

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR
KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES & DE LA
TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL



جامعة عباس لغرور خنشلة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم: الهندسة الصناعية

No. Réf. :

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (LMD)

OPTION : Génie des Procédés et Environnement

Thème

*Recyclage de déchets ménagers plastiques
«Bouteilles en PET et PEHD»*

Réalisé par:

RIM Romaiassa

KHLALFA Ahlam

Directeur de Mémoire: Dr. KIHAL Rafiaa

Devant le jury:

Président:	Dr. NEDJAR Zohir	Université Abbes Laghrour khenchela
Rapporteur:	Dr. KIHAL Rafiaa	Université Abbes Laghrour khenchela
Examineur:	Dr. TOUATI Amina	Université Abbes Laghrour khenchela

Présenté le : 29/06/2019

Année universitaire: 2018 –2019

Remerciements

Avant tout nous tenons à remercier Allah le tout puissant de nous avoir donné la force et la puissance pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier Mademoiselle Dr. R. Kihal, pour son encadrement, pour son aide et ses conseils qui nous ont été bien bénéfiques, sans oublier le Président des jurys Dr. Z. Nedjar

Et l'examinatrice Dr. A. Touati de ce travail.

Nous tenons à remercier nos parents qui ont tout sacrifiés pour en arriver à ce moment là où ils se lèvent la tête en disant ma fille a eu son diplôme, merci pour votre amour, votre tendresse votre soutiens pendant tout ces années. Nos frères Achraf Aymen et Mouhamed, et bien sûr ma soeur mon âme ma confidente qui m'a beaucoup soutenue dans les moments difficiles, merci à Madjid mon mari mon ami et mon amour qui a cru en moi et aujourd'hui je deviens la femme dont il a cru en elle. Sans oublier toute la promotion de master Latifa, Hind, Hadjer Farah avec qui nous avons passé des moments agréables.

Merci à tous

Table des matières

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Remerciements	<i>i</i>
Introduction Générale	<i>1</i>
Chapitre I: Généralités sur les déchets	
I.1.Introduction	<i>4</i>
I.2. Définition d'un déchet	<i>4</i>
I.3. Classification des déchets	<i>4</i>
I.3.1. Selon leur origine	<i>4</i>
I.3.2. Selon leur nature	<i>7</i>
I.3.3. Selon le mode de traitement et l'élimination	<i>8</i>
I.3.4. Selon le comportement et les effets sur l'environnement	<i>9</i>
I.4. Caractéristiques des déchets	<i>11</i>
I.5. Impact des déchets sur la santé et l'environnement	<i>12</i>
I.6.Durée de vie des déchets dans la nature	<i>13</i>
I.7.Gestion des déchets	<i>13</i>
I.8. Modes de traitement des déchets	<i>15</i>
I.8.1. Enfouissement	<i>16</i>
I.8.2. Traitement thermique	<i>16</i>
I.8.3. Traitements biologiques	<i>19</i>
I.8.4. Recyclage	<i>20</i>
I.8.5.Stockage	<i>22</i>
I.9.Conclusion	<i>23</i>
I.10.Références bibliographiques	<i>24</i>

Chapitre II: Déchets ménagers	
II.1.Introduction	26
II.2. Définition d'un déchet ménager	26
II.3.Composition d'un déchet ménager	27
II.4.Différents types de déchets ménagers	27
II.5. Influence des déchets ménagers de nos modes de vie	32
II.6.Quels déchets ménagers peut-on recycler ?	32
II.7.Différents types des matières plastiques	33
II.8. Bouteilles en PET	35
II.9.Bouteilles en PEHD	35
II.10.Conclusion	37
II.11.Références bibliographiques	38
Chapitre III: Recyclage des bouteilles en PET et PEHD	
III.1. Introduction	40
III.2. Pourquoi recycler ?	40
III.3. Processus de recyclage	41
III.4. Recyclage des bouteilles en PET et PEHD	43
III.5. Enjeux du recyclage des déchets plastiques	50
III.6. Applications de PET et PEHD recyclé	
III.7. Perspectives	51
III.8. Conclusion	56
III.9.Références bibliographiques	57
Conclusion générale	59
Résumé	

Liste des tableaux

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Tableau I.1: Quelques exemples de densités de déchets ménagers.	11
Tableau I.2 : Durée de décomposition de quelques déchets ménagers	13
Tableau II.1 : Propriétés et domaines d'application des principaux thermoplastiques	34

Listes des figures

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Figure I.1: Résidu des déchets	4
Figure I.2: Déchets urbains	4
Figure I.3 : Déchets ménagers et assimilés	5
Figure I.4 : Déchets encombrants	6
Figure I.5: Déchets hospitaliers	6
Figure I.6 : Déchets industriels	7
Figure I.7 : Déchets industriels banals	8
Figure I.8 : Déchets spéciaux	8
Figure I.9: Déchets dangereux	9
Figure I.10: Déchets inertes	9
Figure I.11: Déchets fermentescibles	10
Figure I.12. Destruction de déchets toxiques.	10
Figure I.13 : Origine des déchets et leur interférence avec l'environnement	12
Figure I.14 : Nouveaux camions-bennes multi-compartiments	14
Figure I.15: Collecte sélective	15
Figure I.16: Modes de traitement des déchets	15
Figure I.17 : Incinération des déchets	16
Figure I.18 : Principe de thermolyse	17
Figure I.19: Procédé de gazéification.	18
Figure I.20 : Schéma de principe de torche à plasma	19
Figure I.21: Compostage des déchets	19
Figure I.22: Méthanisation des déchets organiques	20
Figure I.23 : Recyclage de déchets	21
Figure I.24: Traitement et stockage des déchets	22
Figure II.1: Déchets ménagères	26
Figure II.2: Composition moyenne d'une poubelle.	27
Figure II.3 : Déchets non recyclables	28
Figure II.4: Boites de yaourt	28
Figure II.5: Sacs en plastique	29

Figure II.6: Emballages en carton	29
Figure II.7: Photos de polystyrène	30
Figure II.8: Déchets recyclables	30
Figure II.9: Emballages en plastique	31
Figure II.10: Bouteilles en verre	31
Figure II.11: Papiers-cartons	31
Figure II.12: Emballage métallique	32
Figure II.13: Logos de PET et PEHD	34
Figure II.14: Bouteille d'eau minérale	35
Figure II.15: Bouteilles en PHED	36
Figure III.1: Logo universel des matériaux recyclables	40
Figure III.2: Recyclage mécanique	41
Figure III.3: Recyclage et valorisation énergétique	43
Figure III.4: Bouteilles en plastiques PET et PEHD	44
Figure III.5: Réception des bouteilles	44
Figure III.6: Séparation des couleurs des bouteilles	45
Figure III.7: Machine de lavage	45
Figure III.8: Sécheur centrifuge	46
Figure III.9: Machines d'extrusion	46
Figure III.10: Extrusion - Granulation	47
Figure III.11: Analyse et contrôle dans laboratoire	48
Figure III.12: Conditionnement des granulés	48
Figure III.13: Stockage du produit fini	49
Figure III.14 : Equivalence entre bouteilles PET et PEHD recyclé	50
Figure III.15 : Nouvelles fibres	50
Figure III.16 : Ouate	51
Figure III.17 : Mousse isolante	52
Figure III.18 : Procédé de transformation de plastique en pétrole	52
Figure III.19 : Des nouveaux objets en-plastiques	53
Figure III.20 : Processus de recyclage des bouteilles	54

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'accroissement de la population, l'activité humaine et la civilisation moderne sont les trois principaux facteurs responsables de la pollution qui menace notre existence, à cause des masses colossales de déchets ménagers comme le carton, le verre et les matières plastiques en particulier qui sont utilisées comme matériaux de conditionnement des produits agroalimentaires et remplacent de plus en plus le verre. Depuis ces dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie parce que ce sont des déchets voyants et mettent la nature en dégradation des siècles et des siècles. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social.

La technique de recyclage présente des vrais avantages pour la préservation de l'environnement, la préservation de la santé, le bien-être des hommes et l'économie des matières premières. Le recyclage permet surtout d'adopter une démarche citoyenne très écologique et avantageuse pour tous. Le recyclage des bouteilles plastiques s'avère donc la solution la plus écologique et la plus encouragée dans la société actuelle. Dans ce contexte, le PET et PEHD sont actuellement le plastique le plus recyclable. En effet, pour confectionner un pull de taille moyenne, il faut environ 27 bouteilles de 1,5 L. Le recyclage de 67 bouteilles d'eau permet de fabriquer une couette pour 2 personnes. En 2000, le recyclage de 2,5 milliards de bouteilles a permis d'économiser 56 000 t de pétrole. Le recyclage du PET et PEHD usagé représente une économie d'énergie de 60%. Recycler donc permet de vivre dans un environnement sain et agréable.

Aujourd'hui, l'effort de recherche se poursuit sur le PET et PEHD, afin de mieux exploiter toutes les potentialités de ces polymères parfaitement neutres et 100 % recyclables. Dans ce contexte, le recyclage des bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET) et en polyéthylène haute densité (PEHD) étant l'objet qui nous nous intéresse plus particulièrement au cours de ce travail.

Ce manuscrit se compose de trois chapitres dans lesquels sont présentés successivement:

Le premier chapitre est constitué d'une étude bibliographique donnant brièvement une présentation générale sur les déchets.

Le deuxième chapitre décrit la composition et les différents types de déchets ménagers non recyclables et recyclables. Un aperçu sur les bouteilles plastiques en PET et PEHD, ses propriétés et ses impacts sur l'environnement seront données.

Le troisième chapitre est consacré aux processus de recyclage des bouteilles plastiques de PET et PEHD.

Ces chapitres sont à la fin clôturés par une conclusion générale.

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS
SUR LES DÉCHETS

I.1.Introduction

L'accroissement de populations et l'activité humaine sont des génératrices de déchets. Dans ce cas, les déchets sont devenus une menace pour l'humain et l'environnement. Aujourd'hui, la nécessité de réduire la pollution, d'économie d'énergie et de gestion des ressources naturelles, est une donnée incontournable pour la survie de notre planète.

Dans ce chapitre, nous avons mentionnée des généralités sur les déchets, et leurs caractéristiques. Ensuite, nous avons décrit les impacts de ces déchets sur la santé et l'environnement, suivi par la durée de vie des déchets dans la nature. Enfin, la gestion de déchets est également décrite.

I.2. Définition d'un déchet

Un déchet est défini comme: «Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou de consommation, toute substance, matériaux, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon» Loi n°75-633 du 15 juillet 1975, modifié par la loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 et Loi n° 01 - 19 du 12 décembre 2001 [1].



Figure I.1: Résidu des déchets

I.3. Classification des déchets

Plusieurs classifications ont été proposées pour identifier la nature, la source et le mode de traitement de chaque déchet

I.3.1. Selon leur origine

Les déchets peuvent être classés selon leur origine comme suit:

I.3.1.1. Déchets urbaines

Tout résidu résultant de déchets traités ou ceux qui ne sont pas traités selon les conditions techniques et économiques actuelles. Ce sont tout déchet (**Figure I.2**) issu des ménages, déchet de commerce et de l'industrie assimilables aux déchets ménagers, déchet encombrant, déchet vert), déchets hospitaliers [2].



Figure I.2: Déchets urbains

I.3.1.2. Déchets ménagers et assimilés

Tout déchet provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales et qui par leur nature, leur composition et leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers [2].



Figure I.3: Déchets ménagers et assimilés

I.3.1.3. Déchets encombrants

Ce sont tous déchets issus des ménages (**Figure I.4**) 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, vieux meubles [2].



Figure I.4 : Déchets encombrants

I.3.1.4. Déchets hospitaliers

Ce sont des déchets spécifiques issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire. Ces déchets (**Figure I.5**) sont classés comme des déchets dangereux, et doivent être séparés des autres déchets, ils utilisent des emballages à usage unique avant d'enlèvement. Le transport de ces déchets répond aux exigences imposées aux matières dangereuses (conditionnement, étiquetage, classement par risque biologique) [2].



Figure I.5: Déchets hospitaliers

I.3.1.5. Déchets industriels

Les déchets industriels (DI) sont des déchets (**Figure I.6**) liés à des activités industrielles lourdes et affecte négativement le bien-être. Le caractère toxique de ce déchet nécessite des filières de traitement particulières [2].



Figure I.6 : Déchets industriels

I.3.2. Selon leur nature

Le guide des techniques communales pour la gestion des déchets ménagers et assimilés du ministère d'aménagement du territoire et environnement en 2003, présente une classification des déchets selon leur nature physique en 3 catégories essentielles qui sont: Déchets solides, liquides et gazeux. Dans ce cadre, il ne sera considéré que les déchets solides et semi-solides étant donné le contexte du présent travail [3].

I.3.2.1. Déchets solides

Ces déchets est défini comme: Ordures ménagères, emballages, gravats, etc.

I.3.2.2. Déchets liquides

Ces déchets présentent: Huiles usagés, peintures, rejet de lavage, etc.

I.3.2.3. Déchets gazeux

Nous citons les Biogaz, fumées d'incinération, etc.

I.3.3. Selon le mode de traitement et l'élimination**I.3.3.1. Déchets banals (DIB)**

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastiques, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et déchets ménagers (**Figure I.7**). Ils peuvent être traités ou stockés dans les mêmes installations que les déchets ménagers. Ils contiennent les mêmes composantes mais dans des proportions différentes [3].



Figure I.7: Déchets industriels banals

I.3.3.2. Déchets spéciaux (DS)

Ce sont tous les déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toute autres activités qui en raison de leur nature 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, assimilés et les déchets inertes (**Figure I.8**). Certains déchets sont aussi dits spéciaux lorsque leur production importante sur un même site entraîne des effets préjudiciables pour le milieu naturel [2].



Figure I.8: Déchets spéciaux

I.3.3.3. Déchets dangereux

Issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour le milieu naturel (poussières d'aciéries, rejets organiques complexes, bains de traitement de surface contenant soit du chrome, cyanure ou une forte acidité, les matériaux souillés par les P.C.B, les déchets de C.F.C. et mercuriels (**Figure I.9**). Pour cette raison, ils doivent être collectés, transportés et traités de manière appropriée [4].



Figure I.9: Déchets dangereux

I.3.4. Selon le comportement et les effets sur l'environnement

On peut classer les déchets selon le comportement et les effets sur l'environnement:

I.3.4.1. Déchets inertes

Ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ce sont les gravats (**Figure I.10**) issus de travaux de démolition: briques, béton, terre, vitres... Ils ne sont pas dangereux, mais compte tenu de leurs volumes et de leurs quantités, ils sont stockés dans des centres spécialisés.



Figure I.10: Déchets inertes

I.3.4.2. Déchets fermentescibles

Ils sont constitués de matières organiques biodégradables (**Figure I.11**): tontes de gazon, épluchures de fruits et légumes, déchets de viande, de charcuterie, les papiers et cartons, le bois non traité et les textiles naturels. Les matières plastiques, bien que se décomposant à long terme, en sont exclues [6].



Figure I.11: Déchets fermentescibles

I.3.4.3. Déchets toxiques

Ce sont des déchets (**Figure I.12**) qui sont générés soit par des industries ou soit par des laboratoires qui se débarrassent avec leurs ordures certains résidus qui devraient être récupérés séparément (ex: flacons de médicaments, seringues, piles et autres gadgets électroniques.....etc). Ils peuvent s'avérer nuisible à la santé d'un être vivant, et peuvent contaminer l'eau (nappes, cours d'eau, lacs, zones humides), les sédiments, les sols ou l'atmosphère [2].



Figure I.12: Destruction de déchets toxiques.

I.4. Caractéristiques des déchets

On caractérise les déchets par quatre paramètres essentiels: la densité, le degré d'humidité, le pouvoir calorifique, le rapport des teneurs en carbone et azote (C/N) [6].

I.4.1. Densité

C'est la relation entre la masse des ordures ménagères et le volume qu'elles occupent. Sa connaissance est essentielle pour le choix des moyens de collecte de ces déchets et aussi pour leur traitement. Toutefois, comme les déchets ménagers sont essentiellement compressibles, leur densité varie au cours des différentes manipulations aux quelles elles sont soumises. Le Tableau I.1 regroupe quelques exemples de densités d'ordures ménagères [2].

Tableau I.1: Quelques exemples de densités de déchets ménagers.

Villes	Densité en Poubelle (mg/L)	Densité en benne tasseuse (mg/L)	Densité après foisonnement en fosse (mg/L)
Genève	< 0,1	/	/
Paris	0.1	/	/
Villes Algériennes	0.22–0.30	0.45 – 0.55	0.28 – 0.32

I.4.2. Degré d'humidité

Les déchets ménagers renferment une quantité suffisante d'eau, variant en fonction des saisons et du milieu environnemental. Cette humidité a une grande influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique utile des déchets [2].

I.4.3. Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en déchets brutes. Il s'exprime en Kilo Joule par Kilogramme (KJ/Kg). Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) prend en compte la chaleur de la vaporisation de l'eau contenue dans les déchets ménagers pendant la composition. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui ne tient pas compte de la chaleur de vaporisation de cette eau pendant la composition [2].

I.4.4. Rapport des teneurs en carbone et azote

Ce paramètre mesure la qualité des ordures ménagères pour leur valorisation en tant qu'amendements organiques, c'est à dire qu'il permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures ménagères au compostage que la qualité du compost obtenu. Un compost est valable à partir du rapport $C/N < 35$ au départ de la fermentation aérobie et contrôlée et en obtenant un rapport de $18 \leq C/N \leq 20$. En Algérie le C/N dépasse rarement 15 [2].

I.5. Impact de déchets sur la santé et l'environnement

De nos jours l'utilisation intensive et abusive des ressources et le rejet des déchets dans l'environnement contribuent à détériorer notre milieu. Ce changement a un impact sur la société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes et la production alimentaire,...etc [7]. C'est pourquoi nous ne pourrions pas diminuer le rejet des déchets tant que l'on n'exploitera pas les ressources d'une façon intelligente et en prévenant le gaspillage inutile. Donc, l'élimination inconsidérée des déchets a pour conséquence la contamination de l'air, de l'eau et du sol.

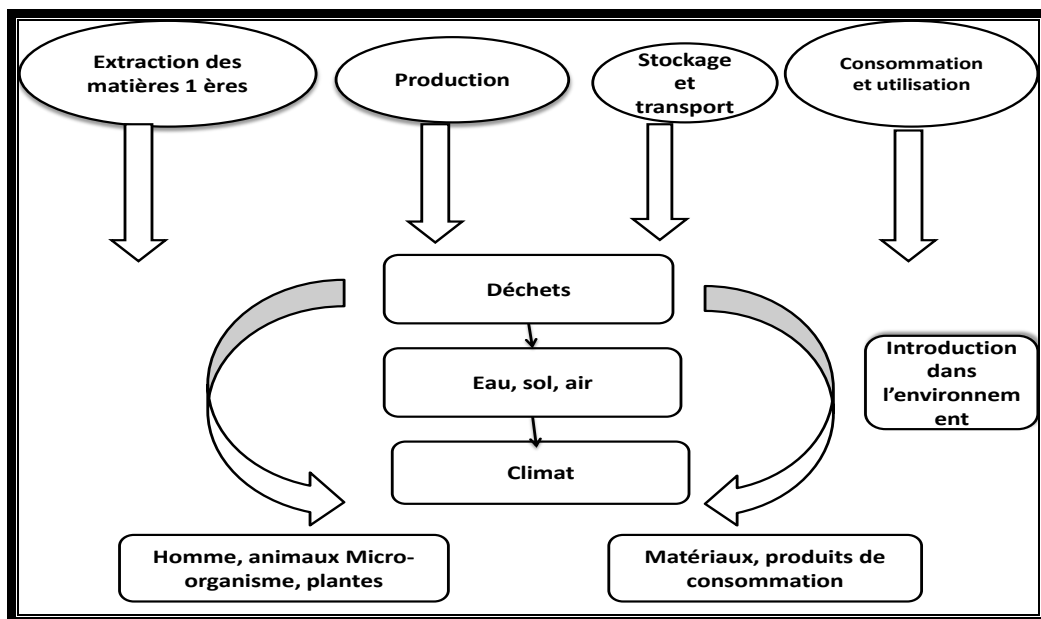


Figure I.13 : Origine des déchets et leur interférence avec l'environnement [1].

I.6. Durée de vie de déchets dans la nature

Lorsqu'on voit les chiffres qui vont suivre, on prend d'autant plus conscience de l'urgence de préserver l'environnement. La plupart des déchets, notamment plastiques, ne sont pas biodégradables et leur présence dans la nature n'est pas sans conséquences. Voici la durée approximative de décomposition des déchets dans la nature [2]:

Tableau I.2: Durée de décomposition de quelques déchets ménagers [2].

Type de déchet	Duré de vie
Mouchoir en papier	3 mois
Boite de conserve	de 10 à 100 ans
Briquet jetable	De 100 ans
Canette en aluminium	De 200 à 500 ans
Sac en plastique	450 ans
Bouteille en plastique	De 100 à 1000 ans
Verre	4 à 5000 ans

I.7. Gestion des déchets

Deux étapes sont essentielles dans le service des déchets: l'enlèvement et l'élimination. L'enlèvement des déchets comporte la pré-collecte et la collecte en lui même. L'élimination fait référence à la mise en décharge, enfouissement, compostage, et incinération[2].

I.7.1. Pré-collecte

Le concept de pré-collecte sous-entend toutes les opérations qui précèdent la collecte effective des déchets. Elle vise le recueil, le rassemblement et le stockage des déchets par les habitants des foyers, d'un immeuble, d'une cité ou par les personnels d'un organisme ou d'une entreprise, puis les déposer dans des lieux dédiés aux déchets. En Algérie, elle revêt diverses manières selon le type d'habitation et l'accessibilité des équipements [2].

I.7.2. Collecte des déchets

Elle consiste en le ramassage et le regroupement des déchets en vue de leur transporter.

✓ De porte à porte

Dans lequel le service de la collecte assure un passage régulier pour l'évacuation des déchets solides ménagers (DSM). Où apport volontaire, dans lequel le générateur assure le transfert des déchets ménagers et assimilés (DMA) vers un point de regroupement, afin qu'ils soient transportés par le service chargé de l'opération vers un lieu d'élimination ou de traitement. Ce mode d'apport est très adapté à l'opération de tri sélectif [2].



Figure I.14 : Nouveaux camions-bennes multi-compartiments

✓ **Collecte sélective**

Consiste en le ramassage séparément d'une ou de plusieurs catégories de déchets, dont le verre, les papiers et carton, la ferraille qui est déjà bien connues par le public (**Figure I.15**). La collecte séparée de «déchets vert», constituée essentiellement des déchets de cuisine ou de jardin ne contenant que des résidus organique, elle est pratiqué dans certaines régions. En Algérie, la collecte se fait encore de manière non sélective, alors que de nos jours, une gestion environnementale des déchets nécessite la mise en place d'un mode de collecte sélective. [2]

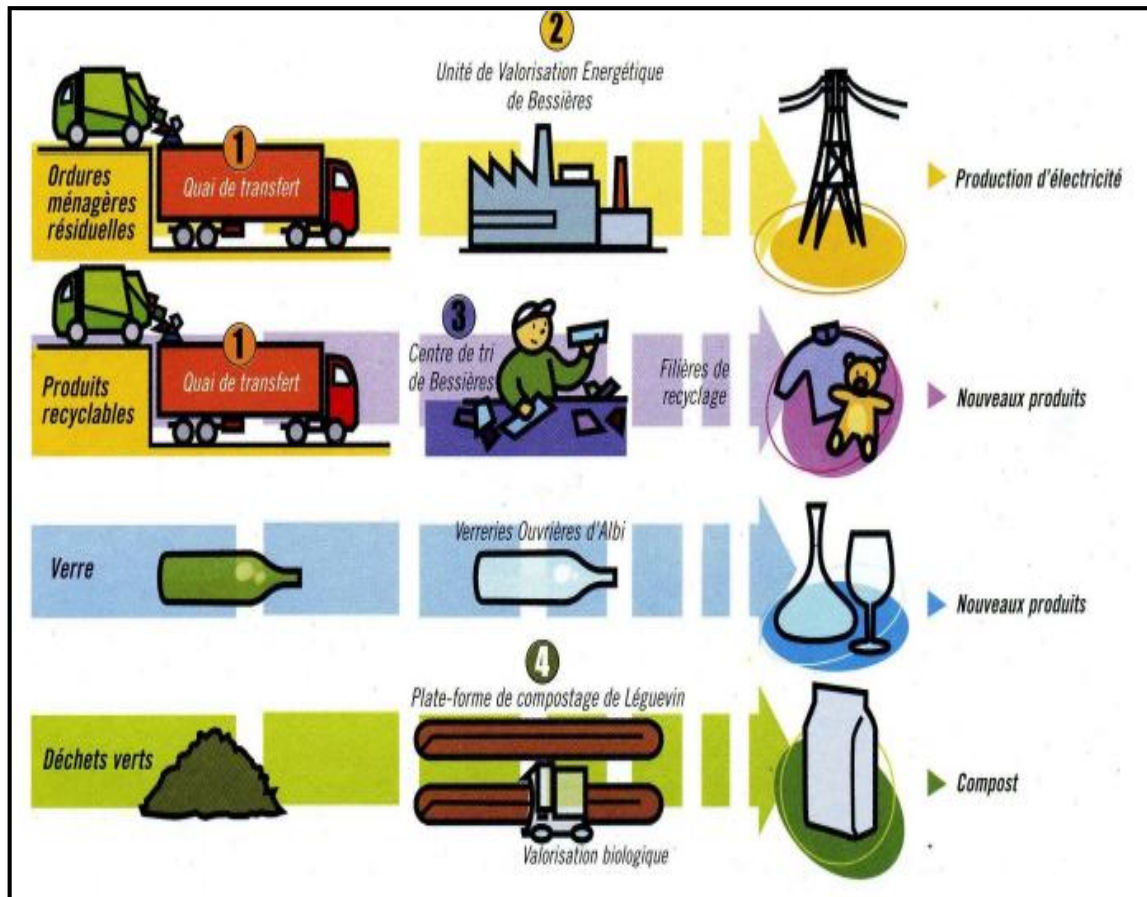


Figure I.15: Collecte sélective [2]

I.8. Modes de traitement des déchets

Les principaux modes de traitement sont illustrés dans la figure les suivantes :

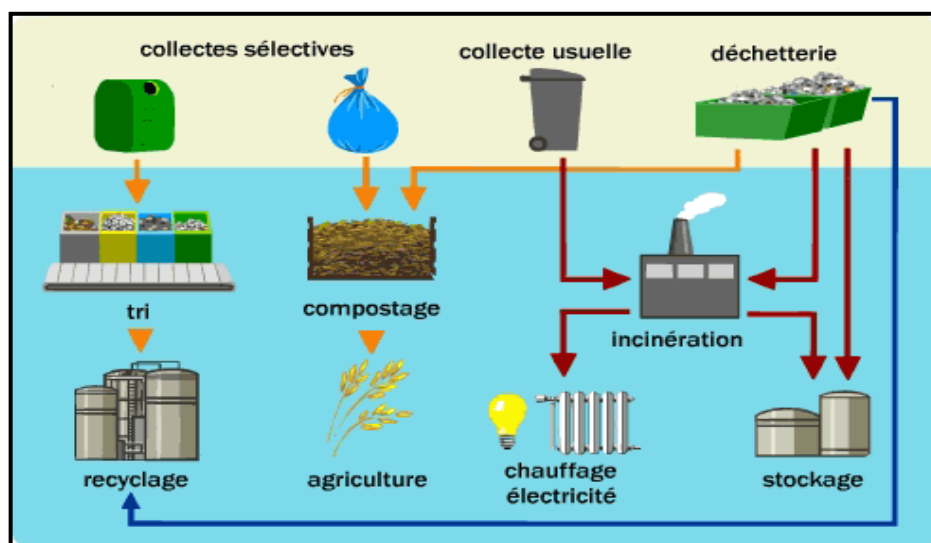


Figure I.16: Modes de traitement des déchets

I.8.1. Enfouissement

C'est une méthode la moins écologique de toute puisque le déchet n'est ni réutilisé, ni valorisé, ce mode de gestion s'applique essentiellement aux déchets ultimes dont aucune solution, à l'heure actuelle n'a été trouvée [1].

On distingue 3 types de centres d'enfouissement technique (CET) [1]:

- Les CET de classe 1 ou centres de stockage pour résidus ultimes sont capables d'accueillir les déchets les plus toxiques.
- Les CET de classe 2, un peu moins étanches que les précédents, sont habilités à recevoir les ordures ménagères et assimilés.
- Les CET de classe 3 accueillent les déchets, gravats et mâchefers non toxiques.

I.8.2. Traitement thermique**I.8.2.1. Incinération**

Les ordures ménagères collectées via les sacs réglementaires à la collecte en porte-à-porte sont valorisées par incinération. Ce procédé permet non seulement d'éliminer les déchets, mais également de produire de l'énergie et donc d'économiser, de façon significative, les combustibles fossiles (gaz, charbon, pétrole...).

L'incinération des déchets (**Figure I.17**) permet de détruire les microbes, virus et germes infectieux propagateurs d'épidémies. Enfin, il faut noter qu'environ 4/5 des résidus solides (après incinération) sont utilisés sous la forme de sous-couches routières, et l'essentiel des ferrailles et autres métaux issus de déchets est récupéré et recyclé [8].



Figure I.17: Incinération des déchets

I.8.2.2. Thermolyse

Le procédé de la thermolyse est bien connu depuis longtemps, c'est un procédé de traitement thermique des déchets en l'absence d'air (**Figure I.18**). Les déchets ne sont pas brûlés, contrairement à l'incinération, mais sont mis dans un four hermétique chauffé à moyenne température (entre 450 et 750°). La chaleur et l'absence d'air entraîne une décomposition des matières organiques en deux parties : un composant solide (25%) et un gaz chaud [9].

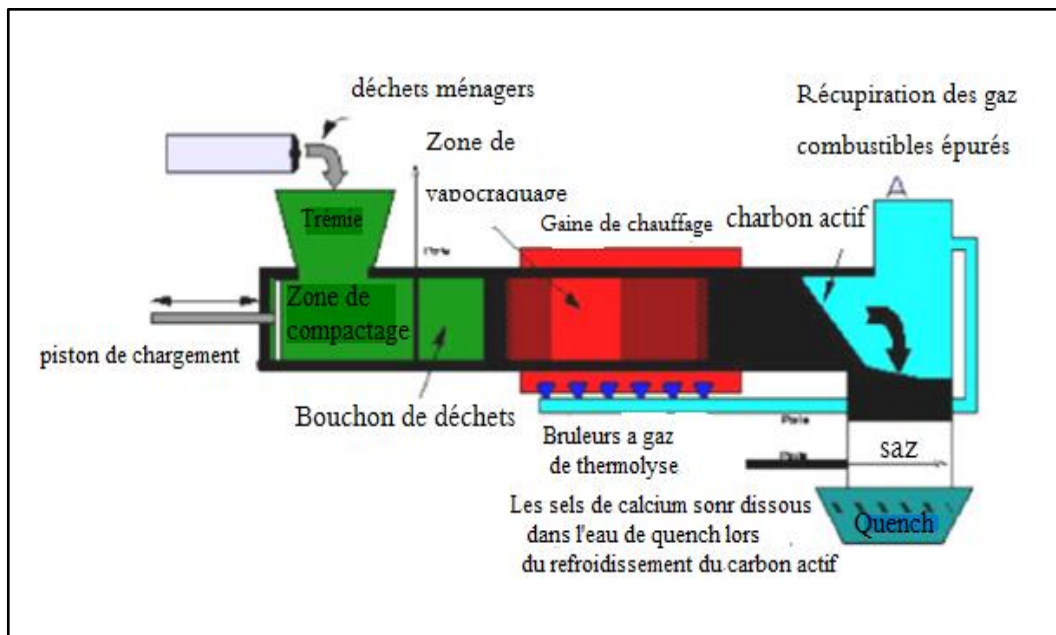


Figure I.18 : Principe de thermolyse

I.8.2.3. Gazéification

Est un processus de transformation d'un solide en gaz. Cette gazéification est utilisée pour convertir des matières carbonées en un gaz appelé « **syngaz** ».

Le processus consiste en une pyrolyse de la matière carbonée à hautes températures (400 à 1000 °C) suivie d'une oxydation partielle en présence d'air, de vapeur d'eau ou d'oxygène pur.

La gazéification (**Figure I.19**) est donc une technique de production d'énergie à partir de sources fossiles (charbon) ou renouvelables (biomasse). Elle permet ainsi de valoriser les déchets organiques et la biomasse non alimentaire (bois, pailles, etc.) sous forme de gaz ou de biocarburant (filière gaz) [10].

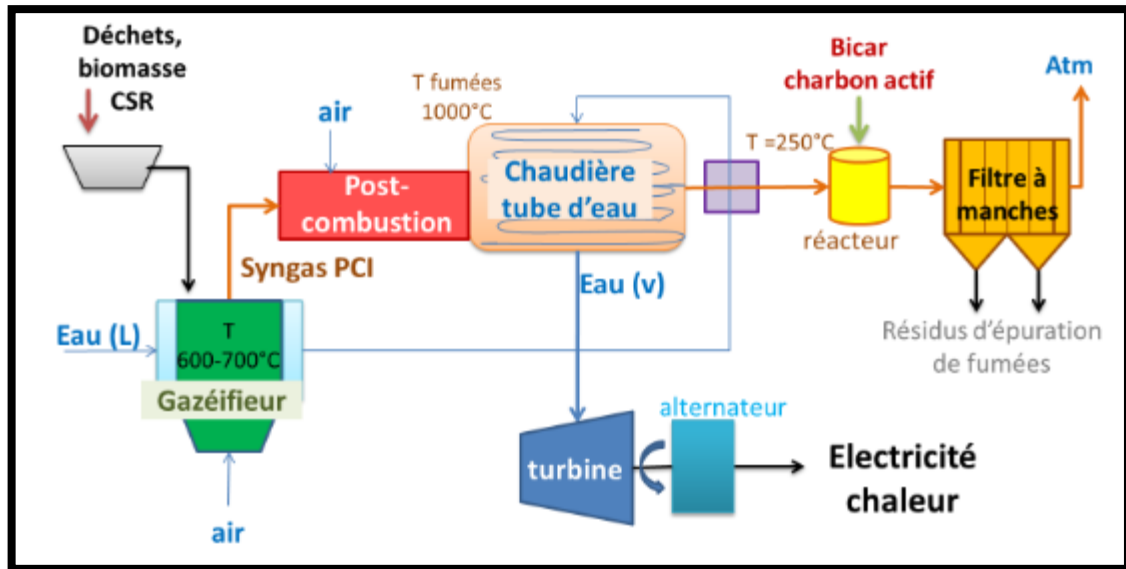


Figure I.19: Procédé de gazéification.

I.8.2.4. Torche à plasma

La torche à plasma ou procédé de vitrification peut être utilisée pour porter à haute température (de 400 °C à 2000 °C) des déchets ayant peu ou aucun pouvoir calorifique tels que les déchets dangereux d'amiante ou les Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération d'Ordures Ménagères (REFIOM). La température atteinte permet de fondre les déchets qui, après refroidissement, se présentent sous forme d'un vitrifiat (un verre en général de couleur noire). L'enjeu est d'obtenir un déchet non dangereux, soit par destruction de la dangerosité du déchet (fusion des fibres d'amiante), soit par immobilisation dans le verre de constituants dangereux tels que les métaux lourds (**Figure I.20**).

Ce procédé est présenté comme une alternative à l'incinération et au compostage, mais est utilisé, pour l'instant, comme un complément de l'incinération. Il rend inertes les cendres toxiques résultant de l'incinération [11].

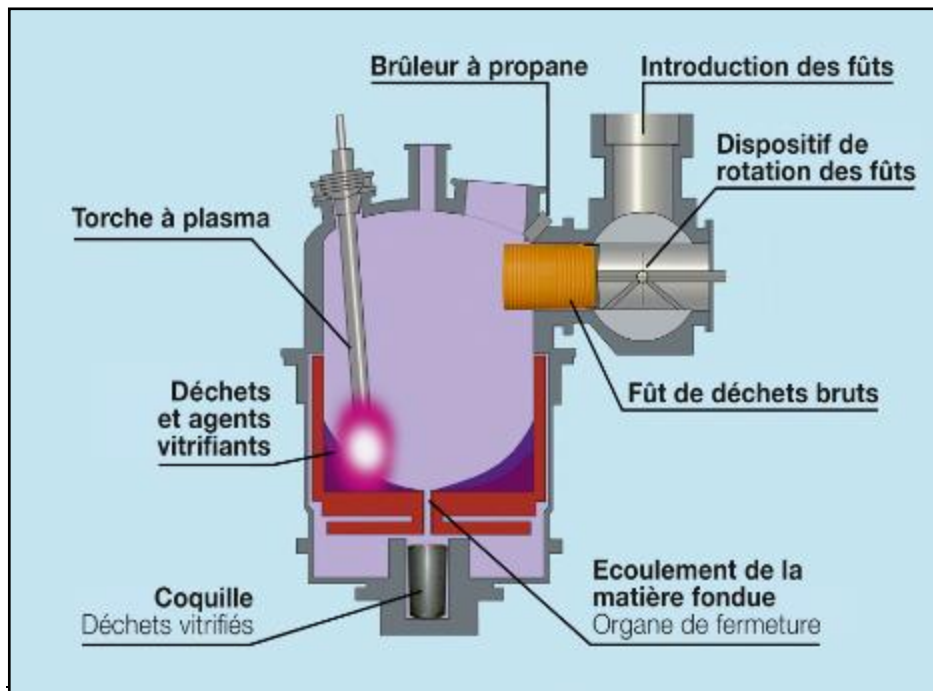


Figure I.20: Schéma de principe de torche à plasma

I.8.3. Traitements biologiques

I.8.3.1. Compostage

Le compostage est un processus de transformation des déchets organiques pour produire naturellement un fertilisant, le compost (**Figure I.21**). 30% des déchets ménagers peuvent être compostés. Le compostage est à la fois écologique économique et pratique [12].

- Ecologique : le compostage limite la quantité de déchets
- Economique : le compost est un engrais naturel et gratuit
- Pratique : il favorise et améliore la fertilité de votre jardin dans le temps [12].



Figure I.21: Compostage des déchets

I.8.3.2. Méthanisation

La méthanisation consiste en une série d'opérations de dégradations biologiques de matières organiques qui se produisent en l'absence d'oxygène (**Figure I.22**). Les produits résultants de la dégradation peuvent être classés en deux catégories, le biogaz et le digestat.

Le biogaz est un mélange de gaz (méthane et dioxyde de carbone) et de vapeur d'eau. Quant au digestat, il s'agit du résidu liquide contenant les matières organiques non dégradées [13].

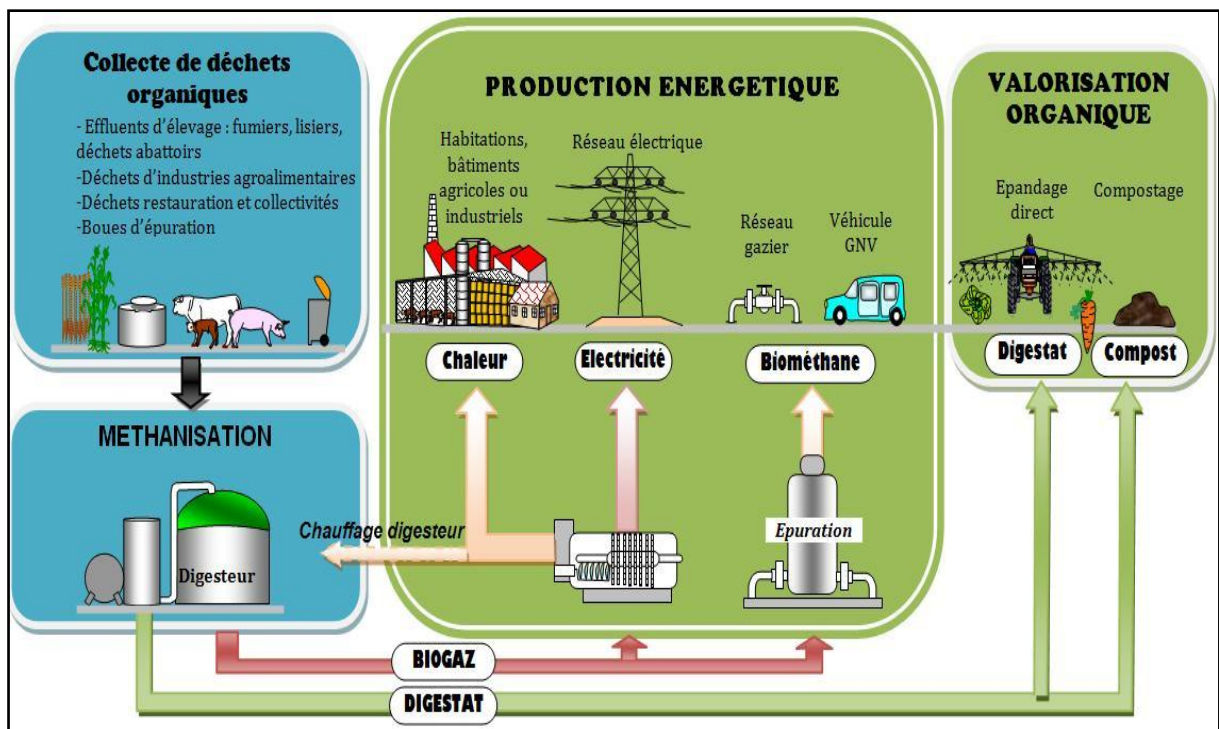


Figure I.22: Méthanisation des déchets organiques

I.8.4. Recyclage

Le recyclage est la création de nouvelles matières, ou le renouvellement des matières initiales, par le biais du traitement des déchets, cela comprend le recyclage organique mais pas le recyclage énergétique (**Figure I.23**).

Le recyclage des produits en fin de vie passe par l'organisation de filières spécialisées permettant à toutes les entreprises et/ou tous les particuliers de permettre la récupération des déchets. Ci-dessous est représenté un schéma simplifié du processus de recyclage, qui va de la collecte à la fabrication d'un nouveau produit issu des déchets [14].

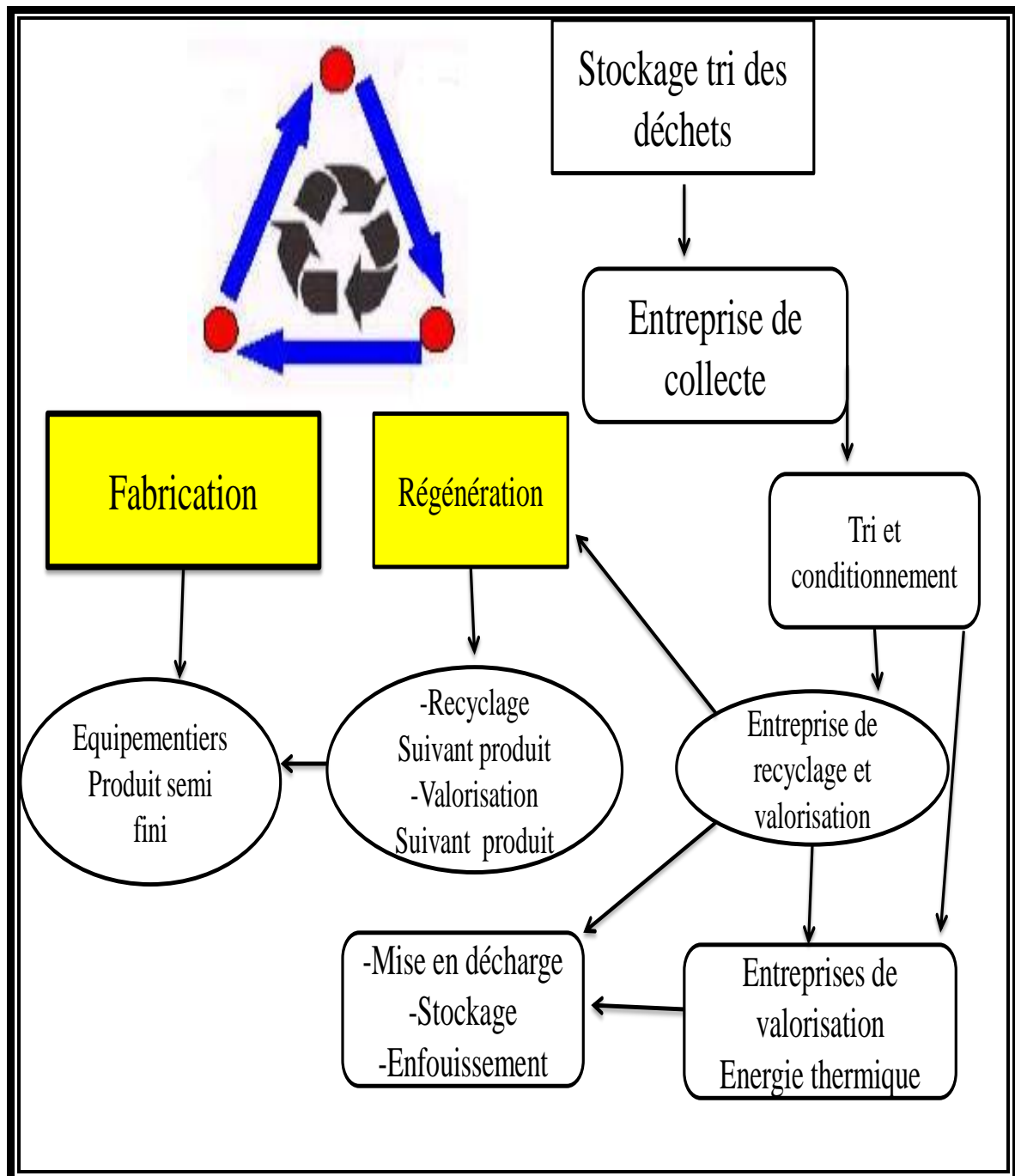


Figure I.23 : Recyclage de déchets [14].

I.8.5. Stockage

Malgré la loi de 1992 qui prévoyait de limiter d'ici 2002 le stockage des déchets aux seuls déchets ultimes, malgré le développement concomitant du recyclage, du compostage ou de la méthanisation, la mise en décharge concerne encore environ 40 % des déchets ménagers et assimilés. Ainsi rassemblés, ces déchets contiennent des liquides qui se chargent de polluants et forment du lixiviat, un « jus de déchets » qui vient stagner sur une faible hauteur (moins de 30 cm) au fond de la zone de stockage et qui pourrait pénétrer dans les sols [11].



Figure I.24: Traitement et stockage des déchets

I.9. Conclusion

L'augmentation de nos déchets et la manière de les recycler ou de les stocker est devenu un enjeu vital pour l'environnement et la qualité de vie de notre planète, si nous voulons éviter un jour que celle-ci soit totalement et irrémédiablement invivable pour l'homme. Donc, aujourd'hui nous devons urgemment commencer à prendre des mesures concertées et globales pour éviter que ce problème ne continue à se reproduire dans le futur.

I.10.Références bibliographiques

- [1] Kh. Sayeh, M Hamdi, La gestion des déchets industriels « Etude de cas flach chemical engineering industry (FCI) », Mémoire de licence, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017
- [2] A.Ben Silette, R.MAHDID, La gestion des déchets ménagers dans la ville de Bou Saada, Mémoire Master Académique, Université Mohamed Boudiaf -M'sila , 2017 .
- [3] N.Yessad, A.Ouassel, Contribution à l'étude des déchets ménagers de la ville de Béjaia par cartographie numérique, Mémoire de Master, Université Abderrahmane MIR –Bejaia, 2017
- [4] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-dechets-speciaux-7337/>
- [5] <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/types-dechets/dechets-inertes>
- [6] A. Belaib, Etude de gestion de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques gènes par le restaurant, Mémoire de Magister, Université de Mentouri Constantine, 2012.
- [7] <https://owl-ge.ch/travaux-d.../impact-de-la-production-des-dechets-sur-l-environnement>.
- [8]<https://www.hygea.be/profils/citoyen/le-devenir-des-dechets/modes-de-traitement.html>
- [9]<https://biologiedelapeau.fr/spip.php?mot194>
- [10] <https://www.connaissancesenergies.org/fiche-pedagogique/gazeification>
- [11]cniid.fr/IMG/pdf/fiche_tech_Cniid_plasma_doc.pdf
- [12]<https://compost.ooreka.fr/comprendre/compostage>
- [13][https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-laction/valorisation-organique/méthanisation](https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-laction/valorisation-organique/methanisation).
- [14] A. Mirakoff, E. Ludovic, G. Coirentin, M.Cyril, Le recyclage, Projet tutoré DUT 1ère année, 2008

CHAPITRE II

! ! DÉCHETS MÉNAGERS

II.1.Introduction

La civilisation moderne produit des masses colossales de déchets ménagers. Ces derniers composent les déchets organiques, le plastique, le verre et le carton, etc. Les matières plastiques sont utilisées comme matériaux de conditionnement des produits agroalimentaires et remplacent de plus en plus le PVC et le verre.

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les déchets ménagers et leurs compositions. Ainsi que, les bouteilles en PET et PEHD qui nous intéressent au cours de ce travail seront également décrits avec ses propriétés.

II.2. Définition d'un déchet ménager

C'est un ensemble des déchets produits par les ménages. Ce type présente principalement le reste des aliments, les épluchures, les bouteilles et flacons, aérosols, boîtes de conserve, canettes, barquettes en aluminium, emballage en carton, papier aussi le verre et les ordures ménagères non valorisables [1], présentés à la collecte en sacs de plastique ou destinés au tri (emballages ménagers en verre, plastique ou carton,...etc.) dont les communes assurent la collecte (**Figure II.1**).



Figure II.1: Déchets ménagères

II.3. Composition d'un déchet ménager

La composition d'un déchet ménager peut être le miroir de l'activité consommatrice des ménages. Les ordures ménagères sont essentiellement composées de résidus alimentaires, résidus verts, verre, bois, papiers-cartons, déchets plastiques et métaux, comme illustrés dans la Figure II.3. En effet, elle varie en fonction du niveau de vie, du mode de vie, de la région, de la saison, du déplacement des populations,...etc. [1].

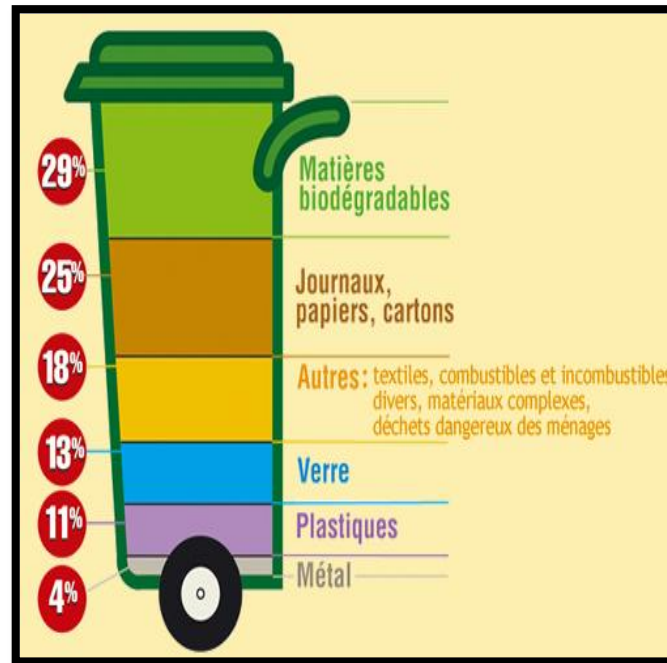


Figure II.2: Composition moyenne d'une poubelle.

II.3.1. Composition physique

La composition physique des ordures ménagères est partagée selon des catégories spécifiques comme plastiques, papiers, cartons, textiles, verres, métaux,...etc [2].

II.3.2. Composition chimique

La composition chimique, c'est-à-dire la teneur en eau et celle en matière organique déterminée respectivement par évaporation et par calcination. Ainsi les teneurs en carbone et en azote, et le rapport C/N paramètres importants pour le compostage [2].

II.4. Différents types des déchets ménagers

On distingue deux types de déchets ménagers parmi les:

II.4.1. Déchets non recyclables

Certains déchets ne sont ni biodégradables; ni recyclables: il n'existe pas de possibilités de valorisation ou de traitement de ces déchets, ils seront donc incinérés ou mis en décharge. Les déchets non recyclables de la maison sont les suivants:

- ✓ Sacs plastiques et sachets alimentaire; vaisselle; verres; miroir; lingettes; produits cosmétiques; CD; jouets barquettes en plastique; film plastique; polystyrène; pots de yaourt et couches [3].



Figure II.3 : Déchets non recyclables

II.4.1.1. Pots de laitages

Le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation du lait (**Figure II.4**) par des bactéries lactiques [4].



Figure II.4: Boîtes de yaourt

II.4.1.2. Sacs en plastique

Un sac plastique est un sac léger fabriqué en matière plastique destiné à accueillir divers types de contenu. Ils portent différents noms en fonction de l'usage auquel ils sont destinés; on distingue notamment le sac poubelle, le sac de caisse, offert, vendu ou prêté par les commerces (**Figure II.5**) pour le transport des achats, le sac sous vide,...etc [5].



Figure II.5: Sacs en plastique

II.4.1.3. Emballages sales en carton

L'emballage est l'ensemble des éléments vendus avec le produit pour en assurer sa présentation (**Figure II.6**), sa conservation ou son transport [6].



Figure II.6: Emballages en carton

II.4.1.4. Polystyrène sous toutes ses formes

Ce polymère du styrène est surtout utilisé dans les emballages de produits laitiers (yaourts, crème fraîche, desserts lactés) et les gobelets pour distributeurs automatiques. Le polystyrène expansé (PSE) (**Figure II.7**) intervient dans la fabrication des barquettes et des matériaux de calage (électro- ménager) ou la coque des téléviseurs [7].

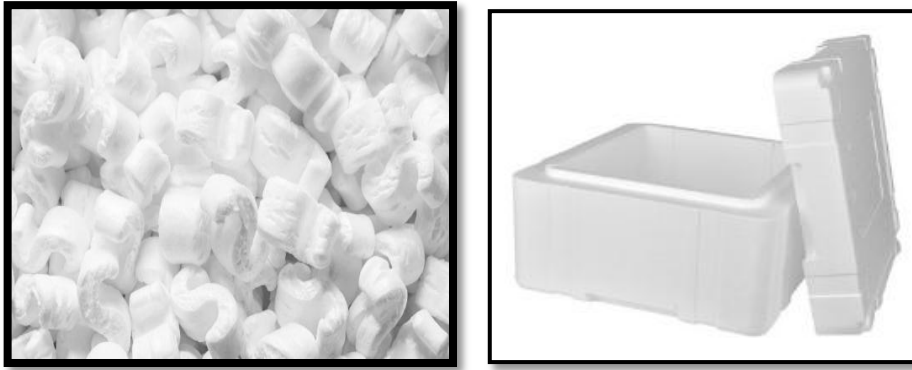


Figure II.7: Photos de polystyrène

II.4.2. Déchets recyclables

Les déchets recyclables se classent en quatre grandes catégories qui sont: le plastique, le verre, le papier et le métal comme illustré dans la Figure II.8.



Figure II.8: Déchets recyclables

II.4.2.1. Plastique

Les déchets plastiques sont composés de bouteilles, bidons et pots en plastique (Figure II.9) issus de notre consommation courante de boissons, produits alimentaires.... [8].



Figure II.9 : Bouteilles en plastique

II.4.2 .2. Verre

Les verres issus des déchets ménagers et assimilés composés de **bouteilles**, flacons, pots et bocaux (**Figure II.10**) qu'ils soient transparents ou colorés [8].



Figure II.10 : Bouteilles en verre

II.4.2.3. Papier

Les papiers et cartons: journaux et magazines, prospectus publicitaires, livres, feuilles de papier et enveloppes, sacs en papier, cartons plats (boîte de céréales...), cartons ondulés, briques en carton [8].



Figure II.11: Papiers-cartons

II.4.2.4. Emballage métallique

Emballages métalliques en acier et aluminium peuvent être utilisés dans diverses industries pour la fabrication de boules de pétanques, de pièce de moteur d'automobile, de machines à laver, de fer à repasser,...etc [8].



Figure II.12: Emballage métallique

II.5. Influence des déchets ménagers de nos modes de vie

Les déchets que nous rejetons dépendent de nos consommations et de nos modes de vie. On produit ainsi plus des déchets à la ville qu'à la campagne et les citadins rejettent plus d'emballages, mais moins des déchets organiques que les ruraux.

D'autre part, les volumes produits ont considérablement augmenté au cours des 40 dernières années. En 1960, la production moyenne par habitant était de 220 kg par an. En 1990, elle atteignait 360 kg par an. Elle est aujourd'hui de 450 kg par ans.

Ce phénomène s'explique en grande partie par le développement des achats en grandes surfaces et la multiplication des biens de consommation, qui caractérisent l'évolution de notre société depuis les années 60 [9].

II.6. Quels déchets ménagers peut-on recycler ?

Il faut savoir que beaucoup de choses que l'on pense « recyclables » ne se recyclent en fait pas. En réalité, seule une petite partie de nos déchets ménagers sont recyclables, y compris le papier, le carton, le plastique, le verre et les métaux. Pourquoi ? Tout simplement parce que pour être recyclé, un matériau doit respecter certains critères: être suffisamment épais, avoir une composition particulière et une température de fusion spécifique par exemple.

D'après les déchets ménagers recyclables que nous avons mentionnés ci-dessus, les déchets plastiques sont un bon exemple parce que, ils posent un grand problème environnemental car, leur durée de vie dans l'environnement comprise entre 100 et 1000 ans.

Pour remédier à ce problème, on pense souvent que les plastiques sont tous recyclables alors qu'en fait, c'est loin d'être le cas. Il existe des dizaines de sortes de plastiques: souples, rigides, opaques ou transparents, fins ou épais. En fait, en règle générale, seuls les plastiques utilisés pour la fabrication de bouteilles et autres flacons sont recyclés. Cela signifie que votre bouteille d'eau, de lait ou d'huile ainsi que vos bouteilles de shampoings ou vos flacons de produits cosmétiques sont recyclables, mais que les gobelets en plastique, la vaisselle en plastique ou les barquettes alimentaires en plastique ne le sont pas.

Dans ce cadre, le recyclage du plastique est un enjeu industriel. Du fait des volumes impliqués à l'échelle mondiale, la question concerne aussi les consommateurs qui peuvent avoir une influence sur la consommation, le gaspillage et le taux de recyclage. Il est essentiel de trouver des façons de recycler et réutiliser les produits comme le plastique [10].

II.7. Différents types des matières plastiques

Les matières plastiques se décomposent en deux catégories de matières de base avec un nombre de sous-catégories de propriétés différentes non substituables l'une à l'autre.

II.7.1. Thermoplastiques

Comprennent 12 catégories, dont les 5 polymères les plus utilisés sont des plastiques qui se ramollissent sous l'effet de la chaleur, puis durcissent à nouveau une fois refroidis. Les principaux thermoplastiques sont:

- Polyoléfines comme le polyéthylène (PE, PEBD, PEHD) et le polypropylène;
- Dérivés chlorés comme le chlorure de polyvinyle (PVC);
- Polyesters saturés comme le polyéthylène téréphtalate (PET);
- Styréniques (PS, EPS, ABS, XPS)

Les propriétés et les domaines d'application des thermoplastiques sont résumés dans le **tableau II.1**

Tableau II.1. Propriétés et domaines d'application des principaux thermoplastiques.

Termoplastiques	Propriétés	Applications.
PE (polyéthylène)	Transparence, souplesse	Films, sacs, bouteilles
PEHD (polyéthylène haute densité)	Opacité, rigidité	Bidons, conteneurs, poubelles seaux, jouets, bouteille de lait
PVC (polychlorure de vinyle)	Transparence, rigidité	Mobilier (banc, fenêtres ...), barrières, jouets, sols.
PE+ (polyéthylène téréphtalate)	Transparence, tenu à la pression interne	Bouteilles, boissons gazeuses, pull, rembourrage.
PP (polypropylène)	Rigidité, résistance aux chocs	Boîtes bacs, conteneurs, pare-chocs, tubes, bouteilles, pots de yaourt

II.7.2. Thermodurcissables

Ce sont des plastiques qui ne se ramollissent jamais une fois moulés comme:

- Phénoplastes; polyesters insaturés; aminoplastes et les résines époxy;
- Plupart des polyuréthanes (PUR); les résines siliconées et les résines allyles.

Dans ce contexte, le recyclage de polyéthylène téréphtalate (PET) et polyéthylène haute densité (PEHD) étant l'objet qui nous intéresse plus particulièrement au cours de ce travail, a cause de:

- Une tonne de PET recyclé représente 0,61 tonne de pétrole brut et 0,2 tonne de gaz naturel et 10,96 MWh soit 2,29 tonnes d'équivalent CO₂ évitées.
- Pour le PEHD, cela représente 0,51 tonne de pétrole brut et 0,31 tonne de gaz naturel et 7,98 MWh soit 1,53 tonne d'équivalent CO₂ évitée.

**Figure II.13:** Logos de PET et PEHD

II.8. Bouteilles en PET

La nouvelle bouteille (**Figure II.14**) de 1,5 L en PET fut une révolution en 1992. Grâce à la recherche dans le domaine des matériaux, l'industrie des eaux minérales naturelles décide de remplacer le PVC et le verre par un nouveau polymère de plastique: le PET (polyéthylène téréphtalate). Inaltérable, flexible et résistant, le PET de la bouteille plastique ne casse pas, ce qui évite tout risque de coupures. Aujourd'hui, l'effort de recherche se poursuit sur le PET, afin de mieux exploiter toutes les potentialités de ce polymère parfaitement neutre et 100 % recyclable. Les bouteilles en PET ont les propriétés suivantes:

- Une excellente résistance aux chocs,
- Une résistance chimique,
- Transparent
- Léger : Un poids très faible des bouteilles par rapport aux bouteilles en verre,
- Température d'utilisation : de 0 à +100°C
- Densité: 1.34 kg/dm³
- Une bonne barrière aux gaz et une faible absorption d'humidité [1].



Figure II.14: Bouteille d'eau minérale

II.9. Bouteilles en PEHD

Ce sont semi-rigides, opaques et recyclable, utilisées pour les bouteilles et les flacons, les bacs poubelles, les cagettes, les tuyaux, les jouets, les ustensiles ménagers, les jerricans (**Figure II.15**). Les bouteilles en PEHD ont les propriétés suivantes:

- Le PE-HD possède une température maximale d'emploi de 105 °C
- Une température de fragilisation de -50°C.
- Il possède une bonne flexibilité.

- Opaque
- Ce plastique est très résistant aux acides (comme le vinaigre), aux alcools aliphatiques (comme l'éthanol), aux aldéhydes et aux hydrocarbures (graisses) mais est peu résistant aux agents oxydants.



Figure II.15: Bouteilles en PEHD

II.10. Conclusion

La production de déchets ménagers ne cesse d'augmenter en quantité et en qualité engendrant ainsi d'énormes risques sur la santé publique et l'environnement. Depuis ces dernières années, les matières plastiques sont omniprésentes dans notre vie et sont des matières extrêmement pratiques et agréables. Au-delà des atouts majeurs de ces matières, les déchets plastiques sont volumineux par rapport à leur poids léger. Ils prennent donc beaucoup de volume dans les points de collecte et dans les centres d'enfouissement technique. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique. De plus, les bouteilles en PET et PEHD éliminées au centre d'enfouissement technique subissent à long terme une dégradation qui génère d'autres nuisances. Leur élimination illégale est génératrice de rejets incontrôlés et éventuellement nocifs. Pour réduire l'impact négatif de ces bouteilles sur la santé et l'environnement, des mesures de gestion doivent être adoptées.

II.11. Références bibliographiques

- [1] A. Ben Silette, R.MAHDID, La gestion des déchets ménagers dans la ville de Bou Saada, Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf -M'sila, 2017 .
- [2] N.Yessad, A.Ouassel, Contribution à l'étude des déchets ménagers de la ville de Béjaia par cartographie numérique, Mémoire de Master, Université Abderrahmane MIR-Bejaia, 2017.
- [3] www.vedura.fr
- [4] detours.canal.fr
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Sac_plastique
- [6] <https://www.definitions-marketing.com/definition/emballage/>
- [7] https://www.caducee.net/DossierSpecialises/inra/Emballages_alim.asp
- [8] Cèdre vous répond <https://www.cedre.info> › Comprendre le recyclage
- [9] [https://www.maison-nature-boult.eu/app/download/.../Les+déchets+ménagers.pdf](https://www.maison-nature-boult.eu/app/download/.../Les+d%C3%A9chets+m%C3%A9nagers.pdf)
- [10] <https://www.consoglobe.com/recycler-plastiques-4312-cg>

CHAPITRE III

RECYCLAGE DES BOUTEILLES

EN PET ET PEHD

III.1. Introduction

Une bouteille en plastique met plusieurs siècles à se dégrader dans la nature. Son incinération émet, quant à elle, du CO₂ et des fumées polluantes. Le recyclage des bouteilles plastique s'avère donc la solution la plus écologique. En effet, pour une tonne de plastique de PET et PEHD recyclé, on économise de 0,51 à 0,61 tonne de pétrole brut. Donc, le recyclage de ces bouteilles est un enjeu de plus en plus crucial au fil du temps. Du fait des volumes impliqués à l'échelle mondiale.

III.2. Pourquoi recycler ?

Le recyclage et le réemploi permettent d'économiser une grande quantité d'énergie primaire, notamment du pétrole, la principale matière première de la plupart des matières plastiques [1].

Le recyclage est "toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale. Cela inclut le retraitement des matières, mais n'inclut pas la valorisation énergétique (**Figure III.1**).



Figure III.1. Logo universel des matériaux recyclables

Pour toutes ces raisons, les déchets recyclables sont devenus de réelles ressources à réintroduire dans le cycle de fabrication. D'une manière générale, ce procédé est d'autant plus intéressant qu'il permet aussi d'économiser de l'eau et de l'énergie. L'un des exemples les plus connus illustrant ce procédé est celui de nouveaux matériaux grâce aux bouteilles en PET et PEHD usagées.

III.3. Processus de recyclage

Il existe trois formes de recyclage nous citons:

- **Recyclage chimique:** Utilise des réactions chimiques pour traiter les déchets ces réactions permettent de séparer les composants de la matière.
- **Recyclage organique:** Consiste, après le compostage ou fermentation, à produire des engrais, fréquemment employé en agriculture.
- **Recyclage mécanique:** Est la transformation des déchets à l'aide d'une machine. Qui permet d'obtenir une matière homogène qui est ensuite remoulée par exemple le broyage (**Figure III.2**).

En principe, tous les types de thermoplastiques peuvent être recyclés mécaniquement avec peu ou pas de perte de qualité. À l'heure actuelle, il s'agit pratiquement de la seule forme de recyclage en Europe où elle représente plus de 99% des quantités recyclées. Généralement, l'impact environnemental que représentent la collecte, le tri, le transport et le recyclage, alors que les coûts de ces opérations peuvent être plus que compensés par les revenus potentiels de la vente des produits recyclés sur le marché.

Les déchets plastiques qui ne peuvent pas être recyclés mécaniquement aux standards requis d'une manière durable sur le plan économique et environnemental restent cependant une ressource précieuse pour d'autres solutions de valorisation, comme le recyclage chimique et la valorisation énergétique. Ces solutions alternatives permettent de maximiser la récupération de leur valeur en ressources et en énergie [2].

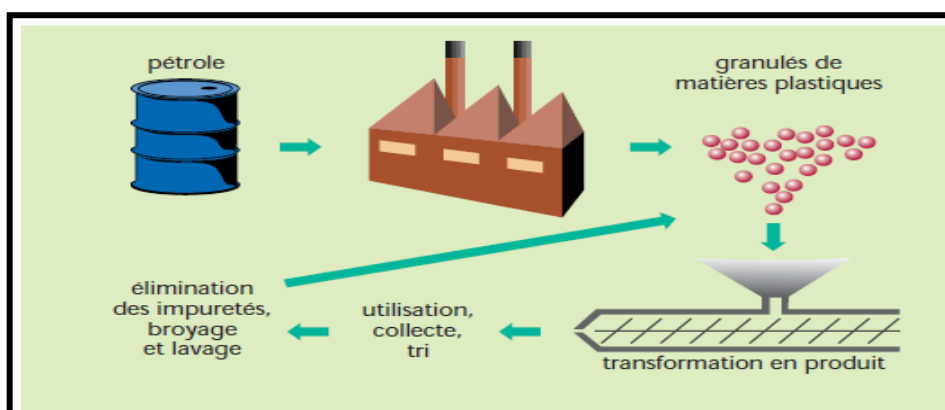


Figure III.2 : Recyclage mécanique

✓ Valorisation

Trois modes de valorisation possibles :

✓ Valorisation matière

Elle est la seule rentable actuellement et concerne les bouteilles et flacons qui sont compactés après collecte et mis en balle, avant d'être dirigés vers les unités de recyclage. Le tri des différentes sortes de plastiques doit être particulièrement soigneux, le recyclage n'étant possible que par catégories.

Actuellement, une bouteille sur quatre est recyclée. Le recyclage en emballages alimentaire est très limité pour des raisons de perte de qualité mais il existe d'autres débouchés intéressants:

- secteur textile (oreillers, couettes, sac,...)
- secteur automobile (moquette, revêtement, pare-choc)
- BTP (étanchéité, isolation) [3].

✓ Utilisation comme charge

Thermodurcissables ne peuvent être recyclés mais peuvent être utilisés comme charge dans les revêtements routiers ou dans d'autres matières plastiques [3].

✓ Valorisation énergétique

Tous les plastiques sont valorisables sous forme énergétique sans risques majeur pour l'environnement : ils ne contiennent pas de soufre, peu de fluor et de chlore, à l'exception du PVC. Une tonne de PVC incinéré produit 584kg d' HCl. Tous peuvent être incinérés, seul le PVC demande un traitement particulier pour séparer le chlore. Parmi les avantages de cette valorisation thermique, citons le pouvoir calorifique élevé du plastique, comparable à celui des énergies traditionnelles (c'est un dérivé du pétrole), et la possibilité de traiter sans inconvénient les emballages souillés par des débris alimentaires, qu'il serait trop coûteux de faire entrer dans une filière de recyclage [3].



Figure III.3 : Recyclage et valorisation énergétique

✓ Régénération

Elle consiste à retrouver les résines plastiques qui vont permettre d'obtenir des matières premières secondaires destinées à l'industrie du recyclage. Cette régénération comprend le broyage, le lavage, la granulation, la micronisation, selon les polymères :

- PEHD (lait...) après broyage, lavage et extrusion donne des granules, 100 tonnes entrantes donnent 79 tonnes de granules.
- PET (coca cola, eaux minérales), après broyage, lavage donne des paillettes, ou, si l'on ajoute l'extrusion, des granules. 100 tonnes entrantes donnent 81 tonnes de granules ou de paillettes.
- PVC (Badoit, Saint-Yorre), après broyage, lavage, donne une poudre. 100 tonnes entrantes donnent 81 tonnes de poudre en sortie.
- Avec ces résines régénérées on peut fabriquer de nouveaux produits comme des flacons (PEHD), des rembourrages et fibres (PET), des tuyaux, chaussures et fibres textiles pour pulls (PVC) [3].

III.4. Recyclage des bouteilles en PET et PEHD

Les bouteilles en plastique PET et PEHD sont la ressource la plus exploitée pour le recyclage du PET et PEHD. Dans ce contexte, il existe trois grandes familles de techniques de recyclage: chimique, mécanique et organique. Parmi celles-ci, la technique mécanique est la plus utilisée. Parce que, elle est simple, peu dommageable pour l'environnement et demandant peu d'investissements par rapport aux autres techniques. Cependant, le recyclage mécanique du PET et PEHD peut être divisé en plusieurs phases (**Figure III.4**) qui sont:



Figure III.4 : Bouteilles en plastiques PET et PEHD

III.4.1. Réception des matières premières

Les matières premières sont considérées comme des bouteilles en plastique PET et PEHD peut être recyclé. Les bouteilles doivent être pré trié selon la qualité Ces matériaux peuvent arriver dans des boîtes, des sacs... [4].

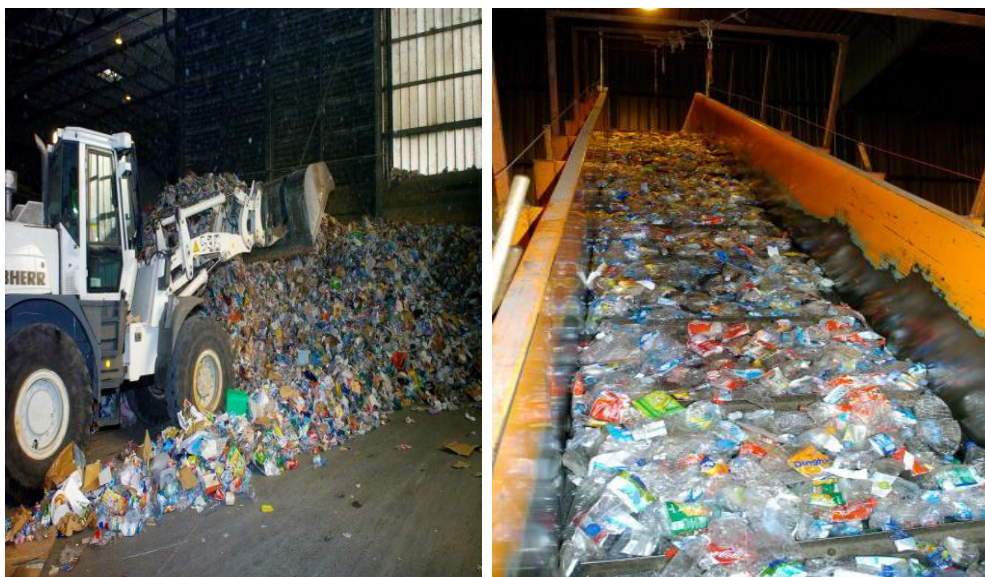


Figure III.5: Réception des bouteilles

III.4.2. Processus de sélection

Une fois réceptionnée, la matière première passe par un rigoureux processus de sélection au cours duquel sont effectuées les étapes suivantes [4].

III.4.2.1. Séparation des matières non aptes en raison de leur typologie

Sont séparées les matières plastiques différentes de celles utilisées au moment de la consommation par leur qualité du processus, les étiquettes, les matériaux ferreux, les terres, etc. Ce processus aider à garantir une qualité optimale, augmenter les capacités de production,

éviter une production inefficace et il sert à garder un contrôle sur la matière première fournie par nos sources d'approvisionnement [4].

III.4.2.2. Séparation des couleurs des bouteilles à consommer

Cette phase permet d'obtenir une consommation réduite de colorants, ce qui apporte un plus grand bénéfice tant économique qu'environnemental, ainsi qu'une plus grande variété dans les produits finis, en offrant différentes palettes de couleurs [4].



Figure III.6 : Séparation des couleurs des bouteilles

III.4.3. Lavage

Une fois décheté, les bouteilles plastiques sont introduites dans des laveuses industrielles. Des pales remuent l'eau afin que les bouteilles restent totalement immergées et que les éventuelles impuretés telles que la terre, la pierre, le métal, le carton, le PVC et tous autres matériaux plus denses que l'eau se déposent au fond des laveuses [4].



Figure III.7 : Machines de lavage

III.4.4. Séchage

Les bouteilles extraites des laveuses passent dans les centrifugeuses qui, en plus des fonctions de séchage, enlèveront complètement toutes les impuretés qui auraient pu encore échapper aux laveuses [4].



Figure III. 8: Sécheur centrifuge

III.4.5. Homogénéisation

Une fois déchetée, lavée et séchée, la matière plastique est stockée dans un grand silo où elle est mélangée par un procédé mécanique jusqu'à ce que le matériau soit homogène en termes de couleur, texture et comportement, et prêt pour l'extrusion [4].

III.4.6. Extrusion

Le corps central de l'extrudeuse comprend un long canon qui, grâce à la chaleur et la friction de son axe interne, permet la plastification de toutes les particules créées antérieurement, avec pour résultat une pâte uniforme. Les polymères sont ainsi fondus grâce à la chaleur [4].



Figure III.9 : Machine d'extrusion

III.4.7. Filtrage

Avec la texture et la fluidité nécessaire, le plastique subit encore un processus de filtrage [4].

III.4.8. Obtention des granulés

Le plastique sort de la tête de l'extrudeuse sous la forme de mono filaments ou de fils qui se refroidissent au contact de l'eau placée dans la cuve. Les fils passent par la filière où ils sont coupés par une lame rotative. Ce processus permet d'obtenir des grains ou les granulés adéquats demandés par les clients, adapté à leurs besoins lors de l'achat de granulés [4].



Figure III.10: Extrusion - Granulation

III.4.9. Analyse et contrôle de la qualité

La production de granulés est divisée en lots. Elles sont analysés au laboratoire, pour chaque lot, les caractéristiques telles que la fluidité, la densité, les cendres... Cela permet d'assurer une qualité homogène des produits [4].



Figure III.11 : Analyse et contrôle dans le laboratoire

III.4.10. Conditionnement

Les granulés sont projetés depuis l’extrudeuse, par un système pneumatique au moyen d’un ventilateur électrique, jusqu’à un réservoir ou un silo où un cyclone supprime l’humidité résiduelle. Ultérieurement et en fonction des besoins que chaque client nous aura définis, le produit est emballé dans des sacs de 25 kg [4].



Figure III.12 : Conditionnement des granulés

III.4.11. Stockage

Un bon stockage du produit fini est essentiel pour éviter les éventuels dommages: chocs, rigueurs climatiques, détérioration,...etc, afin d’atteindre un degré maximum d’acceptation du client [4].

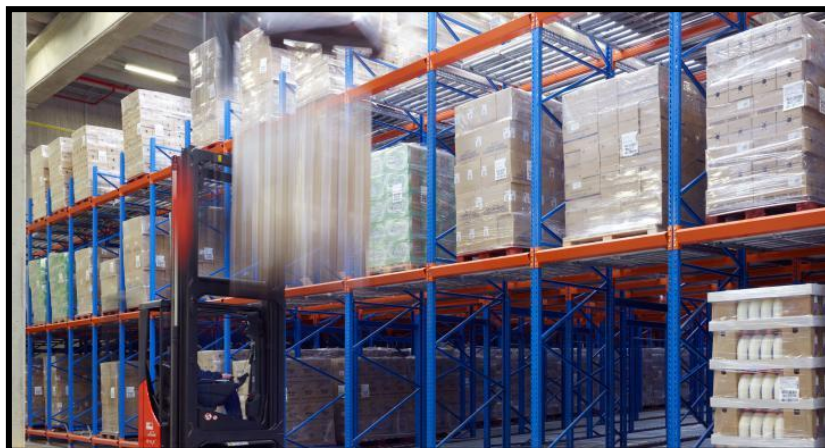


Figure III.13 : Stockage du produit fini

III.5. Enjeux du recyclage des déchets plastiques

Il est important de recycler le plastique du fait de sa provenance: fabriqué à partir de pétrole, il est issu de ressources non renouvelables. Il ne peut donc pas être fabriqué à l'infini et il pose d'énormes problèmes de pollution lors de la fin de vie. En effet, le plastique met entre 100 et 1000 ans à se dégrader dans la nature. Cela peut avoir des conséquences sur la faune et la flore.

Si le plastique n'est pas recyclable à l'infini, il peut être recyclé plusieurs fois avant d'être considéré comme un déchet. Il est donc important de bien trier le plastique pour qu'il soit réutilisé. L'industrie réutilise le plastique recyclé pour en faire d'autres composants : pièces automobiles, habits en PVC recyclé, barquettes...

Pour donner un ordre d'idée, recycler une tonne de bouteilles en PET permet d'économiser 830 litres de pétrole (**Figure III.15**). Une bouteille en PET donne 7 cartes à puces, et 11 bouteilles en PEHD donnent un arrosoir [5].

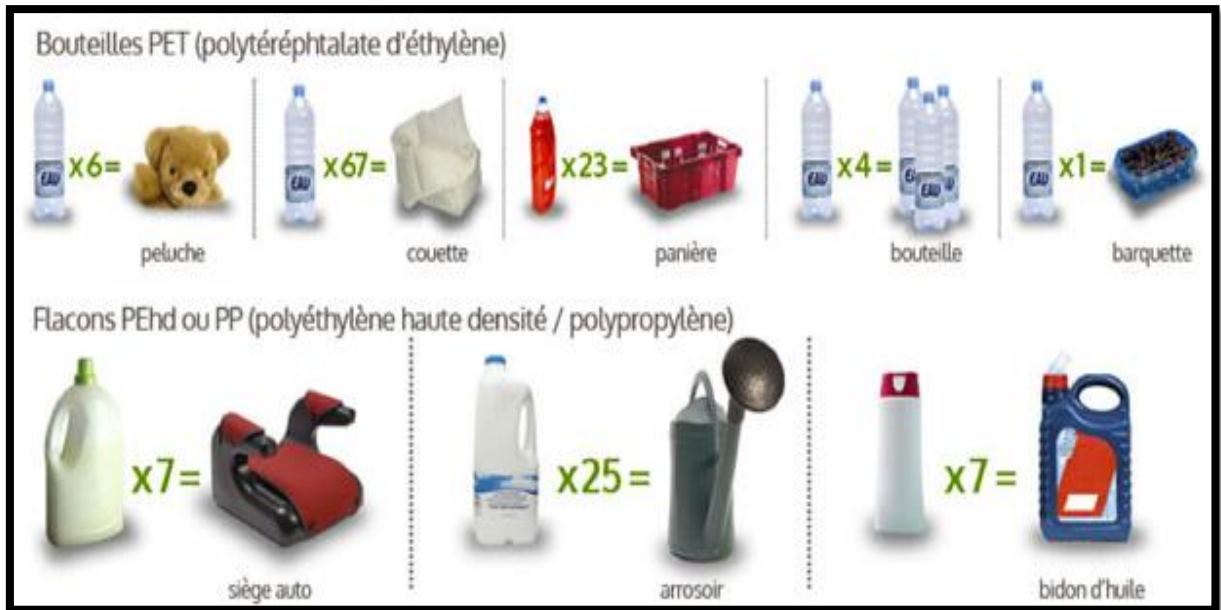


Figure III.14 : Equivalence entre bouteilles PET et PEHD recyclé

III.6. Applications de PET et PEHD recyclé

Les bouteilles en PET et PEHD recyclé deviennent principalement la matière première de nouveaux produits qui sont à titre exemple :

III.6.1. Fibre

Le recyclage des vêtements en polyester et des bouteilles en plastique permet d'obtenir de nouvelles fibres de polyester pour fabriquer des vêtements en fibre polaire (Figure III.16) [6].



Figure III.15: Nouvelle fibre

III.6.2. Ouate

La ouate de polyester est un isolant écologique, d'origine synthétique, issu du recyclage de bouteilles plastiques qui s'utilise en isolation intérieure des murs et des toitures :

- Elle existe sous forme de panneau, de rouleau et en vrac.
- La ouate de polyester est composée à 100 % de fibres de polyester dont 65 à 85 % sont issues du recyclage. Il faut environ 40 bouteilles plastiques pour réaliser 1 kilogramme de fibre recyclée.
- Dans sa composition, Il n'y a pas de produits chimiques, d'amiante et d'agents ignifugeants donc, son utilisation présente peu ou pas de risque pour la santé : non allergène, non irritante, non toxique [7].



Figure III.16 : Ouate

III.6.3. Mousse isolante

Les mousses isolantes se différencient notamment des isolants traditionnels par leur efficacité et la stabilité de leurs performances dans le temps. Ce qui signifie confort de vie et économies sur les dépenses énergétiques pour les propriétaires, les habitants d'une maison ou les occupants de locaux professionnels [7].



Figure III.17 : Mousse isolante

III.6.4. Gazole

Le procédé chauffe le plastique dans un lieu complètement étanche. Les vapeurs sont piégées via tout un réseau complexe de tuyaux et de chambres à eau. Ensuite, il y a refroidissement des vapeurs. Refroidissement qui condense les vapeurs en pétrole brut. Ce pétrole brut peut être utilisé dans les générateurs et même certains poêles. Une étape de raffinement supplémentaire peut même convertir le pétrole brut en essence [8].



Figure III.18 : Procédé de transformation de plastique en pétrole

III.6.5. Autres application des bouteilles en plastique recyclé



Figure III.19 : Des nouveaux objets en plastiques

III.7. Perspectives

Le marché du plastique est loin de la maturité pour plusieurs raisons qui s'imbriquent:

- ✓ Le plastique perce de nouveaux créneaux et se renforce sur ceux où il existait déjà : remplacement de certaines parties métalliques dans les voitures, utilisation de plus en plus fréquente de palettes en plastiques, emballages en plastiques préférés par les grandes surfaces qui présentent les marchandises sur palettes, bouteilles et flacons, développement du secteur multimédia, applications nouvelles dans le bâtiment. La concurrence s'exerce aussi contre l'acier, le bois, le papier-carton et le verre. La production de plastique suit une courbe exponentielle depuis plusieurs années et les prévisions sont optimistes [3]. Contre l'acier, la concurrence s'exerce dans le domaine automobile. Contre le bois et carton, dans le domaine des palettes et conteneurs pour grande Surface et contre le verre (vrai concurrent), dans le marché des bouteilles.

- ✓ Les nouveaux plastiques, en particulier le PET et PEHD, s'imposent de plus en plus, cela aura pour conséquence d'uniformiser le gisement et de réduire les coûts de traitement.
- ✓ De nouvelles techniques de recyclages sont à l'étude comme la dépolymérisation qui permet de retrouver les molécules monomères de départ.
- ✓ Un tri supplémentaire et un pré-lavage éliminent les éléments indésirables et séparent les matériaux suivant leur densité. Le plastique est alors broyé en paillettes incorporées dans la fabrication de nouveaux emballages ou encore de fibres polyester (polaire) pour le PET et pour la fabrication d'objets comme des arrosoirs, du mobilier d'extérieur, etc. pour le PEHD[4].

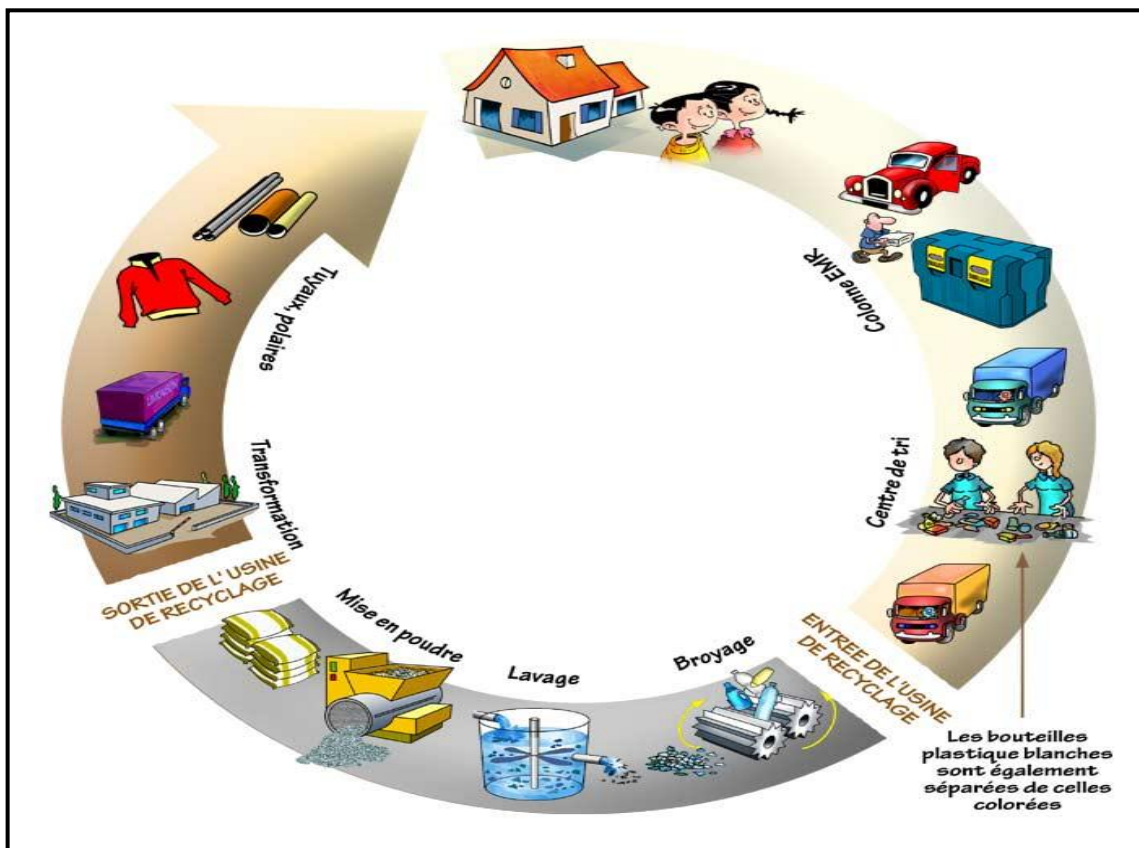


Figure III.20 : Processus de recyclages des bouteilles

III.8. Conclusion

Le recyclage des bouteilles en PET et PEHD est plus encouragé dans la société actuelle. Parce que, PET et PEHD sont actuellement le plastique le plus recyclable. Une étude récente a démontré qu'au-delà d'un certain temps de stockage de l'eau dans une bouteille en PET et PEHD, un phtalate probablement cancérigène pourrait s'y développer. Il est donc déconseillé de réutiliser ces bouteilles. Pour remédier à ce problème, le recyclage des bouteilles en PET et PEHD est profitable. Alors, ils sont broyés puis fondu et transformés en fibres par étirage. Cette fibre sert à rembourrer des anoraks, des peluches ou des couettes... etc.

Le recyclage de ces bouteilles fournit l'industrie textile, avec la laine polaire. Pour confectionner un pull de taille moyenne, il faut environ 27 bouteilles de 1,5 L. Le recyclage de 67 bouteilles d'eau permet de fabriquer une couette pour 2 personnes. En 2000, le recyclage de 2,5 milliards de bouteilles a permis d'économiser 56 000 t de pétrole. Le recyclage du PET et PEHD usagé représente une économie d'énergie de 60%. Recycler donc permet de vivre dans un environnement sain et agréable.

III.9. Références bibliographiques

[1] <http://www.biomens.eu/dossiers/FR20-Lerecyclagedesplastiques.pdf>

[2] <https://www.smicval.fr/content/pourquoi-recycler>

[3] A. Mirakoff, E. Ludovic, G. Corentin, M. Cyril, Le recyclage, Projet tutoré DUT 1ère année, 2008

[4] <http://www.recicladoslared.es/fr/le-processus-de-recyclage-du-plastique/>

[5] <https://www.plasticseurope.org/fr/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill/recycling-and-energy-recovery>

[6] <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-fibre-polaire-et-recyclage-du-plastique-1557.htm>

[7] <https://www.icynene.fr/produits-isolants/mousse-isolante/>

[8] <https://www.humanosphere.info/wp-content/uploads/2011/09/plastic-bag-oil-machine.jpg>

CONCLUSION GÉNÉRALE

La gestion de déchets plastiques est devenue un des principaux défis auxquels sont confrontées nos sociétés. La production de ce type de déchets ne cesse d'augmenter en quantité engendrant ainsi d'énormes risques sur la santé publique et l'environnement. Cette situation est beaucoup plus préoccupante dans les pays en voie de développement à cause de leur manque de moyens.

Le PET et PEHD sont des matériaux d'emballage plastique courant pour les produits alimentaires et non-alimentaires en raison de ses solidités et de ses stabilités thermiques. Le recyclage de ces bouteilles nécessite un ensemble de procédés techniques de tri et de purification afin de transformer le déchet en une nouvelle matière première secondaire.

Le PET recyclé est peut être utilisé dans l'industrie textile pour des fibres en polyester et la ouate ainsi que, dans l'industrie automobile pour des composants en plastique ou dans l'industrie de l'emballage pour des rubans, films et les bouteilles. Alors que, le PEHD recyclé est peut être utilisé dans l'industrie des arrosoirs, des sièges auto pour enfants, des tuyaux...etc. Pour donner un ordre d'idée:

- Une tonne de PET recyclé représente 0,61 tonne de pétrole brut et 0,2 tonne de gaz naturel et 10,96 MWh soit 2,29 tonnes d'équivalent CO₂ évitées.
- Pour le PEHD, cela représente 0,51 tonne de pétrole brut et 0,31 tonne de gaz naturel et 7,98 MWh soit 1,53 tonne d'équivalent CO₂ évitée.

Résumé

A l'heure actuelle avec cette augmentation horrible des déchets plastiques il est devenu primordial de les recycler pour préserver notre planète et éviter les risques sur la santé publique. Parmi les déchets plastiques, les bouteilles en PET et PEHD, malgré leurs poids léger mais elles sont volumineux et prennent beaucoup de place dans les points de collecte d'une part et met la nature en dégradation des siècles et des siècles d'autre part. En plus, une étude a démontré que la préservation de l'eau dans des bouteilles en plastique serait nocif et cancérigène, donc il est déconseillé de les réutiliser. Alors, la meilleure façon est de les recycler pour fournir les industries en couette, en pull, en arrosoir, en tuyaux...etc.

Mots clés : Déchet ménager, bouteille plastique, PET, PEHD, recyclage.

Abstract

Currently with this terrible increase of plastic waste it has become a priority to recycle to keep our planet and avoid risks to public health.....Among these plastic waste, "pet et pehd", which despite its light weight, it occupies a large size in the assembly areas on the one hand, and the nature of the decline for several centuries on the other hand...In addition, the study proved that storage of water in plastic bottles is considered killer and causes cancerSo, the best way is to recycle them to support the industry by covering them, jackets, sprays, water hoses pipes ... etc..

Keywords: household waste, plastic bottles, PET, PEHD, recycling

ملخص:

في الوقت الراهن مع هذه الزيادة الرهيبة للنفايات البلاستيكية اصبح من الاولويات اعادة تدويرها للحفاظ على كوكبنا و تجنب المخاطر على الصحة العمومية. من بين هذه النفايات البلاستيكية، القارورات pet et pehd التي بالرغم من وزنها الخفيف الا انها تحتل حجم كبير في مناطق التجميع من جهة، و تعرض الطبيعة لتراجع عدة قرون من جهة أخرى بالإضافة إلى هذا، أثبتت الدراسة ان تخزين الماء في القارورات البلاستيكية يعد قاتل و متسرطن إذا، أحسن طريقة هي اعادة تدويرها لتدعيم الصناعة بالتغطية و السترات و المرشات و خراطيم المياه ... الخ.

الكلمات المفتاحية : النفايات المنزلية، قارورات بلاستيكية، pet, pehd, اعادة تدوير