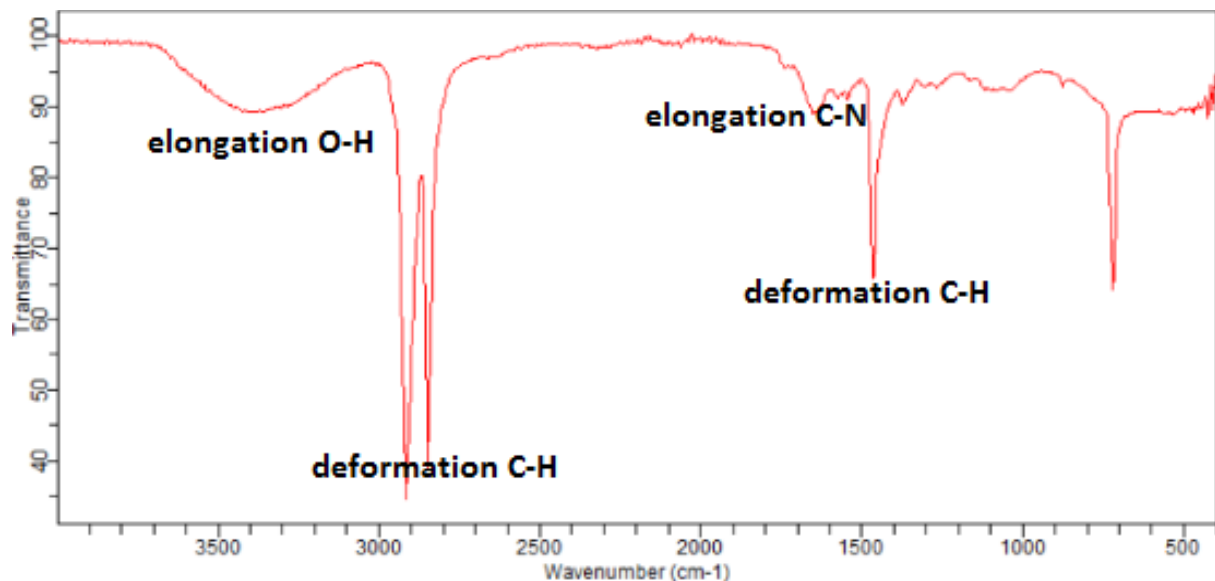


Figure III.42 : Spectre infrarouge de nylon PA6 recyclé.

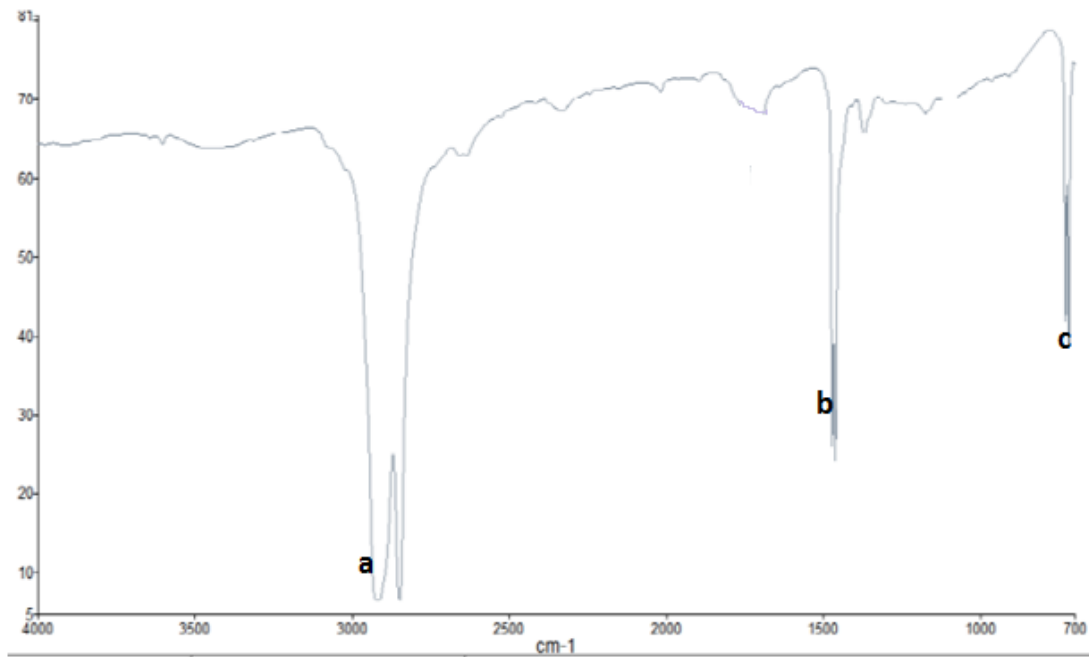


Figure III.43 : Spectre infrarouge du nylon 6 vierge [67].

Pour le nylon recyclé (Figure III.43), qui est de famille polyamide 6 il révèle quatre bandes :

- **La bande (a)** : Vers  $3400\text{ cm}^{-1}$  est attribuée à la vibration d'élongation de la liaison O-H qui révèle présence de traces d'eau dans le polymère.
- **La bande (b)** : Située entre  $2900\text{-}2970\text{ cm}^{-1}$  est attribuée à la vibration d'élongation de C-H des groupements  $\text{CH}_2$  et  $\text{CH}_3$ .
- **La bande (c)** : Située entre  $1550\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ : vibration d'élongation de liaison de C-N d'un amide.
- **La bande (d)** : Située vers  $1450\text{-}1480\text{ cm}^{-1}$  représente la vibration de déformation de la liaison C-H de  $\text{CH}_2/\text{CH}_3$ .

En résumé, mis à part la bande OH relevée sur le spectre du nylon recyclé, les autres bandes semblent identiques sur les deux spectres. Cela nous mène à conclure que le nylon recyclé garde la grande partie de ces caractéristiques structurales.



### Conclusion Générale

En conclusion, la matière plastique aujourd'hui présente dans divers domaines et sous toutes les formes imaginables, pose de vrais problèmes environnementaux ou encore de santé dans le monde entier.

Ainsi pour essayer de remédier à ces problèmes que son utilisation massive engendre, il a été mis en place un système de valorisation et de recyclage, ce dernier présente de grands avantages écologiques, économiques, or que le recyclage reste toujours minimal par rapport aux quantités traitées par incinération.

L'étude par spectroscopie IRTF du PEHD et nylon 6, recyclé : Une comparaison des spectres FT-IR des échantillons entre la matière vierge et la matière recyclé indique clairement qu'une légère différence a été observée dans les matériaux après 1 cycle de recyclage due aux conditions de lavage et séchage et aussi à la présence des additifs colorants.

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- [1] **BRUNO, D., (1997)** : Système d'aide à la décision pour le traitement des déchets industriels spéciaux, thèse de doctorat sciences de l'environnement de INSA de Lyon, France, p.22.
- [2] **BENETTE, O., (2010)** : Continent of rubich : section science and environnement.
- [3] **JORADP, (2001)** : Loi N° 01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion au contrôle et à l'élimination des déchets
- [4] **AUGRIS, M., (2002)** : Gestion des déchets : « guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche », centre national de la recherche scientifique d'INRA et INSERM, France, p.8-9, URL ([www.sdfp.Lnet.f](http://www.sdfp.Lnet.f))
- [5] **Site web** : [www.capnordmartinique.fr](http://www.capnordmartinique.fr) (Consulté le : 01/04/2019)
- [6] **Aloueimine, S., (2006)** : Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision, thèse de doctorat Université de Limoges, p.195.
- [7] **Tini, A., (2003)** : La gestion des déchets solides ménagers au Niger : Essai pour une stratégie de gestion durable, Thèse de doctorat Institut National de Lyon, p. 301.
- [8] **Buenrostro, O., Bocco, G., (2003)**: Solid waste management in municipalities in Mexico: Goal and perspectives, Resources, Conservation and Recycling, vol. 39, p.251-263
- [9] **AUGRIS, M., (2002)** : Gestion des déchets : « guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche », centre national de la recherche scientifique d'INRA et INSERM, France, p.6-54.
- [10] **Site.web** :<http://www.planetoscope.com/dechets/363-production-de-dechets-dans-le-monde.html> .
- [11] **Deluzarche, C., (2018)** : FUTURA PLANETE : 10 chiffres qui montrent que le monde va crouler sous les déchets, URL ([www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com))
- [12] **DJEMACI, B., (2012)** : La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité, thèse de doctorat en Sciences de l'environnement de l'université de Rouen, France, p.37-42-49-58.

## Références bibliographiques

---

- [13] **CHAOUI, S., (2017)** : La gestion des résidus solides urbains en Algérie : Quelles méthodes de traitement, Cas de la ville d'Annaba, nature et technology journal, vol. A: Fundamental and engineering sciences, 18(2018), p.48, URL (<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>)
- [14] **SWEEPNET. (2014)** : Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie, ANGED (agence nationale de gestion des déchets) states [en ligne] mis en ligne avril 2014, consulté avril 2014, Allemagne, p.16, URL ([www.sweep-net.org](http://www.sweep-net.org))
- [15] **HANNEQUART, J-P., (2004)** : Guide de bonnes pratiques pour le recyclage des déchets plastiques, « conçu par et destiné aux autorités locales et régionales », European plastics converters EUPC, Belgique, ACRR, p.10-21-26
- [16] **Site web:** [www.siedmto.fr/duree-de-vie-des-dechets](http://www.siedmto.fr/duree-de-vie-des-dechets) (Consulté le : 10/04/2019)
- [17] **AUSRA.S., JUAN. G, (2012)** : « Impact de la production des déchets sur environnement », URL (<http://owl-ge.ch/travaux-d-eleves>)
- [18] **RAMADE.F., (1992)** : Précis et d'éco-toxicologie, Ed Masson.
- [19] **Site web:** <https://lareleveetlapest.fr/micro-plastique> (Consulté le : 11/04/2019)
- [20] **DOLK .H., (1998)**: Lanfill sites and congenital abnormalities, Author's reply, Edition: lancet, p.352
- [21] **ANONYME. (2006)** : Les décharges d'île de France, impact sanitaires et environnemental
- [22] **D.E.W.Bejaia (2017)**
- [23] **Site web:** [www.curieuxdesavoir.com/112-les-plastiques-histoire-et-s.html](http://www.curieuxdesavoir.com/112-les-plastiques-histoire-et-s.html) (Consulté le : 20/04/2019)
- [24] **Site web:** [www.lizinne.e-monsite.com/pages/presentation-de-la-matiere-plastique.html](http://www.lizinne.e-monsite.com/pages/presentation-de-la-matiere-plastique.html) (Consulté le : 20/04/2019)
- [25] **BASSEZ-MUGUET, M.P., (2008)** : « Projet tutoré sur le recyclage DUT 1ère année en France», p26, URL (<https://chemphs.u-strasbg.fr>)
- [26] **ENSIL** : La plasturgie, mécatronique, université de limoges, France, p.11, URL (<https://www.unilim.fr>)

## Références bibliographiques

---

- [27] Site web: <http://mobiscience.briand.free.fr> (Consulté le : 22/04/2019)
- [28] BARNE, D.K.A., GALGANI.F, THOMPSON.R.C, ET BALZAS.M, (2009): Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, Philosophical Transactions of the Royal Society (B: Biological Sciences, 364, 1985-1998).
- [29] Site.web:<https://www.plasticseurope.org/fr/newsroom/press-releases/archive-cp-2018/lindustrie-des-matieres-plastiques-une-industrie-performante-et-contestee> (Consulté le : 28/04/2019)
- [30] THIBERGE.C., (2017): « Depuis 1950, l'homme a fabriqué 8,3 milliards de tonnes de plastiques », strates [en ligne], mis en ligne le 19 juillet 2017, consulté le 20 juillet 2017.URL ([https://www.lemonde.fr/pollution/article/2017/07/19/depuis-1950-l-homme-a-fabrique-8-3-milliards-de-tonnes-de-plastiques\\_5162660\\_1652666.html](https://www.lemonde.fr/pollution/article/2017/07/19/depuis-1950-l-homme-a-fabrique-8-3-milliards-de-tonnes-de-plastiques_5162660_1652666.html))
- [31] Plastics Europe market research group, 2016
- [32] PLASTICS : Plastiques 2012, Faits et chiffres Analyse de la production et de la demande en plastiques et de la gestion des déchets en Europe en 2011, Bruxelles-Belgique, p10, URL (<https://www.plasticseurope.org> )
- [33] Plastics Europe Market Research Group (PEMRG)
- [34] Site web: <https://www.futur-sciences.com/planete/dossiers/pollution-dechets-plastique/> (Consulté le : 28/04/2019)
- [35] CHENITI.H., (2014) : Management de l'Environnement et Contrôle des Terrains, thèses de doctorat de l'Université Badji Mokhtar-Annaba, p.27-45.
- [36] RECORD (2013) : Rapport final sur hiérarchie des modes de gestion des déchets dans la réglementation, analyse critique et possibilités de dérogation, URL (<https://www.record-net.org/>).
- [37] UNEP, (2013) : Hiérarchie du mode de gestion des déchets : Guidelines for National Waste Management Stratégies, URL ([www.copidec.be](http://www.copidec.be) )
- [38] BERTOLINI.G., (2005) : « Economie des déchets », Technip, paris, 2005, p.41.

## Références bibliographiques

---

- [39] **VERONIQUE.M, WITTMANN.H, (1996)** : « Le recyclage des déchets : approche économique d'une activité nouvelle », Revue française d'économie, 1996, Vol.11, N° 3, p.167.
- [40] **ALAIN. H., et AL, (2009)** : Dossier : Comment traiter les déchets en limitant la pollution, UPMC (science et politiques publiques), strates [en ligne] mis en ligne janvier 2003, consulté juin 2009, paris, p.22, URL ([www.fp.upmc.fr](http://www.fp.upmc.fr))
- [41] **Site web:** [www.ec.europa.eu/eurostat](http://www.ec.europa.eu/eurostat) (Consulté le : 30/04/2019)
- [42] **BRAHIM. A., (2008)** : Pollution et nuisances environnementales et urbanisme, thèse de doctorat de l'université de Constantine.
- [43] **NGO. C., REGENT. A, (2004)** : Déchets et pollution impacts sur l'environnement et la santé Dunod, Paris.
- [44] **DESACHY. C., (2001)** : Les déchets sensibilisation à une gestion écologique, 2 éditions, TEC et DOC.
- [45] **BALET, J. M., (2008)** : Gestion des déchets, « aide mémoire », 2eme édition DUNOD, paris, p 31.
- [46] **BEN AMMAR.S., FOULLY.B, (2008)** : Situation des déchets dans les payes en développement et enjeux de leur caractérisation. , TSM (technique sciences et méthodes) étude, N°4, URL (<http://tsm.astee.org>)
- [47] **ANONYME (2001)** : « Gestion, au contrôle et l'élimination des déchets » Journal officiel de la république algérienne N° 77 du 15 décembre 2001.
- [48] **BIO SERVICE. (2013)** : Rapport final Etude sur le renforcement de l'objectif de recyclage mécanique des plastiques, Paris, p18-23, URL (<https://www.biois.com/en>)
- [49] **DJEMACI. B., (2011)** : Recyclage des déchets à travers un système de consigne : Cas des bouteilles en plastique en Algérie, Centre d'analyse et de recherche en économie (CARE) de l'université de rouan France1.
- [50] **Site web:** [www.natura-science.com/santéplastiques-toxicite-sante787.htm](http://www.natura-science.com/santéplastiques-toxicite-sante787.htm) (Consulté le : 05/05/2019)
- [51] **Site web:** [www.echalier.com/centre-de-tri](http://www.echalier.com/centre-de-tri) (Consulté le : 05/05/2019)

## Références bibliographiques

---

[52] **KERBOUA.N., (2010)** : Etude de recyclage de déchets de polyéthylène téréphtalate (PET) utilisé pour la fabrication de bouteilles (eaux minérales), thèse doctorat en Génie des Procédés de l'Université A-Mira Bejaia, Algérie.

[53] **Site web:** <https://www.futura-science.com> (Consulté le : 10/05/2019)

[54] **Site web:** <https://www.google.com/amp/s/ramenetssciences> (Consulté le : 11/05/2019)

[55] **Site web:** <https://www.enviscope.com/les-plastique-pet-un-marche-mondiale-de-21-millions-de-tonnes/> (Consulté le : 11/05/2019)

[56] **Trupin. S., (2007)** : Faisabilité d'un capteur spectroscopique proche infrarouge pour la détermination chimométrique de caractéristiques physico-chimiques de matériaux plats en cours de fabrication, thèses de doctorat Autre, Université des Sciences et Technologie Lille I, France .

[57] **Briston, H.J., Miles, D.C., (1968):** Technologie des polymers, Dunod, Paris

[58] **ELF ATCHEM, (1995)** : Connaissance de polyéthylène, documentation technique de la société.

[59] **Site.web:**<https://ramenetssciences.wordpress.com/2017/05/02/le-polyethylene-haute-densite-pehd/> (Consulté le 15/05/2019)

[60] **CHAFFRAIX.V., (2002)** : Etude de l'extrusion du polyéthylène téréphtalate et de ses mélanges non-comptabilisés avec le polyéthylène haute densité (Application au recyclage), thèse doctorat en Sciences et Génie des Matériaux de Ecole des Mines de Paris.

[61] **Site web:** [www.pluspropremaville.fr/](http://www.pluspropremaville.fr/) (Consulté le : 15/05/2019)

[62] **BOCKHORN.H., Hentschel. J, Hornung,A, and Hornung,U, 1999:** Environmental engineering: stepwise pyrolysis of plastic waste, Chemical Engineering science, Germany, vol.12, N°.76128, P3045.

[63] **RECORD, (2015)** : Rapport final : recyclage chimique des déchets plastique « situation et perspectives », état de l'art et avis d'experts, France N°13-0242p 46-50/1A, URL ([www.record-net.org](http://www.record-net.org))

## Références bibliographiques

---

**[64] NAIT ALI.L., (2008) :** Le PET recyclé en emballages alimentaires : approche expérimentale et modélisation des Matériaux, thèse de doctorat sciences et techniques de l'Université Montpellier.

**[65]** Bilan de la valorisation des matières plastiques en Europe de 1995 à 2014, URL ([www.plasticseurop](http://www.plasticseurop))

**[66] Pham, T.L., (2013) :** Plastification en injection des polymères fonctionnels et chargés. Matériaux. INSA de Lyon, Français.

**[67] Peltzer. M.A., and Simoneau, C., (2013):** “OLC002 2013 – Identification of Polymeric Materials”, European Commission Joint Research Center, Institute for Health and Consumer Protection, (ISBN 978-92-79-35267-6), Publication Office of the European Union.

## **Résumé**

Le travail a porté sur l'étude de valorisation des déchets plastiques en particulier le recyclage, au sein de l'entreprise REVAPLAST.

L'analyse IRTF du PEHD et nylon 6 recyclé avec le spectre IR du PEHD et nylon 6 vierge montre qu'après un cycle de recyclage il n'est pas de grands changements au niveau de la structure moléculaire de ces polymères et que les groupements fonctionnels qui apparaissent sur les spectres après recyclage sont dues à la présence des additifs colorants et aux traces de l'eau et de la soude utilisée lors du lavage.

### **Mots Clés**

Recyclage, collecte, tri, broyage, polymères, valorisation, polyéthylène téréphtalate, infrarouge, groupement fonctionnels, vierge, spectre,

## **Abstract**

The work focused on the study of treatment waste plastic in particular the recycling, within the REVAPLAST.

Analysis IRTF of PEHD and nylon 6 recycled with spectrum IR of PEHD and nylon 6 virgin show that after cycle of recycling there is no big changes in the molecular structure of these polymers and the functional groups that appear on the spectrum after recycling are due to the presence of coloring additives and traces of water and (NaOH) used during washing.

### **Key words**

Recycling, collection, sorting, grinding, polymers, value, polyethylene tetraphthalate, infrared, functional groups, virgin, spectrum.