

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de Génie des procédés

# Mémoire

## EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés  
Spécialité : Génie des Polymères

Présenté par

**AFFOUN Karim**

**OUBARA Mahdi**

*Thème*

**Etude des propriétés des déchets pré-consommation à base de PEBD de la société  
"MERIPLAST"**

Soutenue le 28/09 /2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Habi Abderrahmane	Professeur	Université de Bejaïa	Président
Rouba Nabila	MCB	Université de Bejaïa	Examinatrice
Bouakaz BoubkeurSeddik	MCB	Université de Bejaïa	Encadrant

Année Universitaire : 2021/2022

---

# Remerciements

---

Je remercie Dieu, le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire

Nous tenons à adresser nos remerciements les plus distingués à monsieur **HABI Abderrahmane** et Madame **ROUBA Nabila** de nous avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie des membres de jury

Tout d'abord, ce travail n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Monsieur **Bouakaz boubkeur Seddik**, On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité  
Durant la préparation de ce mémoire

*Un remerciement au responsable du centre de recherche génie des polymères au niveau de l'Université de Sétif monsieur **BENMEKIDECHE Abdelhakim** pour avoir accepté notre demande pour préparer nos échantillons et effectuer des caractérisations qui nous étaient précieuses*

Nous tenons à remercier vivement monsieur **KHALDI Youcef**, responsable de service contrôle qualités au sein de l'entreprise MERI-Plast, pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien

Mes remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles

Mes profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin.

---

# Dédicace

---

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère*

*A mes très chers parents qui ont fait leur mieux pour que je réussisse dans mes études  
Que dieu leur procure bonne santé et longue vie*

*A vous mes plus belles sœurs ma source de joie. Je vous souhaite une vie pleine de  
bonheur et de succès et que Dieu vous protège et vous garde*

*A mon beau petit neveu : \*Anes\* et mes chères nièces d'amour : \*Ikram, Amani, Anya\**

*A mon frère avant qu'il soit mon binôme, qui m'a partagé le bien et le mal à toi \*Mahdi\*, Je te  
souhaite tout le bonheur dans ta vie*

*Aussi je n'oublie jamais mes amies, je vous dédie mon travail pour nos bons souvenirs et nos chères  
amitiés*

*Je tiens enfin à exprimer à toute ma gratitude à tous la promotion 2021-2022 Master  
« Génie des polymères »*

*Karim*

---

# Dédicace

---

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux je n'arriverais jamais  
à leur exprimer mon amour sincère*

*A mes chers parents pour le soutien et leur encouragement*

*A mes frères Aissa, Nadir et mes sœurs Souhila, Fatiha, Wasma, Sara et Chaima*

*A tous les collègues surtout mon ami Khoudir et bezza et toute la famille I 109.*

*A tous mes proches de mon cœur*

*A mon cher club jsk*

*Est toute la famille Oubara*

**Mahdi**

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre I

<b>Figure I.1 :</b> La chaîne d'un polymère linéaire.....	5
<b>Figure I.2 :</b> La chaîne d'un polymère bidimensionnel.....	5
<b>Figure I.3:</b> Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel.....	5
<b>Figure I.4 :</b> Représentation de quelques polymères.....	7
<b>Figure I.5:</b> Représentation semi-développée de la macromoléculaire du polyéthylène....	10
<b>Figure I.6 :</b> Schéma représentatif du polyéthylène.....	10
<b>Figure I.7 :</b> Représentative de la machine d'extrusion.....	16
<b>Figure I.8 :</b> Représentation de la machine d'injection.....	17
<b>Figure I.9 :</b> Signe de la propriété de recyclage.....	18
<b>Figure I.10 :</b> Définition d'une filière de recyclage selon un schéma simplifié.....	19
<b>Figure I.11 :</b> Schéma du recyclage des emballages en plastique.....	21

## Chapitre II

<b>Figure II.1 :</b> les deux polymères utilisés dans l'étude.....	26
<b>Figure II.2 :</b> Organigramme de synthèse expérimentale.....	28
<b>Figure II.3 :</b> extrudeuse mono-vis.....	29
<b>Figure II.4:</b> presse Hydraulique manuelle.....	30
<b>Figure II.5 :</b> La presse chauffante.....	31
<b>Figure II.6 :</b> Spectrophotomètre IRTF.....	32
<b>Figure II.7 :</b> Appareil de l'ATG.....	33
<b>Figure II.8 :</b> Schéma de principe de mesure d'indice de fluidité.....	34
<b>Figure II.9 :</b> Eprouvette utilisé dans l'essai de choc.....	36
<b>Figure II.10 :</b> appareil de marque Ceast, type Resil Impactor.....	36

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre III

<b>Figure III.1</b> : spectre IRTF de PE vierge et PE recycle.....	42
<b>Figure III.2</b> : Spectres IR des mélanges vierge/recyclé.....	44
<b>Figure III.3</b> : la variation de l'indice de fluidité en fonction de taux de PE recyclé.....	45
<b>Figure III.4</b> : Thermogrammes ATG des mélanges PEBD vierge /PEBD recyclé.....	47
<b>Figure III.5</b> : Thermogrammes DTG des mélanges PEBD vierge /PEBD recyclé.....	47
<b>Figure III.6</b> : La variation de la résilience au choc Izod des mélanges vierge/recyclé.....	49

# LISTE DES TABLEAUX

## *Chapitre II*

<b>Tableau II.1</b> : les propriétés de polyéthylène.....	27
<b>Tableau II.2</b> : les formulations utiliser dans l'étude.....	29

## *Chapitre III*

<b>Tableau III.1</b> : Bandes caractéristique des constituants des groupements fonctionnels des polymères utilisés .....	42
<b>Tableau III.2</b> : Les valeurs de l'indice de fluidité de différentes mélange de Polyéthylène.....	45
<b>Tableau III.3</b> : Les températures caractéristiques des Thermogrammes de la perte de masse de films PEBD non stabilisé et ces dérivées.....	48
<b>Tableau III.4</b> : Les différentes valeurs des résiliences obtenues pour les différentes Formulations.....	49

# Sommaire

## Sommaire

### Liste des figures

### Liste des tableaux

### Introduction général ..... 1

## Chapitre I : synthèses bibliographiques

### I.1 Généralités sur les polymères

#### I.1.1 Définition ..... 3

#### I.1.2 Famille de polymères..... 3

##### I.1.2.1 Les matières thermoplastiques..... 3

##### I.1.2.2 Les matières thermodurcissables..... 3

##### I.1.2.3 Les élastomères..... 3

#### I.1.3 Classification..... 4

##### I.1.3.1 Selon l'origine..... 4

##### I.1.3.2 Selon leur domaine d'application..... 4

##### I.1.3.3 Selon leur dimensionnalité..... 4

##### I.1.3.4 Selon leur comportement thermique..... 5

##### I.1.3.5 Selon le nombre de monomère..... 6

##### I.1.3.6 Selon l'ordre moléculaire..... 6

#### I.1.4 Obtention des monomères..... 7

#### I.1.5 Formation des polymères..... 7

##### I.1.5.1 La polyaddition..... 8

##### I.1.5.2 La polycondensation..... 8

#### I.1.6 Cristallinité des polymères..... 8

#### I.1.7 Caractéristiques des polymères..... 8

#### I.1.8 Applications des polymères..... 9

### I.2 Polyéthylène

#### I.2.1 Définition..... 10

#### I.2.2 Structure du polyéthylène..... 10

#### I.2.3 Polymérisation du polyéthylène..... 10

#### I.2.4 Types de polyéthylène..... 11

I.2.4.1 Polyéthylène haut densité PEHD .....	11
I.2.4.2 Polyéthylène basse densité PEBD... .....	12
I.2.4.3 Polyéthylène basse densité linéaire.....	13
I.2.5 Propriétés des polyéthylènes.....	13
I.2.5.1 Propriétés rhéologiques .....	13
I.2.5.2 Propriétés mécaniques .....	13
I.2.5.3 Propriétés thermiques .....	14
I.2.5.4 Propriétés chimiques .....	14
I.2.5.5 Propriétés électriques. ....	15
I.2.6 Procédé de mise en forme .....	15
I.2.6.1 Extrusion.....	15
I.2.6.2 Injection .....	16
<b>I.3 Recyclage de polyéthylène</b>	
I.3.1 Introduction.....	18
I.3.2 Définition.....	19
I.3.3 Différentes méthodes de recyclage.....	20
I.3.3.1 Réutilisation.....	22
I.3.4 Source des déchets plastiques.....	22
I.3.5 Processus de recyclage du plastique.....	22
I.3.5.1 Réception des matières premières.....	22
I.3.5.2 Processus de sélection.....	22
I.3.5.3 Le déchiquetage.....	23
I.3.5.4 Lavage.....	23
I.3.5.5 Séchage et essorage.....	23
I.3.5.6 Homogénéisation.....	23
I.3.5.7 Extrusion.....	23
I.3.5.8 Filtrage.....	23
I.3.5.9 Granulé.....	24
I.3.5.10 Analyse et contrôle de la qualité.....	24
I.3.5.11 Conditionnement.....	24

I.3.5.12 Stockage.....	24
I.3.5.13 Logistique.....	24
I.3.6 Propriétés affectées lors du recyclage.....	24
I.3.7 Les applications de recyclage.....	25
I.3.8 Avantages du recyclage.....	25

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

### **Matériels et méthodes**

II.1 Polymère de l'étude.....	26
II.2 Mise en œuvre et caractérisation.....	28
II.3 Mise en forme.....	29
II.3.1 Préparation des formulations .....	29
II.4 Techniques de caractérisation.....	32
II.4.1 Spectroscopie infrarouge a transformée de Fourier (IRTF) .....	32
II.4.2 Analyse thermogravimétrique (ATG) .....	32
II.4.3 Indice de fluidité « IF » .....	33
II.4.4 Tests mécaniques.....	35
II.4.4.1Détermination de la résistance au choc .....	35

## **Chapitre III : Résultats et discussions**

III.1 Caractérisation par spectroscopie infra-Rouge IR .....	36
III.2 Indice de fluidité (IF).....	39
III.3 Analyse thermogravimétrique (ATG/dTG) .....	41
III.4 Essais mécaniques .....	42
III.4.1 Résistance au choc.....	44

## **Conclusion générale**

Conclusion .....	46
------------------	----

### **Références bibliographique**

### **Annexes**

# **Introduction générale**

### Introduction général

A nos jours, les pièces en matières plastiques peuplent notre vie quotidienne dans tous les domaines d'utilisation. La matière plastique remplace les autres matériaux à savoir, le métal, le carton, le bois, les verres, la céramique et autres matériaux. Qu'il s'agisse des châssis des fenêtres dans le bâtiment, des éléments de carrosserie et autres composants dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique et naval aussi les meubles, les appareils électroménagers, le matériel électrique, le matériel médical et les moyens de transport.

La matière plastique est composée principalement de polymères, qui a la propriété de se mettre en forme facilement par moulage, extrusion, coulage après un chauffage modéré (100-300°C)

Le polyéthylène (PE) est l'un des plastiques les plus utilisée au monde, et concerne un nombre incalculable d'industries, de segments et d'applications. Le PE permet d'emballer les produits alimentaires de façon économique tout en prolongeant leur durée de vie, de transporter et distribuer des produits chimiques en toute sécurité, d'acheminer l'eau potable auprès des populations, de protéger les carrosseries des voitures neuves contre les rayures, et d'autres applications utiles de la vie quotidienne.

Les avantages en utilisant des matières plastiques attirent les grandes industries, comme la société **Meri-Plast** plus reconnue dans le domaine d'emballage agroalimentaire à Bejaïa. Elle met un terme à produire plusieurs produits et aussi des éventuels déchets emballages à l'intérieur et surtout à l'extérieur du domaine de la société. En parlant des déchets emballages lors de la production, plusieurs facteurs gèrent les causes des déchets emballages. L'usine a une haute gamme des déchets emballages.

A part les problèmes environnementaux causés par les déchets film plastiques qui est en majorité, le coût de ramassage de ces déchets est très élevé et fait augmenter la charge de la société.

Pour résoudre tous ces problèmes, il faut envisager de recycler ces déchets plastiques comme le cas de tous les déchets plastiques possibles à recycler. Ce présent mémoire intitulé « Etude des déchets pré-consommation à base de PEBD de la société "MERI-PLAST" » consiste à élaborer une étude nécessaire pour la mise en place d'un procédé de recyclage de ces déchets au sein de la société.

Ce travail comprend trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique comportant des généralités sur les polymères, le polymère utilisé (polyéthylène), en présentant leurs structures moléculaires, leurs principales propriétés et applications ainsi que leurs méthodes de synthèse, et l'étude de la récupération et de la valorisation de quelques déchets plastiques destinés à l'emballage.

Dans le deuxième chapitre seront présentés les matériaux utilisés, l'organigramme de la technique expérimentale, la mise en œuvre des matériaux ainsi que les techniques de caractérisation et les moyens utilisés.

Quant au troisième chapitre, il sera consacré à la discussion de l'ensemble des résultats obtenus à partir des différents tests effectués.

Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion générale rassemblant la synthèse des principaux résultats obtenus.

# **Chapitre I**

## **Synthèse bibliographiques**

## Chapitre I

### Synthèse bibliographiques

#### I.1 Généralités sur les polymères

##### I.1.1 Définition

Les polymères, appelés communément "matières plastiques", sont inséparables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités: des objets les plus banals jusqu'à des applications techniques sophistiquées, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires[1] Le plus souvent synthétiques, quelquefois naturels, ils doivent cet essor à leurs larges gammes de caractéristiques, (durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers) [1].

Par définition les polymères, (du grec pollus, plusieurs et meros, parties), sont du point de vue de leur structure moléculaire un enchainement d'un même motif appelé monomère. Les monomères reliés entre eux par des liaisons de type covalent. Il existe plusieurs types de polymères dont les structures variées leur confèrent des propriétés différentes. D'origine naturelle ou de synthèse (issues du gaz ou du pétrole).

##### I.1.2 Famille de polymères

Les polymères sont classés en trois familles :

###### I.1.2.1 Les matières thermoplastiques

Elles sont appelées simplement thermoplastiques, elles sont constituées de macromolécules linéaires ou ramifiées [2], liées entre elles par des forces de Van Der Waals [3]. Ces matières sont solides à température ambiante, elles se ramollissent à la chaleur jusqu'à un état plastique dans lequel elles se déforment facilement. Ces plastiques fondent, se vaporisent et brûlent. Mais elles se durcissent avec le refroidissement [4].

###### I.1.2.2 Les matières thermodurcissables

Sont des matériaux amorphes [3]. Sous l'effet de la chaleur, elles deviennent dures et ne peuvent plus fondre. Les polymères thermodurcissables sont réticulés, ils sont obtenus par réaction chimique, les thermodurcissables présentent une résistance mécanique, chimique et thermique plus élevée que les thermoplastiques [5]

### I.1.2.3 Les élastomères

Sont des matériaux amorphes [3]. Ils sont constitués de macromolécules réticulées, liées chimiquement entre elles. Les élastomères peuvent toutefois fondre sous l'action de la chaleur et ils se déforment plus ou moins facilement, ils subissent de très grandes déformations sous l'action des contraintes mécaniques puis ils reviennent à leur forme initiale lorsque l'action mécanique cesse [4].

### I.1.3 Classification

Les polymères peuvent être classés selon plusieurs critères qui ne s'excluent pas les uns des autres.

#### I.1.3.1 Selon l'origine

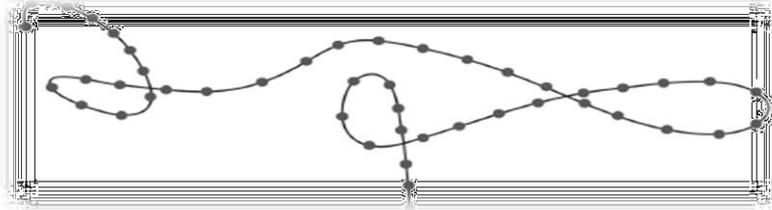
- ✓ **Les polymères naturels** : appelés aussi bio-polymère, sont des polymères formés par les organismes vivants soit végétal ou bien animal (cellulose amidon caoutchouc ...etc.).
- ✓ **Les polymères artificiels** : sont obtenus par modification chimique des polymères naturels, autrement dit ce sont des dérivés des polymères naturels (nitrocellulose...etc.) [6].
- ✓ **Les polymères synthétiques** : sont obtenus par polymérisation de molécules monomères [2].

#### I.1.3.2 Selon leur domaine d'application

- ✓ **Les polymères de grande diffusion** : dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes. Le polyéthylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et quelques autres sont à classer dans cette catégorie, ils présentent une importance économique considérable [7].
- ✓ **Les polymères techniques** : ont des caractéristiques mécaniques qui leur permettent de se substituer aux matériaux traditionnels (métaux, céramiques...etc.) dans de nombreuses applications, les polyamides font partie de cette famille [5].
- ✓ **Les polymères spéciaux** : présentent généralement une propriété spécifique qui induit leur utilisation pour une application particulière [5]. C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, thermostables... [7].

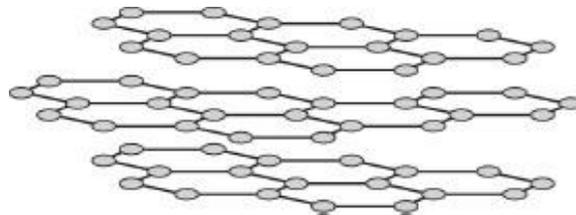
#### I.1.3.3 Selon leur dimensionnalité

- ✓ **Les polymères linéaires (ou monodimensionnels)** : Pour les quels chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre élevé mais fini d'unités monomères [8].



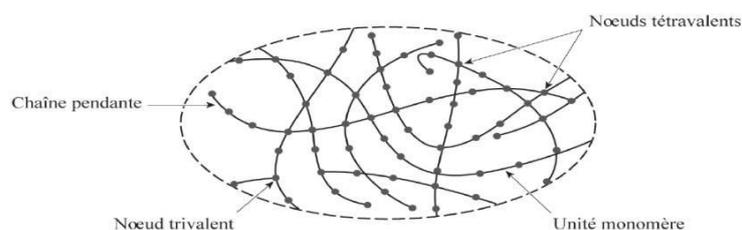
**Figure I.1 :** La chaîne d'un polymère linéaire

- ✓ **Les polymères bidimensionnels :** Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels d'épaisseur comparable à celle des molécules simples [6].



**Figure I.2 :** La chaîne d'un polymère bidimensionnel

- ✓ **Les polymères tridimensionnels :** Qui résultent de la polymérisation de monomère dont la valence moyenne est supérieure à deux ou de la réticulation, Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infinie [10].



**Figure I.3:** Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel

#### I.1.3.4 Selon leur comportement thermique

**Les thermoplastiques :** Sont des polymères qui peuvent être moulés par chauffage et durcis par refroidissement [7]. On peut citer :

- ✓ Le polyéthylène (PE) : utilisé dans la Câblerie, corps creux, articles ménagers, feuilles, tuyaux, films minces, sacs, mousses ...etc.

- ✓ Le polychlorure de vinyle (PVC) : utilisé dans la fabrication des Bouteilles, articles ménagers, feuilles, câbles, plaques, tuyaux, films minces, sacs, gants, jouets, gouttières, volets, ...etc.
- ✓ Le polypropylène (PP) : utilisé dans la fabrication des emballages alimentaires, pièces techniques pour l'automobile (pare-chocs, batteries, ...etc.), vaisselle pour four micro-ondes, tapis, moquettes, cordes, ficelles...etc.
- ✓ Le polystyrène (PS) : utilisé dans la fabrication des : emballages alimentaires, pièces techniques pour l'automobile et vaisselle pour four micro-ondes.

**Thermodurcissables** : Sont durs à la chaleur, ils se transforment de façon irréversible [7]. On peut citer :

- ✓ Le phénoplaste (PF) : utilisé dans les domaines scientifiques et réalisation d'objets comme téléphones, postes de radio, pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement.
- ✓ L'aminoplaste (MF) : utilisé dans la fabrication de nappe décorative, mobilier de cuisine...etc.
- ✓ Le polyester insaturé : utilisé dans la fabrication des pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles, etc.
- ✓ Le polyuréthane (PUR) : utilisé dans la fabrication des Chaussure de ski, revêtement de sol, siège de voiture...etc.

**Les élastomères** : Ils subissent de très grandes déformations sous l'action de contraintes mécaniques, [7]. On peut citer comme exemple :

- ✓ Le caoutchouc : est destinée à l'industrie du pneumatique
- ✓ Le silicone : est utilisé dans l'isolation des câbles, la réalisation de tube et flexibles, de moules de cuisine, ...etc.

#### I.1.3.5 Selon le nombre de monomère

- ✓ **Homopolymères** : Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité autrement dit un seul monomère utilisé. Ces homopolymères sont des longues chaînes formées par la répétition d'un monomère [10]. Parmi ces derniers, on peut citer le polyéthylène.
- ✓ **Copolymères** : Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. C'est à dire deux ou plus de monomères utilisés [11].

**I.1.3.6 Selon l'ordre moléculaire**

Il existe trois types d'ordre moléculaire :

- ✓ **Les polymères amorphes** : Dans ce cas les chaînes macromoléculaires ne sont pas arrangées, il y'a un désordre total.
- ✓ **Les polymères cristallins** : Il existe dans ce cas les zones cristallines dont les chaînes sont ordonnées.
- ✓ **Les polymères semi-cristallins** : Ils se composent d'une phase cristalline (l'ordre) et une phase amorphe (désordre) [7].

**I.1.4 Obtention des monomères**

Les monomères issus du vapocraquage sont polymérisés, c'est-à-dire qu'ils subissent des réactions chimiques complexes avant d'acquérir leur structure de polymère. Il existe deux grands types de réactions : la polymérisation en chaîne (polyaddition, pour créer le polyéthylène, le propylène ou le polystyrène) et la polymérisation par étapes (polycondensation, pour le polyéthylène téréphtalate par exemple) [12].

<i>Nom Sigle Synthèse</i>	<i>Monomères</i>	<i>Unité constitutive</i>
Polyéthylène PE polymérisation	éthylène $CH_2 = CH_2$	$-CH_2-CH_2-$
Polypropylène PP polymérisation	propylène $CH_2 = \underset{\begin{array}{c}   \\ CH_3 \end{array}}{CH}$	$-CH_2-\underset{\begin{array}{c}   \\ CH_3 \end{array}}{CH}-$
Poly(chlorure de vinyle) PVC polymérisation	chlorure de vinyle $CH_2 = \underset{\begin{array}{c}   \\ Cl \end{array}}{CH}$	$-CH_2-\underset{\begin{array}{c}   \\ Cl \end{array}}{CH}-$
Polystyrène PS polymérisation	styrène $CH_2 = \underset{\begin{array}{c}   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}}{CH}$	$-CH_2-\underset{\begin{array}{c}   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}}{CH}-$
Polyamide 6-6 PA6-6 polycondensation	acide adipique $HOOC-(CH_2)_4-COOH$ hexaméthylène diamine $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$	$-NH-(CH_2)_6-NH-$ $-CO-(CH_2)_4-CO-$
Poly(téréphtalate d'éthylène) PET polycondensation	acide téréphtalique $HOOC-\text{C}_6\text{H}_4-COOH$ éthylène glycol $HO-CH_2-CH_2-OH$	$-O-CH_2-CH_2-O-$ $-CO-\text{C}_6\text{H}_4-CO-$

Figure I.4 : Représentation de quelques polymères

### **I.1.5 Formation des polymères**

Chaque monomère est isolé. Il est ensuite combiné avec d'autres monomères de même nature différente lors d'une réaction chimique appelée réaction de polymérisation. Il existe plusieurs types de réaction de polymérisation.

#### **I.1.5.1 La polyaddition**

Polymérisation en chaîne, les monomères se soudent les uns aux autres de façon consécutive (un à un) sans élimination de résidus.

#### **I.1.5.2 La polycondensation**

Les fonctions chimiques des monomères interagissent entre elles, toutes en même temps et s'assemblent en dégageant de petites molécules. Le polymère obtenu est aussi appelé **polycondensat** [13].

### **I.1.6 Cristallinité des polymères**

L'état cristallin est caractérisé par l'existence d'un ordre à grande distance de molécules ou d'atome. La présence inévitable des irrégularités, telles que la ramification, empêche le polymère de se cristalliser complètement, il est dit semi-cristallin. Le polymère semi-cristallin comprend deux phases, une cristalline, très ordonnée et une amorphe sans aucun arrangement.

Les impuretés chimiques altèrent aussi la structure physique du polymère en distordant la maille cristallographique. Ces distorsions de structure physique entraînent un désordre dans la matrice polymère solide appelée désordre physique.

### **I.1.7 Caractéristiques des polymères**

Dans la plupart des matières plastiques (mais pas toujours respectée dans certaines matières plastiques spéciales) sont les suivantes :

- ✓ Ont un faible coût de production
- ✓ Possèdent une faible densité
- ✓ Ont tendance à être imperméable à l'eau
- ✓ Bons isolants électriques
- ✓ Isolation acoustique acceptable
- ✓ Une bonne isolation thermique, mais la plupart ne peuvent pas résister à des températures très élevées
- ✓ Résistant à la corrosion et de nombreux facteurs chimiques
- ✓ Certains ne sont pas biodégradables ou facilement recyclables, et s'ils brûlent, sont très polluants [7].

### I.1.8 Applications des polymères

Les polymères sont fortement utilisés dans plusieurs domaines :

- **Electriques**
  - ✓ Les connecteurs pour puits de forage
  - ✓ Gainage des câbles
  - ✓ Fibre optique
  - ✓ Cellules photovoltaïques
- **Automobiles**
  - ✓ Les segments
  - ✓ Les tiges de soupapes
  - ✓ Réservoirs d'essence
  - ✓ Pneu en caoutchouc
- **Ingénierie**
  - ✓ Les joints hydrauliques
  - ✓ Les brides de tubes
  - ✓ Les plaques de valve de compresseur
  - ✓ Verre de lunette
- **Aéronautique**
  - ✓ Les connecteurs
  - ✓ Les turbines
  - ✓ Les roulements à bille
  - ✓ Les bagues
- **Bâtiment - Travaux publics**
  - ✓ Peinture
  - ✓ Isolation
  - ✓ Revêtement de sol
  - ✓ Tuyauterie
- **L'emballage des produits alimentaires, cosmétiques et détergents**
  - ✓ Bouteille en plastique
  - ✓ Boite de conservation
  - ✓ Sacs poubelles
- **L'industrie de l'électroménager, du textile, et de l'agriculture [7].**

## I.2 Polyéthylène

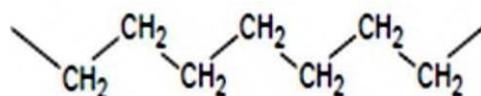
### I.2.1 Définition

Polyéthylène est un nom générique utilisé afin de décrire les polyoléfines issues de la polymérisation de l'éthylène. C'est translucide, facile à manier et résistant au froid.

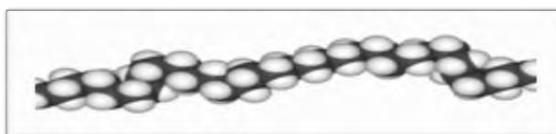
Le **PE** est thermoplastique. Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques. Plusieurs millions de tonnes de polyéthylène sont produites chaque année car c'est un matériau extrêmement polyvalent et important sur le plan économique et écologique. Grâce à sa structure chimique simple, le polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé. Au cours de ces dernières années, le recyclage des produits usés en PE a pris de plus en plus d'importance : 50% du PE constituant les sacs poubelle sont recyclés. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau [1]

### I.2.2 Structure du polyéthylène

Le polyéthylène est un matériau thermoplastique obtenu par polymérisation de l'éthylène (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) menant à des macromolécules composées par la répétition du motif  
 -(CH<sub>2</sub>)



**Figure I.5:** Représentation semi-développée de la macromolécule du polyéthylène



**Figure I.6 :** Schéma représentatif du polyéthylène.

### I.2.3 Polymérisation du polyéthylène

Mais selon différents modes de polymérisation on obtient plusieurs natures du polyéthylène par exemples :

- À partir d'une méthode à haute pression, on obtient un polymère très ramifié appelé le polyéthylène basse densité PEBD

- À l'inverse on utilise un procédé à basse pression pour obtenir le polyéthylène haute densité PEHD (linéaire donc plus compact que le précédent d'où son nom)

#### I.2.4 Types de polyéthylène

Il existe de nombreux types de polyéthylène et principalement trois grandes familles qui définissent en fonction de leur masse volumique :

##### I.2.4.1 Polyéthylène haut densité PEHD

Le PEHD est un thermoplastique blanc, moins translucide et plus rigide que le PEBD. La molécule de PEHD est un long assemblage linéaire de 500 à 1000 molécules de l'éthylène pratiquement sans ramifications qui se cristallise pour donner un solide rigide. Le polyéthylène haute densité (PEHD) est obtenu par la polymérisation cationique catalysée de l'éthylène. On utilise principalement les catalyseurs Ziegler-Natta et les catalyseurs à base de chrome (procédé de Philips) réduits et activés à haute température (400°C-800°C). Le PEHD, polyéthylène haute densité synthétisé sous faible pression par le procédé Ziegler (catalyse organométallique supportée base titane). Il se présente sous la forme d'une chaîne macromoléculaire linéaire régulière. Quelques irrégularités restent présentes (10% carbone) et se manifestent sous la forme de courtes ramifications. Sa masse volumique est la plus importante de tous les polyéthylènes et varie entre 0.955 et 0.970 g/cm<sup>3</sup> polyéthylènes haute densité ou PEHD : 0,95 g/cm<sup>3</sup> <math>\rho</math> < 0,97 g/cm<sup>3</sup>.

##### ➤ Application du PEHD

Bouteille de lait bidon d'huile, flacons détergents solides et liquides, bidons produits sanitaires, bidons produits chimiques, réservoirs à essence, réservoirs casiers seaux, ménager bouteilles...

##### ➤ Avantages du PEHD

- Mise en œuvre aisée, injection, extrusion, films.
- Excellentes propriétés d'isolation électrique.
- Grande inertie chimique.
- Qualité alimentaire.
- Résistance aux chocs
- Perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, mais aussi à l'air et aux hydrocarbures.

**➤ Inconvénients du PEHD**

- Sensible en présence d'oxygène.
- Sensible à la fissuration sous contrainte.
- Mauvaise tenue à la chaleur.
- Collage important.

**I.2.4.2 Polyéthylène basse densité PEBD**

Ce polymère thermoplastique de grande consommation est obtenu par polymérisation radicalaire de l'éthylène (éthane) en opérant sous haute pression à environ 200°C. Le PEBD est produits sous haute pression (82-276MPa) et sous haute température (132-332°C) avec un initiateur de radical libre (tel que le peroxydeset l'oxygène) et contient quelques longues et courtes branches. Dans le PEBD serait une chaine complètement ramifiée de groupement (-CH<sub>2</sub>-). Cette structure donnant ainsi une densité plus faible et une flexibilité plus grande à cellequand peut obtenir dans le cas de PEHD.

**➤ Application du PEBD**

Emballage industriel Emballage alimentaire Emballage produits hygiéniques Isolation câbles d'énergie et de télécommunications Gainage câbles téléphoniques Articles ménagers Bouchons/Couvercles Poignées Sacs cabas Transport de l'eau Emballage du lait Revêtement de pipe-line.

**➤ Avantages du PEBD**

- Solidité, résistances aux chocs et à l'abrasion, même à fríos
- Inerte chimique, et non toxique pour usage alimentaires
- Résistance à la corrosion et à l'oxydation
- Adaptabilité
- Sécurité

**➤ Inconvénients du PEBD**

- Pas résistant au feu
- Résistance à la température de l'eau limitée
- Rapide propagation de fissures
- Ne peut ni se coller ni se visser
- Les extrémités ont tendance à se fermer

### I.2.4.3 Polyéthylène basse densité linéaire

Le PEBDL obtenu par copolymérisation par catalyse Ziegler ou métallocène d'oléfine sous forte pression. La teneur en branchements latéraux ainsi que leur longueur sont contrôlées fixant le type et la concentration de monomères avant réaction.

#### **Remarque :**

Le PEBD est plus ramifié que le PEHD, ce qui signifie que les chaînes ne s'assemblent pas bien entre elles. Les forces intermoléculaires de type force de Van der Waals sont donc plus faibles. Il en résulte une plus faible densité, une plus grande malléabilité et une biodégradabilité plus rapide.

## I.2.5 Propriétés des polyéthylènes

### I.2.5.1 Propriétés rhéologiques

Le PE à l'état fondu présente un comportement viscoélastique non linéaire, cela signifie que sa viscosité diminue avec l'augmentation de la vitesse de cisaillement. Lors de l'extrusion, le PE est soumis à un gradient de vitesse de cisaillement, du cylindre de l'extrudeuse à la filière. Il est donc important de connaître la courbe de viscosité –vitesse de cisaillement sur l'étendue de la plage de cisaillement. La mesure de l'indice de fluidité à chaud « IF » permet d'estimer la viscosité à une vitesse de cisaillement donnée (un point de la courbe viscosité-vitesse de cisaillement). La variation de la viscosité avec la vitesse de cisaillement est d'autant plus importante que la distribution des masses moléculaire est large. Dû au comportement viscoélastique du PE, le jonc du polymère extrudé présente un diamètre supérieur à celui de la filière. Ce phénomène est appelé « gonflement du jonc à la sortie de la filière ». Lorsque les contraintes de cisaillement, induites durant la transformation du PE, dépassent un seuil critique, des anomalies d'écoulement peuvent être observées à la surface de l'extrudant telles que la rupture de la matière fondue (rupture de fusion) [14].

### I.2.5.2 Propriétés mécaniques

La rigidité et la dureté du PE augmentent avec la densité, et donc avec la cristallinité. La rigidité est mesurée au moyen de module d'élasticité qui varie d'environ 200 MPa (dans le cas du PEBD) à 1600 MPa (dans le cas du PEHD), alors que la dureté (Shor D) varie d'environ 40 (dans le cas du PEBD) à 60 (dans le cas du PEHD). Le PE est un thermoplastique résistant au choc et à l'impact, même à de basses températures ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ), dû à sa faible température de transition vitreuse «  $T_g$  » (jusqu'à  $-110^{\circ}\text{C}$ ).

Cette résistance est d'autant meilleure que :

- la masse molaire est plus élevée
- la cristallinité est plus faible
- la distribution des masses moléculaire est plus large (pour l'extrusion des tubes). La

surface paraffinique du PE lui assure un faible coefficient de friction. Sa résistance à l'abrasion augmente avec la masse moléculaire et la cristallinité. Elle est remarquable pour les PEHD de masse moléculaire très élevée [14].

### **I.2.5.3 Propriétés thermiques**

La température et l'enthalpie de fusion du PE sont d'autant plus élevées que le taux de cristallinité l'est. Le point de fusion du PEBD se situe entre 105 et 115 °C, celui du PEBDL entre 115 et 130 °C et celui du PEMD et du PEHD entre 120 et 136 °C.

De même, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique linéaire sont fonction du taux de cristallinité ; ils sont plus élevés pour les homopolymères que pour les copolymères [15].

### **I.2.5.4 Propriétés chimiques**

Le comportement du PE vis-à-vis des agents chimiques est déterminé par sa structure paraffinique apolaire, par son caractère cristallin et sa très haute masse moléculaire. Il résiste bien aux acides forts (les acides inorganiques) et les bases fortes (exemple : les solutions salines), mais il est attaqué par les acides oxydants (exemple : les acides nitriques concentrés). Le PE se gonfle dans les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques et dans leurs dérivées halogénées, dans lesquels il se dissout à température élevée, ce qui explique sa grande perméabilité aux vapeurs de ces produits. Il est également peu perméable à la vapeur d'eau, à cause de son caractère hydrophobe (l'absorption d'eau est d'environ 0,01 % et 0,5 % pour le PE contenant du noir de carbone).

Après une exposition prolongée à certains liquides polaires, le PE se fissurer et se fragiliser sous l'effet des contraintes internes ou externes. Ce phénomène apparaît, au cours du temps, d'autant plus vite que la température est plus élevée. Les milieux qui provoquent cette fissuration et qui sont particulièrement agressifs sont surtout les agents tensioactifs (détergents, émulsifiants, alcools, huiles de silicone, etc...). La résistance à la fissuration sous contraintes environnementales (Environmental Stress Cracking Resistance « ESCR ») augmente lorsque la masse moléculaire augmente et le taux de cristallinité diminue [11].

### **I.2.5.5 Propriétés électriques**

Le PE présente d'excellentes propriétés d'isolation électrique quelles que soient sa masse moléculaire et sa cristallinité. Sa rigidité diélectrique élevée, sa faible permittivité relative et son faible facteur de dissipation diélectrique font de lui un matériau de choix en isolation électrique. Le PE a la tendance à accumuler les charges électriques en surface, les pièces ainsi chargées risquent d'attirer les poussières. L'addition des agents antistatiques permet de diminuer cette attraction [14].

### **I.2.6 Procédé de mise en forme**

La diversité des polymères se traduit par une diversité de procédés de mise en forme. Les propriétés différentes des matériaux et la diversité des résultats escomptés induisent une multitude de méthodes de mise en œuvre. Commençons par détailler la mise en forme des thermoplastiques [17].

#### **I.2.6.1 Extrusion**

##### **A) Définition**

La matière première plastique est introduite dans un cylindre chauffé et travaillé et poussé par une tige filetée. En bout de cylindre, le plastique passe par une section profilée qui détermine sa forme finale. Cette machine permet de former des pièces de grande longueur à redécouper comme des tuyaux, gouttières, câblages etc.

##### **B) Les phases d'extrusion**

Dans l'extrudeuse, la matière est ajoutée dans la trémie sous forme de poudre ou de granules. La trémie alimente en continu le cylindre chauffé contenant une vis rotative. La vis assure à la fois le chauffage, le malaxage, la mise en pression et le dosage du polymère qui est refoulé sous pression dans la tête d'extrusion. La tête contient une filière qui donne la forme approximative de la pièce dont le polymère est ensuite refroidi à l'eau ou à l'air pour prendre sa forme finale. Les dispositifs de tirage entraînent le polymère qui se refroidit, soit pour l'enrouler en bobines soit pour permettre de la couper à la longueur [18].

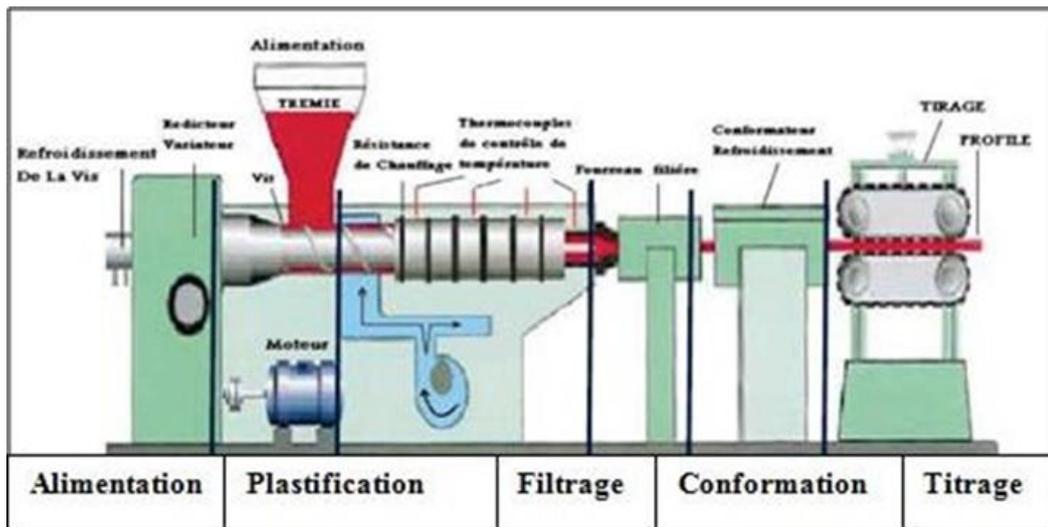


Figure I.7 : Représentative de la machine d'extrusion.

### I.2.6.2 Injection

#### A. Définition

L'injection, procédé discontinu, permet d'obtenir les objets les plus variés aux formes les plus simple comme les plus complexes Le procédé est comparable à celui de l'extrusion, le plastique est chauffé et poussé dans un cylindre pourvu d'une vis qui conduit une certaine quantité de matière dans un moule en sortie de cylindre. Les pièces sont ainsi moulées en une seule opération.

#### B. Les Presses d'injection plastique

Une presse d'injection des thermoplastiques est composée par les ensembles suivants :

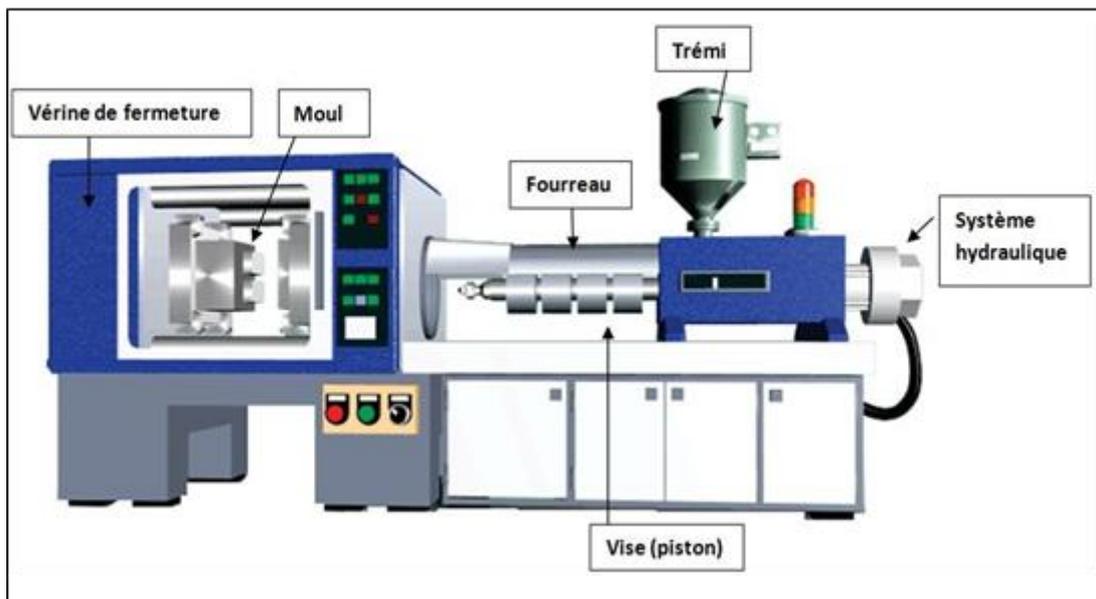
- Ensemble d'injection et de plastification (trémie, fourreau, vis).
- Ensemble de fermeture (moule, vérin de fermeture).
- Ensemble hydraulique (système hydraulique).
- La partie commande

Une machine est caractérisée par :

- La force de fermeture qui est comprise entre 50 tonnes et 3000 tonnes
- La pression sur la matière injectée qui peut atteindre 2000 bars
- La capacité d'injection (en  $\text{cm}^3$  ou en kg)

Suivant le sens d'injection on distingue :

- Les presses verticales (faible capacité)
- Les presses horizontales (machines plus fréquentes) [19].



**Figure I.8** : Représentation de la machine d'injection

### C) Les phases d'injection

**1.Fermeture du moule** : Ce mouvement commence avec une vitesse lente puis rapide, et se termine de nouveau lentement pour éviter le choc entre les plans de joint et pour donner le temps d'agir au système de sécurité.

**2.Verrouillage** : Si le système de sécurité n'a décelé aucune anomalie, la commande peut appliquer la force de fermeture. Selon le système de fermeture, la force est créée par le produit de la surface et de la pression, ou par la mise en contrainte des colonnes.

**3.Injection** : C'est la phase de remplissage de l'empreinte avec la matière plastifiée et le maintien sous pression pour compenser les retraits.

**4.Refroidissement** : Il a lieu le temps nécessaire pour que le plastique se solidifie dans le moule. Dans la pratique, on plastifie souvent, pendant ce temps, la matière pour le prochain cycle. De plus, si nécessaire au cours de ce temps, on peut séparer la buse du cylindre d'injection et le moule.

**5.Ouverture du moule** : Le plastique étant suffisamment refroidi pour pouvoir être démoulé, la partie mobile du moule s'écarte de la partie fixe [19].

**6.Démoulage (éjection)** : Le moule occupe la position de fin d'ouverture qui assure à la pièce l'espace libre pour être éjectée.

### I.3 Recyclage de polyéthylène

#### - 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 [20].

#### I.3.1 Introduction

Les matières plastiques ont un effet sur l'environnement durant toute l'étape de leurs vies, comme matière première de mise en œuvre, comme produit manufacturé, comme produit recyclé ou manufacturé et majoritairement comme déchet [21].

Certaines mesures réglementaires sont actuellement prises pour encourager et d'autres pour imposer le recyclage en vue de conserver les ressources naturelles pour les générations futures dans des perspectives de développement durable. D'où la nécessité de trouver des techniques non polluantes de recyclage de ces matériaux polymères [22].

Les thermoplastiques se distinguent par leurs propriétés de recyclage. Ils ont la possibilité de conserver leurs propriétés plastiques contrairement aux thermodurcissables et les élastomères [21].

La figure 10 signifie que le matériau concerné à la propriété de recyclage, ce signe est appelé sigle Ruban de Möbius [23].



**Figure I.9 :** Signe de la propriété de recyclage.

Chacune de ces trois flèches se trouvent dans cette figure ont des significations [24] :

- La première : symbolise la collecte des matériaux usés.
- La seconde : la réutilisation et la production de nouveaux produits grâce aux rebuts.
- La troisième : reconnaît le rôle important du consommateur qui réclame de plus en plus des produits recyclés.

Le recyclage des plastiques est un moyen de protection de l'environnement, et ce par la réduction de déchets. Etant un dérivé du pétrole, la réduction du plastique et ses déchets représentent un intérêt environnemental et économique, sachant que le

recyclage d'une tonne de plastique équivaut à une économie de 700 Kg de pétrole brut [25].

Les produits fabriqués à base de plastiques recyclés couvrent plusieurs domaines : des tuyaux de drainage, des casques de vélo, il existe même des ordinateurs en plastique recyclé [25].

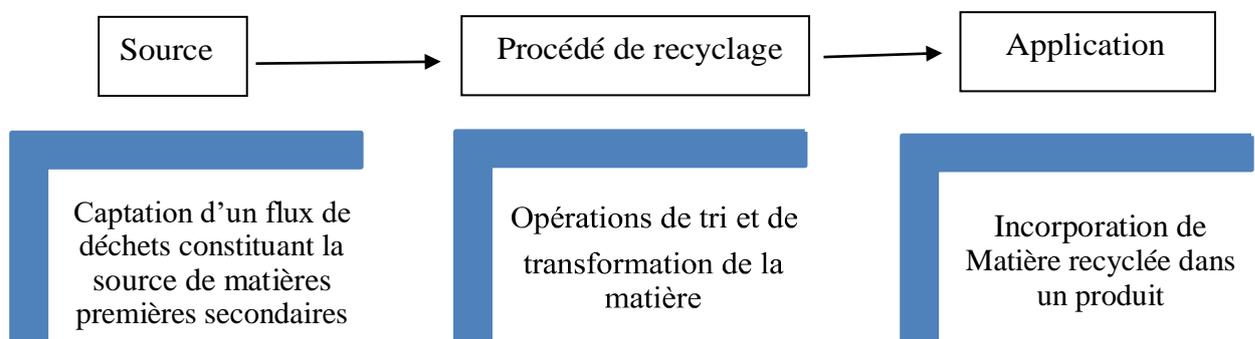
### I.3.2 Définition

Le recyclage est défini comme "toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage". Le recyclage est donc à distinguer [26] :

-Du réemploi, qui consiste à utiliser des produits ou des composants de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus, sans étape de déformation de la matière ;

-De la valorisation énergétique de la matière, qui permet d'utiliser les déchets pour la production d'énergie en remplacement d'autres sources d'énergie.

Toute activité de recyclage est définie par une filière. D'une manière simplifiée, les trois éléments principaux qui caractérisent une filière sont décrits à la Figure (10). Ainsi, il ne peut y avoir recyclage que s'il existe une source de déchets, un procédé de recyclage et une application pratique [26].



**Figure I.10** : Définition d'une filière de recyclage selon un schéma simplifié

### I.3.3 Différentes méthodes de recyclage

#### \_Comment on recycle ?

Recycler : il faut d'abord collecter et trier les déchets en fonction de leur matière : carton, papier, verre, plastique... ; 1, collecte des déchets (tri sélectif) puis envoi dans un centre de tri 2, une fois triés, les déchets sont pris en charge par des usines de transformation. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et sortent de la chaîne sous forme de matière prête à l'emploi (Figure 11) [27].

Les méthodes de recyclage ou valorisation des déchets plastiques peuvent être divisées en quatre catégories :

#### I.3.3.1 Réutilisation

Le produit sera utilisé tel quel dans la même ou différente application.

##### \_Recyclage primaire ou le recyclage mécanique

Il désigne la mise en œuvre du matériau dans la même forme et de même valeur industrielle. Cela concerne les déchets d'usine lors de la fabrication des produits et aussi un autre recyclage primaire dit 'recyclage en cercle fermé' dans lequel un même produit est collecté et recyclé dans le même produit tel quel ou après modification chimique, c'est l'exemple des caisses de batterie polypropylène très utilisé ces décennies.

Le recyclage primaire apparaît de loin comme la meilleure solution pour le traitement des déchets solides puisqu'il n'est pas de nature destructive [28].

##### \_Recyclage secondaire

Il désigne la réutilisation du matériau d'un produit de moindre valeur industrielle. Les deux exemples les plus connus étant la fabrication des sacs poubelles et des poubelles à base de matériau recyclés [28].

##### \_Recyclage tertiaire

Le recyclage tertiaire est un recyclage chimique. Il consiste en la décomposition chimique vers les éléments basiques (son monomère, oligomère ou combustible), réutilisables dans les raffineries, la pétrochimie et la chimie. Cela peut aboutir à nouvelles matières plastiques ou du combustible.

On distingue trois méthodes [29] :

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

- **L'hydrogénation** : c'est le traitement par l'hydrogène et la chaleur des macromolécules qui sont craquées en huiles carbonées 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 utilisable dans la production de méthanol, d'ammoniac ou comme agent réducteur dans la production d'acier.

**\_Recyclage quaternaire**

Appelé aussi la valorisation énergétique, ce procédé de recyclage des déchets plastiques désigne l'incinération (combustion totale) des matériaux pour la production de chaleur ou électricité ou sans récupération d'énergie. Les déchets plastiques constituent un apport calorifique non négligeable qui peut être valorisé par récupération de la chaleur produite utilisable sous forme d'énergie électrique [28].

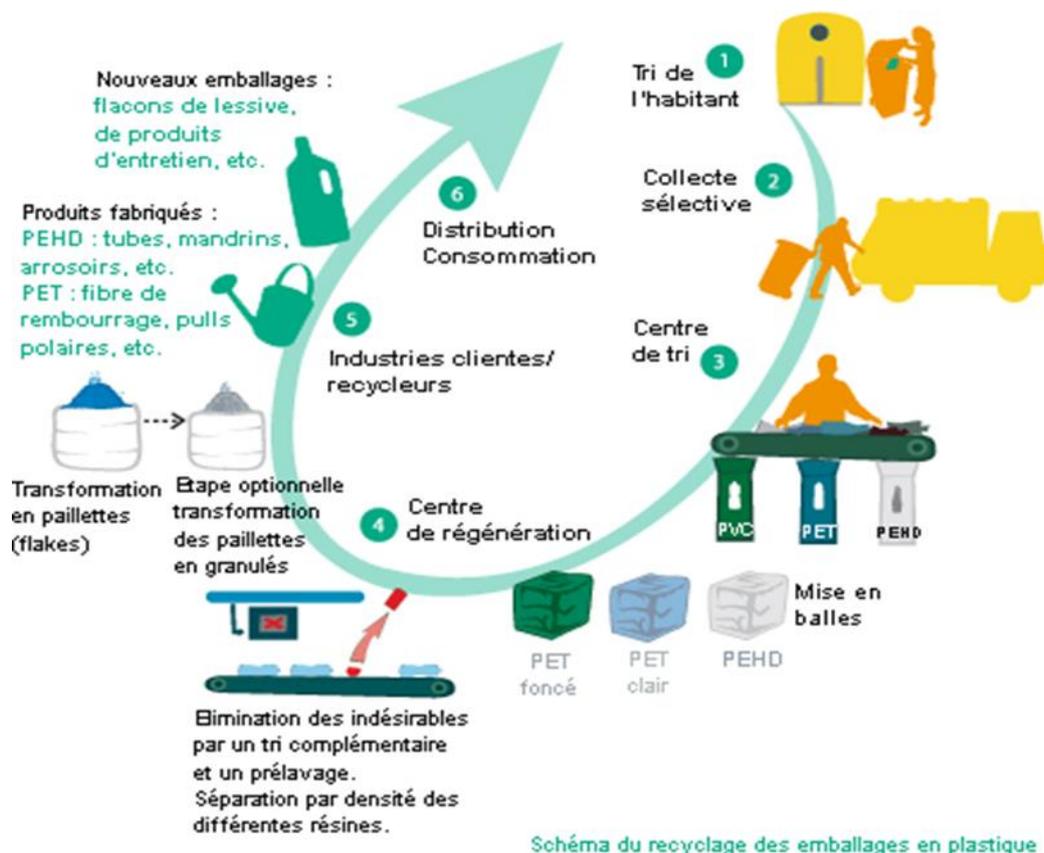


Figure I.11 : Schéma du recyclage des emballages en plastique

### I.3.4 Source des déchets plastiques

Il existe deux principales sources de déchet plastiques :

- Les déchets issus de sous-produits industriels qui sont souvent des résidus de leur mise en œuvre. Leur composition est connue du fabricant donc facile à collecter car les stocks sont homogènes, non pollués et facilement identifiables. Ces déchets peuvent être directement recyclés par le producteur.
- Les déchets de post consommation. Ils sont principalement collectés dans ordures ménagères et industrielles non-plasturgistes. Ces matériaux sont généralement pollués mélangés et incompatibles entre eux, ce qui rend difficile leur simple mélange ou compactage pour en faire de nouveaux produits. Ce problème trouvera certainement sa solution dans les nouvelles techniques d'identification des déchets par soit les symboles frappés sur produits ou par code barre collés ou imprimés sur produits [28].

### I.3.5 Processus de recyclage du plastique

Le recyclage du plastique peut être divisé en plusieurs phases :

#### I.3.5.1 Réception des matières premières

Par matières premières est considéré tout matériau en plastique qui peut être recyclé (PEHD, PEBD, PP, PET, PS, ABS...) dans les usines. Le matériau doit être pré-trié selon la qualité et peut provenir de déchets industriels, agricoles et de post-consommation. Ces matériaux peuvent arriver dans des boîtes, des sacs, des conteneurs (en vrac) ou en balles [30].

#### I.3.5.2 Processus de sélection

Une fois réceptionnée, notre matière première passe par un rigoureux processus de sélection au cours duquel sont effectuées les étapes suivantes [30] :

- **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 nous aide 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 [30].

### ➤ Séparation des couleurs du plastique 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 [30].

#### I.3.5.3 Le déchiquetage

Les pièces sont broyées et déchiquetées dans des broyeurs de grande capacité productive grâce à un ensemble de lames rotatives, les réduisant en petits morceaux selon le diamètre du tamis. Avec le broyage, nous obtenons une granulométrie homogène du plastique, facilitant ainsi le travail ultérieur du transport, du lavage et du séchage [30].

#### I.3.5.4 Lavage

Une fois déchiqueté, le plastique est introduit dans des laveuses industrielles. Des pales remuent l'eau afin que le plastique reste totalement immergé 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 [30].

#### I.3.5.5 Séchage et essorage

Les matières 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 [30].

#### I.3.5.6 Homogénéisation

Une fois déchiquetée, 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 [30].

#### I.3.5.7 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. C'est à ce moment que l'on ajoute la couleur nécessaire demandée par nos clients pour répondre à leurs besoins [30].

#### I.3.5.8 Filtrage

Avec la texture et la fluidité nécessaire, le plastique subit encore un processus de filtrage (un système de mailles très fines qui retient toutes les impuretés qui auraient pu rester collées à la matière lors des processus antérieurs : résidus de carton, petits

morceaux de bois, de tissu ou d'autres matières incompatibles. Lorsque ces mailles se salissent, elles sont remplacées automatiquement par d'autres mailles propres) [30].

#### **I.3.5.9 Granulé**

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 le grain ou le granulé adéquat demandé par nos clients, adapté à leurs besoins lors de l'achat de granulés [30].

#### **I.3.5.10 Analyse et contrôle de la qualité**

La production de granulés est divisée en lots. Chaque lot est analysé au laboratoire, les caractéristiques telles que la fluidité, la densité, les cendres... Cela permet d'assurer une qualité homogène de nos produits [30].

#### **I.3.5.11 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 (Big Bag) ou des sacs de 25 kg [30].

#### **I.3.5.12 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. La capacité de stockage de produit fini est supérieure à 10 000 m<sup>2</sup> et cela permet d'offrir le traitement le plus approprié à la large gamme de produits fabriqués dans ces usines [30].

#### **I.3.5.13 Logistique**

Le matériau est prêt à être retiré par le client lui-même ou bien pour une livraison à destination grâce à la flotte de véhicules industriels dont la zone de couverture est nationale [30].

### **I.3.6 Propriétés affectées lors du recyclage**

D'une manière générale, les propriétés de la matière peuvent être affectées lors du recyclage en raison de [26] :

- Soit le comportement intrinsèque du matériau lors de sa mise en œuvre (par exemple : dégradation de plastiques) ;

- Soit la présence de contaminants dans la matière recyclée ; ces contaminants peuvent provenir :
  - De la composition fixée lors de la phase de production du matériau (exemple : revêtement).
  - De la phase d'utilisation (exemple : saletés déposées sur des conteneurs à déchets).
  - ✓ De la filière de gestion des déchets, (exemple : matériaux différents collectés dans le même flux et non triés).

Le recyclage peut affecter les propriétés suivantes d'un matériau :

- ✓ Mécaniques
- ✓ Rhéologiques
- ✓ Couleur, aspect
- ✓ Odeur
- ✓ Contact alimentaire et aspects sanitaires

### **I.3.7 Les applications de recyclage**

Le recyclage permet d'utiliser des matières récupérées plutôt que des matières vierges dans la fabrication de nouveaux produits. Le recyclage est différent du réemploi car il modifie l'objet initial. Cette dernière permet de limiter l'utilisation des ressources naturelles et la consommation d'énergie et d'eau liée à la fabrication de produits à partir de matières vierges.

### **I.3.8 Avantages du recyclage**

Les experts ont identifié deux avantages majeurs attribués au recyclage [31] :

- ✓ La réduction de l'espace de décharge,
- ✓ Diminution des émissions des gaz des décharges et des incinérations

### **Impacts du recyclage sur l'environnement**

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières (Protection des richesses naturelles) [32].

Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- Chaque tonne de matière plastique recyclée permet d'économiser 700 kg de pétrole brut

# **Chapitre II**

## **Matériels et méthodes**

## Chapitre II

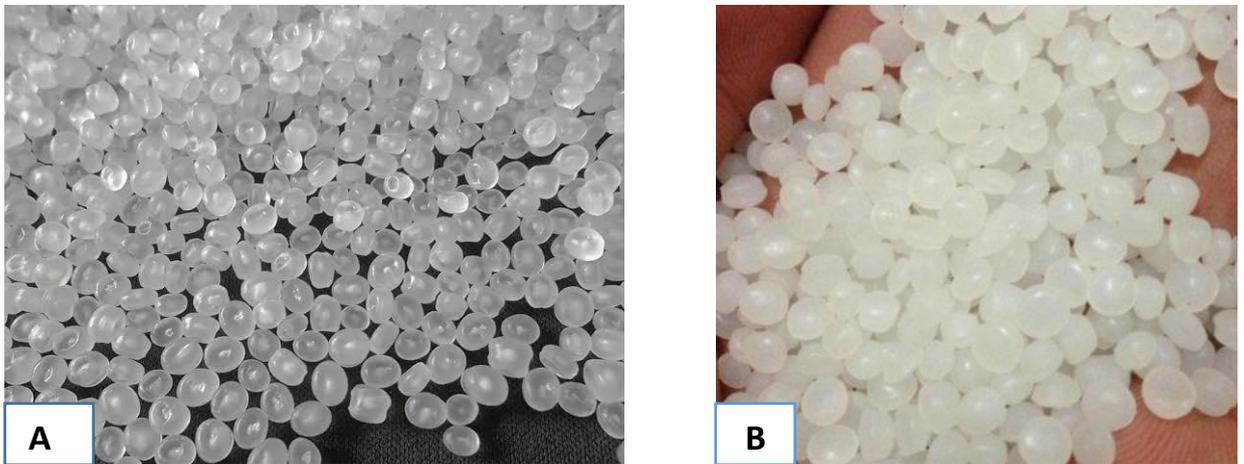
### Matériels et méthodes

Ce chapitre a pour objectif de présenter :

- Préparation des échantillons.
- Les techniques de mise en œuvre et de caractérisation de PEBD

#### II.1 Polymère de l'étude

Les deux polymères utilisés dans les différentes formulations fournis par l'entreprise MERIPLAST, polyéthylène basse densité vierge (PEBD) et le polyéthylène basse densité recyclé. Ces polymères se présente comme montre la figure. Sous forme granulé blanc.



**Figure II. 1** : les deux polymères utilisés dans l'étude

**A : PEBD vierge, B : PEBD recyclé**

Le Polyéthylène basse densité (PEBD) utilisé dans cette étude est un produit commercialisé sous le nom « Lupolen 2421F ». Il se caractérise par une bonne résistance à l'état fondu conduisant à une bonne stabilité des bulles lors de l'extrusion des films soufflé. Il contient un antioxydant est livré sous forme de granulé. Le tableau résume quelques propriétés de PEBD.

**Tableau II.1** : les propriétés de polyéthylène

Propriétés	Valeur
Densité (g /cm <sup>3</sup> )	0,923
Indice de fluidité(g/10min)	0,75
Module d'Young (MPa)	260
Limite d'élasticité (MPa)	12
Point de ramollissement Vicat (°C)	96
Température de fusion (°C)	111

## II.2 Mise en œuvre et caractérisation

## METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

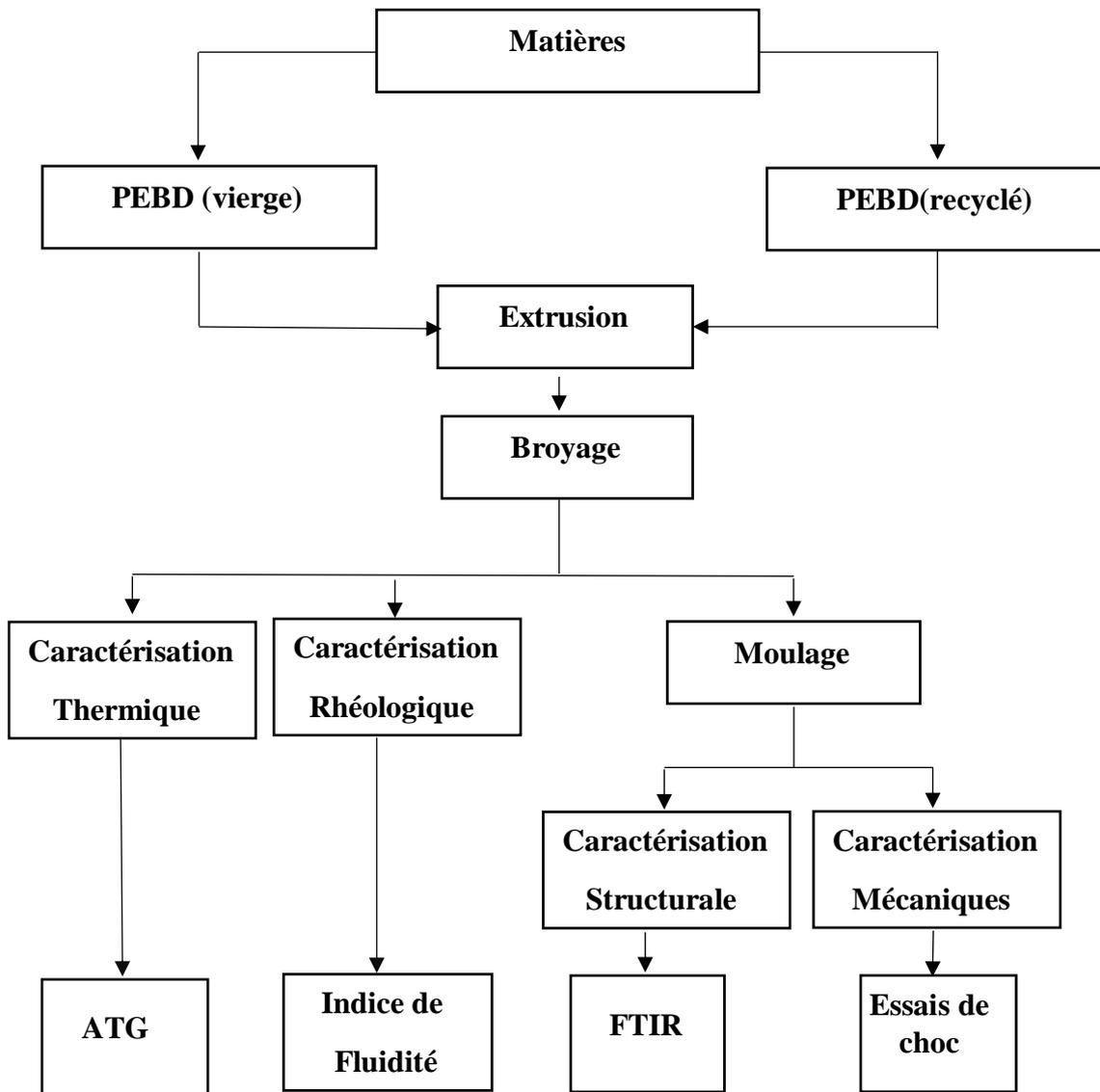


Figure II.2 : Organigramme de synthèse expérimentale

### II.3 Mise en forme

#### II.3.1 Préparation des formulations

##### Mélanges (PE vierge / PE recyclé)

Dans cette étude tous les formulations sont réalisées au niveau de l'université de Ferhat Abbas-Sétif. La préparation des mélanges à base de PEBD vierge et PEBD recyclé ont été réalisée dans une extrudeuse mono-vis. La vitesse de rotation est de 20tr/min avec les températures des trois zones sont les suivantes :

- La température de 1er zone de l'extrudeuse a été réglée à 145C°
- La température de 2ème zone de l'extrudeuse a été réglée à 180C°
- La température de 3ème zone de l'extrudeuse a été réglée à 200C°

**Tableau II.2** : les formulations utiliser dans l'étude

	01	02	03	04	05
PEBD vierge(%)	100	0	50	80	20
PEBD recyclé(%)	0	100	50	20	80



**Figure II.3** : extrudeuse mono-vis

### Préparation des films

Les mélanges préalablement préparés ont été broyé puis transformés en films fins utilisés pour le test d'analyse structurale la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), nous avons utilisé une presse Hydraulique manuelle, sous les conditions de travail suivantes :

- Température des plateaux : 200°C
- Temps de préchauffage : 4 min
- Temps de dégazage : 2min
- Temps de compression : 6min
- Refroidissement à l'air libre.



**Figure II.4** : presse Hydraulique manuelle

Pour les tests d'analyse mécanique (essai de choc), nous avons utilisé la presse hydraulique du type Davenport sous les conditions de travail suivantes :

- Température des plateaux : 200°C
- Pression 200 kg / cm<sup>2</sup>
- Temps de préchauffage : 7 min
- Temps de dégazage : 2 min
- Temps de compression : 5 min
- Refroidissement à l'air libre



**Figure II.5** : La presse chauffante

## II.4 Techniques de caractérisation

### II.4.1 Spectroscopie infrarouge a transformée de Fourier (IRTF)

La spectroscopie IRTF est une technique d'analyse utilisée pour l'identification des groupements fonctionnels qui apparaissent sous forme de bande d'absorption.

Les spectres IRTF ont été enregistrés sur un spectrophotomètre IRTF (mode ATR) de modèle **Perkin Elmer Spectrum one**, pilotés par un ordinateur muni d'un logiciel de traitement avec une résolution de  $8\text{ cm}^{-1}$ , dans la région  $4000\text{ cm}^{-1}$  à  $400\text{ cm}^{-1}$ . Le traitement de ces spectres a été réalisé à l'aide du logiciel ORIGIN 8.



**Figure II.6** : Spectrophotomètre IRTF

### II.4.2 Analyse thermogravimétrique (ATG)

La thermogravimétrie est une technique largement utilisée pour étudier la stabilité thermique de l'échantillon. Elle consiste à suivre dans le temps la perte de masse que subit l'échantillon en fonction de la température jusqu'à sa dégradation totale, sous une atmosphère inerte ou oxydante. Les analyses thermogravimétriques ont été réalisées sur un appareil TGA Q 500. Une masse de 10 à 20 mg est introduite dans un creuset en aluminium. La perte de masse est déterminée sous courant d'azote ( $N_2$ ), dans un intervalle de température de 30 à  $580\text{ °C}$  avec une vitesse de chauffe de  $10\text{ °C/min}$ . L'aspect de l'échantillon analysé par IR et ATG est présenté sur la figure suivante :



**Figure II.7 :** Appareil de l'ATG

### II.4.3 Indice de fluidité « IF »

L'indice de fluidité à chaud et en masse « IF » est la quantité de matière traversant une filière normalisée sous l'action d'une charge spécifique pendant un temps donné et à une température fixée. L'IF est donné, en gramme par 10 minutes, par la formule suivante :

$$\text{IF (T, M)} = (\text{S} \times \text{m}) / \text{t} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

Où :

T : température d'essai en degrés Celsius

M<sub>mon</sub>: charge nominale en kilogrammes

m: masse moyenne des extrudât en grammes

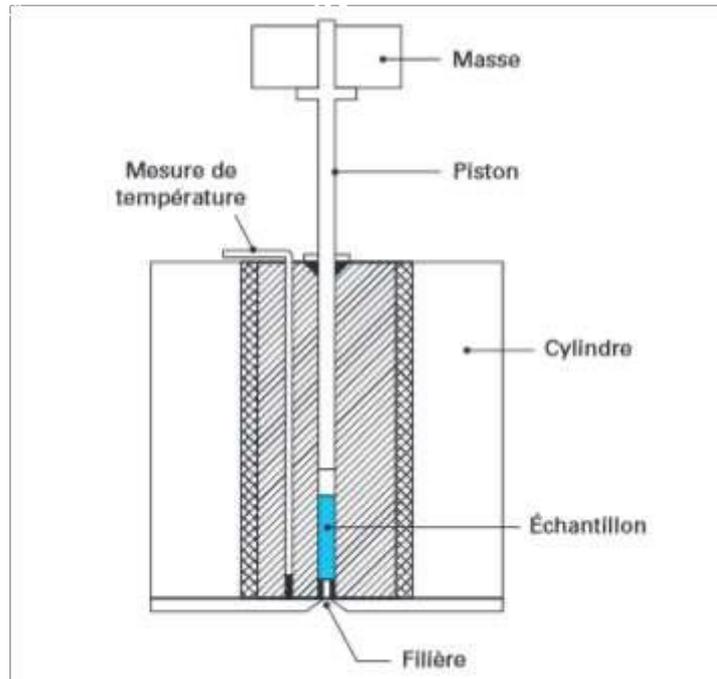
t : intervalle de temps entre deux coupes en secondes

600 : facteur utilisé pour convertir les grammes par seconde en gramme par 10min

- La charge utilisée pour cette détermination est de 2,16kg
- Les résultats sont exprimés par la moyenne arithmétique des trois mesures

**A) Appareillage :**

L'appareillage se compose principalement d'un viscosimètre à filière thermo régulé. La matière thermoplastique contenue dans un réservoir cylindrique régulé thermiquement est extrudée à travers une filière sous la pression exercée par un piston chargé (Figure I) .



**Figure II.8** : Schéma de principe de mesure d'indice de fluidité

**B) Mode opératoire**

- Positionner la filière à l'intérieur de l'appareil
- Attendre que l'appareil ait atteint la température de consigne
- Peser 3 à 8g de granulés (étuvage éventuel)
- Introduire les quelques grammes de matière dans le cylindre chauffé
- Laisser la matière dans le cylindre pendant 4 minutes.
- Comprimer la matière à l'aide du piston (chargé ou non, selon le matériau).
- Poser la masse normalisée
- Relâcher le piston.
- Couper les extrudés.
- Peser les extrudés.

Le test a été effectué en utilisant l'appareil MELT INDEXER modèle 5. Environ 5 g de l'échantillon caractérisé sont introduits dans le réservoir possédant un diamètre de quelques millimètres. Les conditions de travail utilisées étaient 200 °C, 2.16 kg, en utilisant une filière de 2.09 mm de diamètre et 8 mm de longueur.

Pour calculer l'indice de fluidité (IF), l'équation été utilisée.

#### **II.4.4 Tests mécaniques**

##### **II.4.4.1 Détermination de la résistance au choc**

Essai de choc est l'énergie nécessaire pour casser une éprouvette préalablement entaillée ou non par un seul choc. La résilience est définie par la lettre K (Joules/cm<sup>2</sup>), l'essai se réalise sur une machine appelée mouton-pendule rotatif. On mesure la résistance au choc du matériau.

##### **A) Principe de l'essai de choc**

- Au départ, le pendule est placé à une hauteur
- Le pendule est libéré, ce qui grâce à son propre poids, provoquera un choc. L'éprouvette encaissera une partie du choc, mais elle sera brisée.
- Le pendule continuera dans son élan jusqu'à une certaine hauteur, ce qui permettra de mesurer l'énergie absorbée par l'éprouvette.
- L'énergie absorbée est calculée.

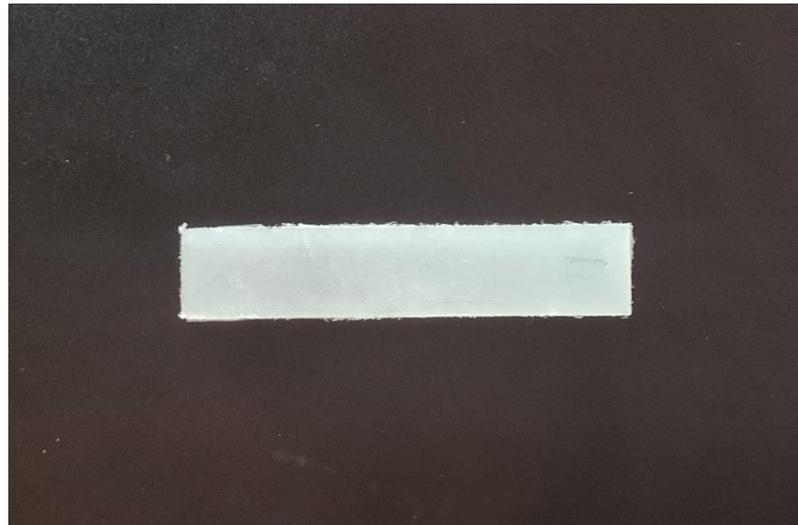


Figure II.9 : Epreuve utilisée dans l'essai de choc

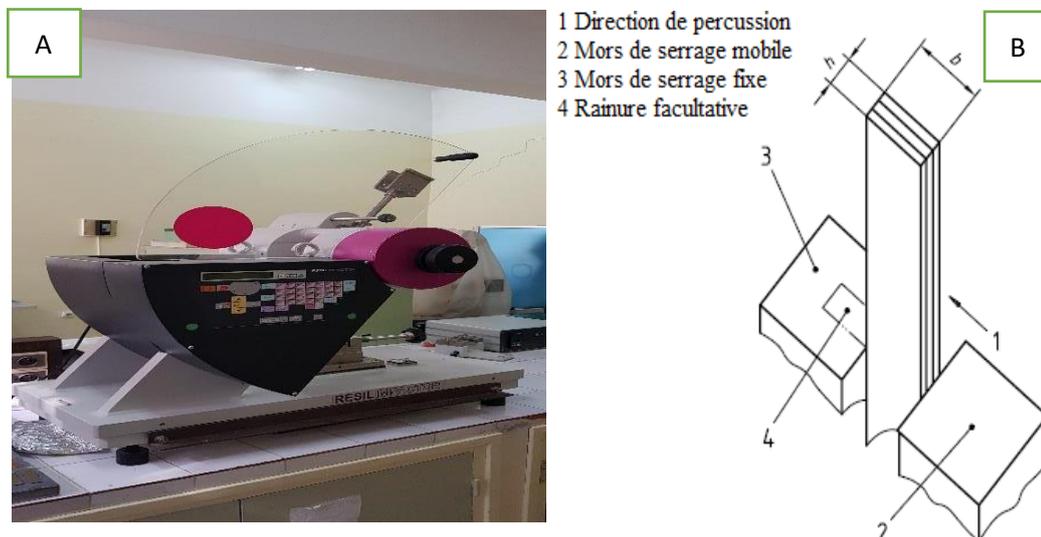


Figure II.10 A : appareil de marque Ceast, type Resil Impactor,  
 B : Schéma des désignations décrivant la direction de percussion.

La résistance au choc ou bien la résilience d'éprouvettes non entaillées est exprimée par la relation :

$$a_n = (A_n / b * h) \times 100 \text{ (KJ / m}^2\text{) ..... II.2}$$

$a_n$  : Résilience de l'éprouvette sans entaille

$A_n$  : Energie cinétique pour rompre l'éprouvette sans entaille en joules

$b$  : Largeur de l'éprouvette en millimètres

$h$  : Épaisseur de l'éprouvette en millimètres

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussion**

## Chapitre III

### Résultats et discussion

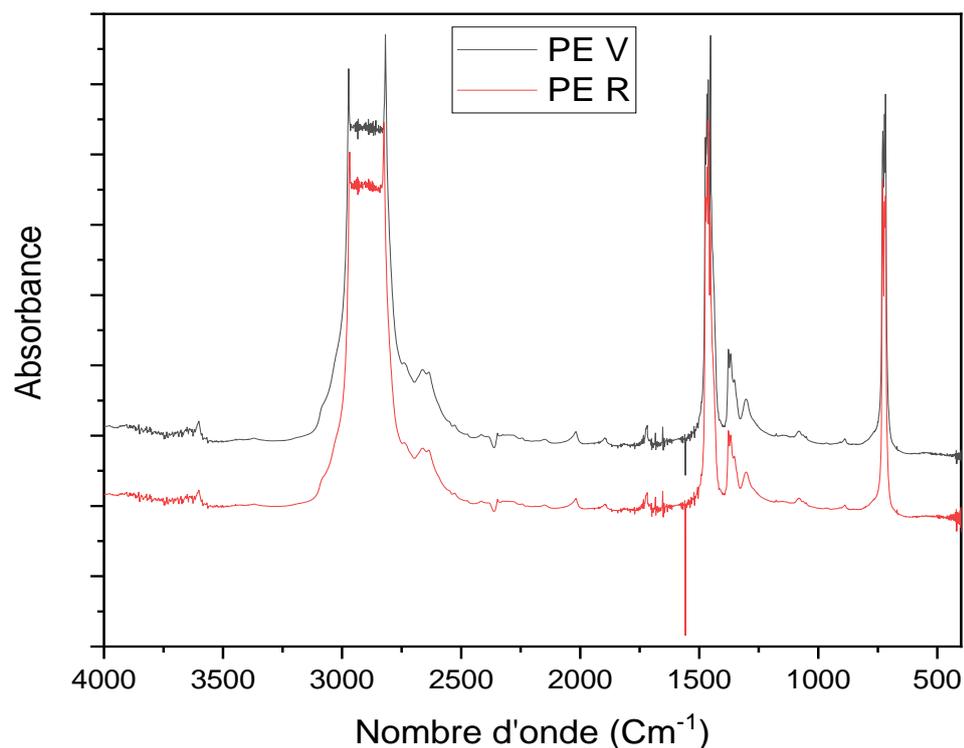
Au terme de la partie précédente relative aux techniques et caractérisations des différents des mélanges de PEBD vierge et recyclé, il nous paraît important de rappeler et de mettre en relief l'essentiel des résultats obtenus, et qui sont présentés et discutés tout en évoluant les caractéristiques structurales, thermiques, mécaniques et rhéologiques en fonction de la fraction PEBD recyclé.

#### III.1 Caractérisation par spectroscopie infra-Rouge IR

##### ➤ IRTF de PE vierge et PE recyclé

La spectroscopie Infra-Rouge à transformée de Fourier est une technique qui permet de connaître les modifications apportées au polyéthylène. Les spectre (IRTF) ont été réalisées sur un spectrophotomètre de type « **Perkin Elmer Spectrum one** » travaillant en absorbance dans un domaine de longueur d'onde s'étalent de 4000 à 400  $\text{cm}^{-1}$ .

La Figure III.1 illustre le spectre IRTF de PE vierge et le PE recyclé. Les bandes caractéristiques de chaque échantillon ainsi que le nombre d'ondes et les groupements correspondant sont mentionnés dans le Tableau III.1



**Figure III.1** : spectre IRTF de PE vierge et PE recycle

**Tableau III.1** : Bandes caractéristique des constituants des groupements fonctionnels des polymères utilisés

Fréquence de vibration $\text{Cm}^{-1}$	Vibration caractéristique (bande)
3000 à 2800	C-H
1500 à 1400	C-H
750 à 700	C-H

A partir de spectre FTIR de PEBD, on observe les bandes caractéristiques suivantes :

- Dans la zone  $2800 - 3000 \text{ Cm}^{-1}$ , la présence du large pic qui caractérise la vibration d'élongation (C-H) du polyéthylène.
- Le pic qui se trouve vers  $1452 \text{ Cm}^{-1}$  représentant la vibration de déformation (C-H) pour le groupement ( $\text{CH}_2$ ) du polyéthylène
- La zone  $700-750 \text{ Cm}^{-1}$  représentant la vibration de rotation ( $\text{CH}_2$ ) du polyéthylène.

Le spectre de PE vierge et le spectre de PE recyclé présentent les mêmes pics caractéristiques d'absorption d'intensités presque similaires.

Ces résultats montrent qu'il n'y a pas de changement notable dans la structure chimique des chaînes macromoléculaire du polyéthylène.

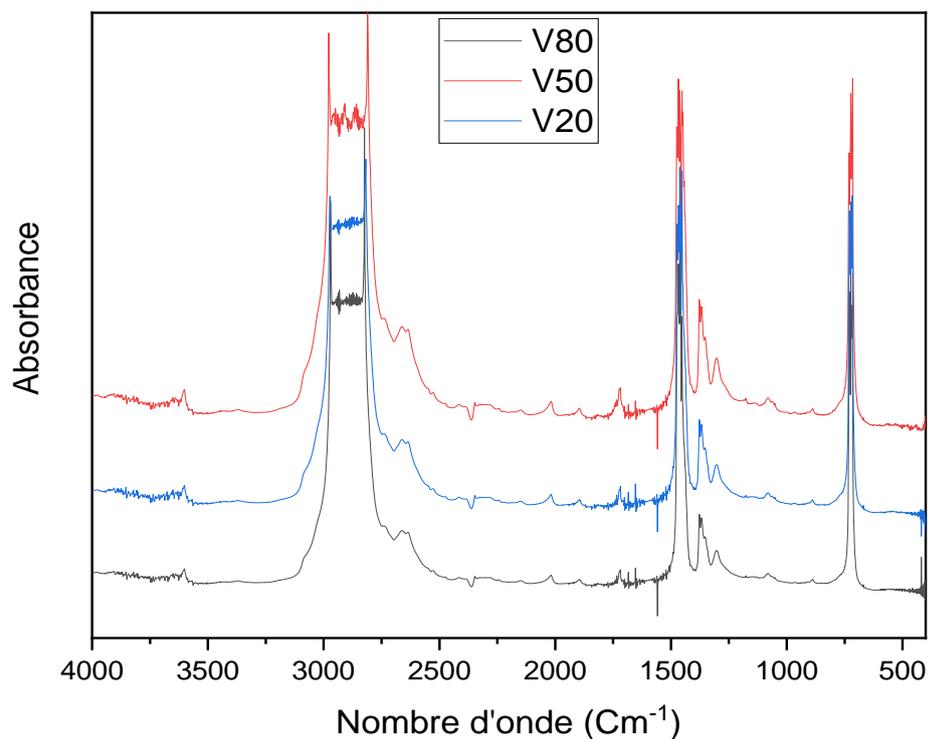
➤ **Influence du taux de PE recyclé :**

La Figure III.2 présentent les spectres infrarouges enregistrés pour les différents mélanges (vierge /recyclé).

L'addition du PE recyclé à la matière vierge à base du PEBD, même à des taux élevés (jusqu'à 80%), n'affecte pas les propriétés structurales de la matière vierge.

En effet, les pics caractéristiques du polymère vierge sont à la même position dans tous les mélanges à base de PE, indiquant qu'aucun changement dans la structure chimique de n'a lieu au cours de la première extrusion.

Ce résultat peut être expliqué par la stabilité aux forces mécanique et à l'action de la chaleur pendant la mise en œuvre.



**Figure III.2:** Spectres IR des mélanges vierge/recyclé

### III.2 Indice de fluidité (IF)

Pour étudier l'influence de la matière recyclée sur la transformabilité de PEBD vierge, l'indice de fluidité a été mesuré.

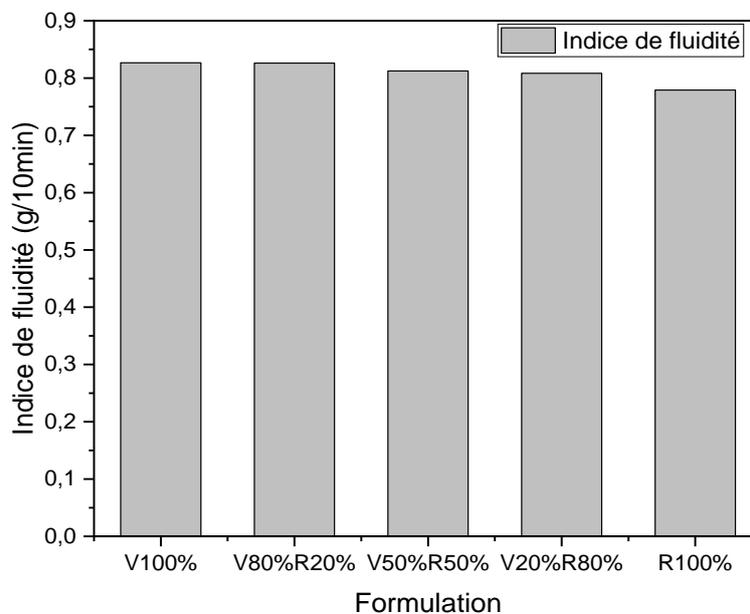
L'indice de fluidité, qui est une mesure rhéologique, des différents échantillons préparés a été calculés selon l'équation (II.1) du chapitre précédent. La mesure a été réalisée à la température de 200°C et sous une charge nominale  $M=2,16$  kg.

Ces valeurs sont résumées dans le Tableau III.2 représentent la variation de l'indice de fluidité de différentes formulations à base de PEBD.

**Tableau (III.2) :** Les valeurs de l'indice de fluidité de différents mélanges de Polyéthylène

Formulations %	t(s)	M <sub>moy</sub> (g)	IF (g /10min)
V100%	115	0.15844	0.8266
R100%	155	0.2011	0.7791
V80%R20%	124	0.1745	0.8261
V50%R50	110	0.14896	0.8125
V20%R80%	133	0.1712	0.8083

Afin de représenter clairement la variation des valeurs de l'indice de fluidité en fonction de la fraction du polyéthylène vierge et ses pourcentages de polyéthylène recyclé, un histogramme a été est donné en Figure III.3 :

**Figure III.3 :** Variation de l'indice de fluidité en fonction de taux de PE recyclé

Il est connu que l'indice de fluidité (IF) varie dans le même sens que la fluidité, en sens inverse de la viscosité. Une valeur élevée d'IF signifie une faible viscosité à l'état fondu et une faible masse moléculaire.

La valeur d'IF du polyéthylène vierge et du polyéthylène recyclé est, respectivement, égale à 0,8266 g/10min et 0,7791 g/10min. Cette légère diminution d'IF dans le cas du PE recyclé serait dû à une augmentation de la viscosité du polymère après le premier cycle d'extrusion provoqué probablement par :

- L'ajout des charges par l'industriel lors de la mise en œuvre ;
- La réticulation des chaînes du polyéthylène.

L'incorporation dans le PEBD vierge des fractions allant de 20 à 80% massique du polyéthylène recyclé montre une diminution progressive dans les valeurs de l'indice de fluidité. Ce résultat montre bien que la matière recyclé est plus visqueuse par rapport au polymère vierge.

Les résultats de mesure d'IF indiquent que le PEBD recyclé n'a subi aucun processus ou réaction de dégradation suite au premier cycle de transformation qui peut altérer sa structure et par conséquent ses propriétés.

### III.3 Analyse thermogravimétrique (ATG/dTG)

Les Figures III.4 et III.5 présentent, respectivement, les thermogrammes ATG et DTG des différents mélanges de PE vierge /PE recyclé dans la de température allant de différentes 25°C à 580°C sous atmosphère inerte.

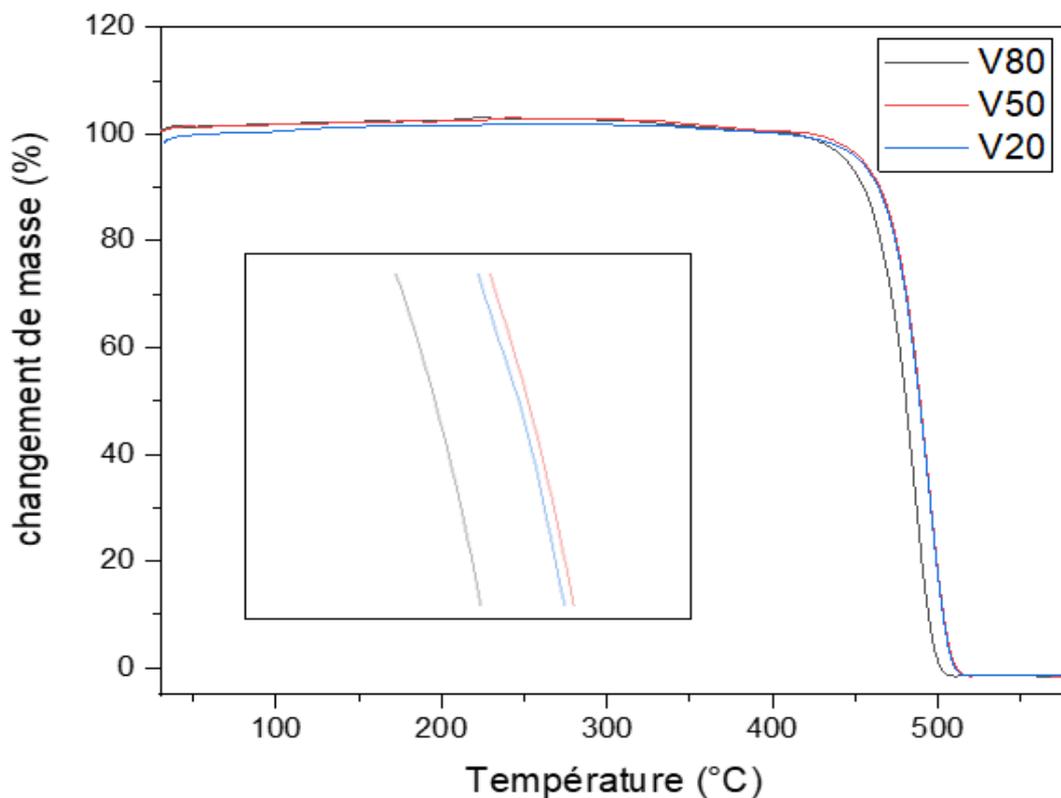


Figure III.4 : Thermogrammes ATG des mélanges PEBD vierge /PEBD recyclé

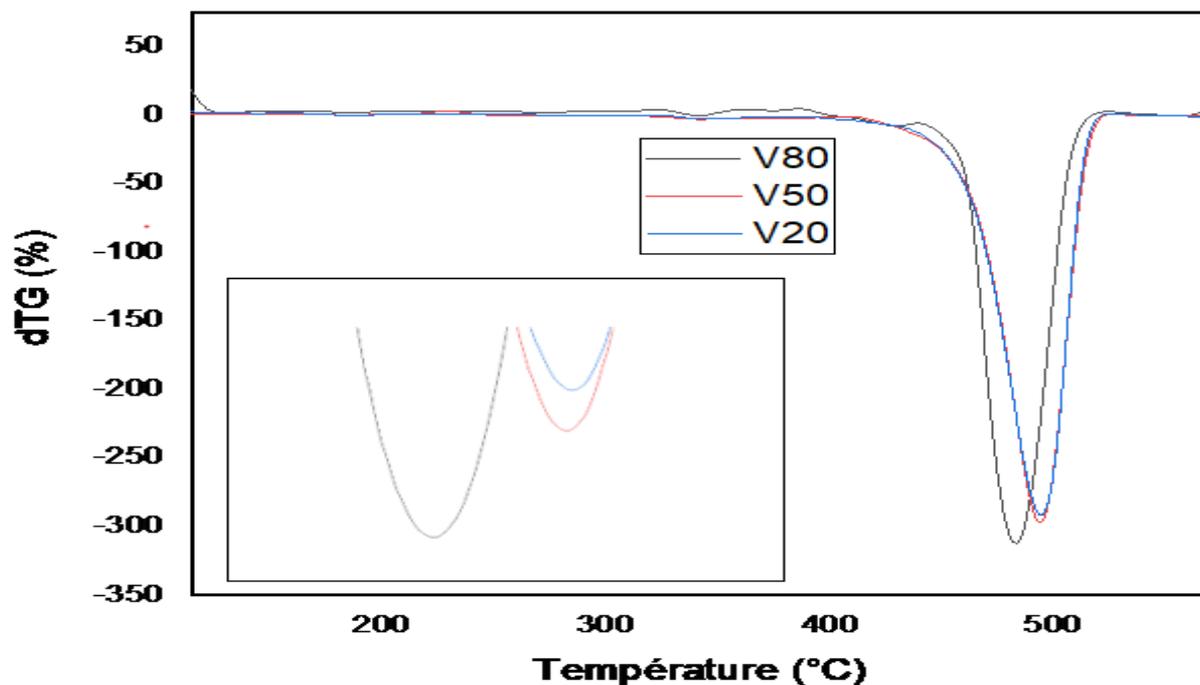


Figure III.5 : Thermogrammes DTG des mélanges PEBD vierge /PEBD recyclé

V80/R20, V50/R50, V20/R80

Les thermogrammes de l'ATG représentés sur la Figures III.4 montrent un profil de dégradation thermique similaire pour ces mélanges. Ils montrent des pertes de masse localisées sur la plage de températures allant de 420°C à 520°C.

En effet, le début de la décomposition thermique des mélanges à base de PEBD a été déterminé par la perte de masse à 5%. D'autres températures ont été déterminées sur les courbes ATG/DTG et présentées sur le Tableau III.3 à savoir la  $T_{20\%}$ ,  $T_{50\%}$  et  $T_{V_{max}}$ .

**Tableau III.3** : Températures caractéristiques de la perte de masse des mélanges PEBD.

Température (°C)	$T_{5\%}$ (°C)	$T_{20\%}$ (°C)	$T_{50\%}$ (°C)	$T_{V_{max}}$ (°C)
V80%R20%	444,29	465,14	480,50	482
V50%R50%	454,59	474,96	488,82	493
V20%R80	452,97	474,23	489,19	494

L'ajout du PEBD recyclé à la matrice PEBD vierge a un effet positif sur sa tenue thermique. En effet, la  $T_{5\%}$  passe de 444 dans le mélange V80% à 454 et 452, respectivement, dans les matériaux V50% et V20%. Un gain de 10°C a été aussi enregistré sur tous les autres paramètres à savoir la  $T_{20\%}$  et  $T_{50\%}$ .

Ce résultat montre bien que la matière recyclée reste thermiquement stable mais aussi participe à l'amélioration de la résistance thermique du PE vierge.

Les courbes DTG de toutes les formulations montrent globalement des allures similaires, caractérisées par une dégradation en une seule étape. Ils indiquent clairement leurs très grandes stabilités thermiques même à des températures très élevées et varient en fonction de la fraction du PE recyclée.

Pour le mélange V80%, un pic endothermique localisé vers 420 °C a été enregistré. Ce pic est décalé vers les hautes températures dans le cas de V50% et V20%, traduisant une meilleure tenue thermique de ces derniers.

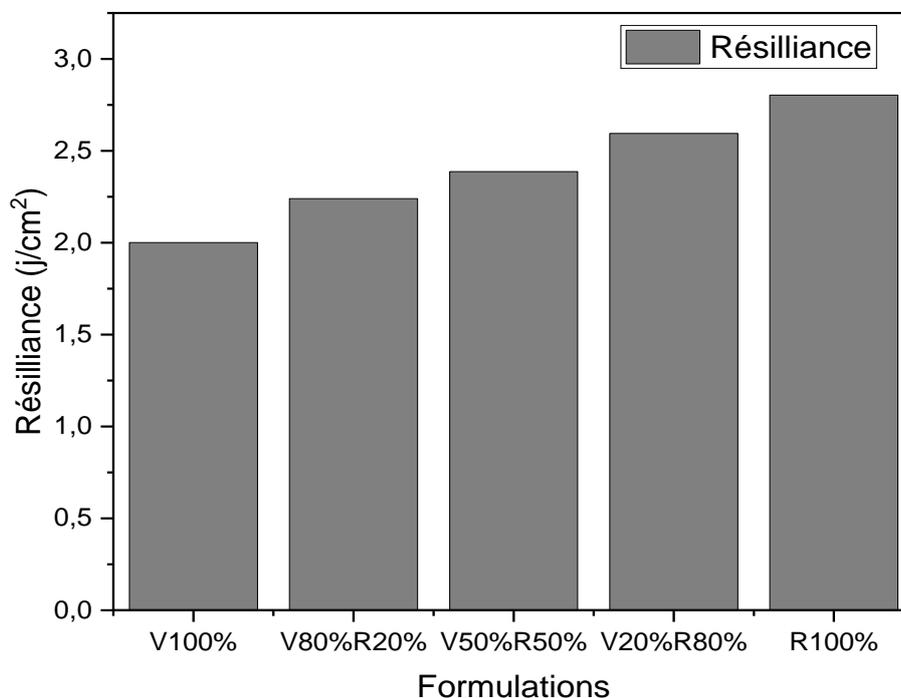
Un tel résultat serait probablement dû à la présence d'additifs dans la formulation industrielle (source du PEBD recyclé) ou à la réticulation des chaînes macromoléculaires du PE sous l'effet de l'action thermomécanique.

#### III.4 Résistance au choc

Les valeurs de la résistance au choc des échantillons à base de PEBD contenant à différents taux de matière recyclée sont regroupées sur le Tableau III.4 et illustrées dans la Figure III.6 qui représente la variation de la résistance au choc (Izod) des différents échantillons PEBD vierge /PEBD recyclé.

**Tableau III.4** : Les différentes valeurs des résiliences obtenues pour les différentes formulations.

Formulation	V100%	V80%R20%	V50%R50%	V20%R80%	R100%
Résilience(J/cm <sup>2</sup> )	2,00084	2,2395	2,38674	2,59486	2,80372



**Figure III.7** : La variation de la résilience au choc Izod des mélanges PEBD vierge/PEBD recyclé.

On observe une augmentation de la résistance au choc pour les mélanges par rapport à la valeur de la résistance au choc de la matrice polyéthylène vierge. Cette augmentation est due peut-être à la présence des charges au cours de la première mise en œuvre et/ou à la présence d'une fraction réticulée.

# **Conclusion**

## **Conclusion générale**

Le présent travail a été réalisé dans le but d'étudier l'effet de l'incorporation de la matière recyclée sur les propriétés du polyéthylène destinés à la fabrication de l'emballage agroalimentaire.

L'analyse de l'ensemble des résultats obtenus à partir des différents essais effectués nous ont permis d'énoncer les conclusions suivantes :

- Les résultats de l'analyse spectroscopique IRTF des différents matériaux ont montré l'absence d'altération chimique (présence des groupements oxygénés) du polyéthylène recyclé.
- L'incorporation des fractions allant de 20 à 80% massique du polyéthylène recyclé dans le PEBD vierge a montré une diminution progressive dans les valeurs de l'indice de fluidité.
- La présence de la fraction recyclée améliore les propriétés thermiques et mécaniques du PEBD vierge, attribuée :
  1. A la présence de certains additifs (charges) dans la formulation de départ
  2. La réticulation des chaînes macromoléculaires.

Les résultats obtenus ont montré que l'addition de la matière recyclée au PEBD vierge influence positivement la totalité des propriétés étudiées et par conséquent, elle peut être réintroduite à des taux élevés dans un nouveau cycle de transformation.

# **Références bibliographique**

---

## *Références bibliographique*

---

- [1] M. B, Shriver. K, Beiter and K, Ishii. Characterization of recycled Injection molded plastics for material life-cycle analysis, SPE ANTEC Proceedings, May, 1994.
- [2] S. MOKDAD, Y. OUGACHE, "Caractérisation électrique et physico-chimique d'un élastomère silicone utilisé dans une chaîne d'isolateurs", mémoire de fin d'étude de Master académique, 13 juillet 2017
- [3] P. BUTAUD, " Contribution à l'utilisation des polymères à mémoire de forme pour les structures à amortissement contrôlé". Thèse de doctorat, Université de FRANCHE-COMTÉ, école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques, 01 décembre 2015.
- [4] Gottfried W. Ehrenstein et Fabienne Montagne, "Matériaux polymères (structure, propriétés et applications)". imprimé en France, Octobre 2000
- [5] Gubanski S.M, "Modern Outdoor Electrical Insulation", Guest Editor, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1999, Vol.6, No.5, pp.517-518.
- [6] GHORZI Wissam, "Etude de la diffusion des molécules de bas poids moléculaire dans des réseaux de polymères acryliques", mémoire Pour obtenir le grade de licence en physique. Université Abou BekrBelkaid Tlemcen. 02 juillet 2017.
- [7] ZOUBIR Ibtissam, " Elaboration et caractérisation d'un matériau composite polymère-ZnO", mémoire de master, "Matériaux Polymères Composites Avancés à base de Polymères", Université de TLEMEN. juillet 2017.
- [8] M. FONTANILLE, Y.GNANOU, "Chimie et physico-chimie des polymères", 3ème édition, Dunod, Paris, 2002, 2005, 2010, 2013 ISBN 978-2-10-058915-9.
- [9] L.Carette, J.M. Pouchol, Silicone, dans : Traité plastiques et composites : Technique de l'ingénieur, 2001, A3475, pp.1-18.
- [10] S. Jouenne, " option chimie et physicochimie des polymères", Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 2005.
- [11] L.CHELLI, "Effet du champ électrique sur les propriétés du polyéthylène réticulé chimiquement", mémoire de Master, 20/07/2016.
- [12] **Brydson.** *Plastique materials.* london : 7ème édition, 1999
- [13] **Stoehane Engelsman, Valerie Spalding.** *Plastique et architecture et construction.* s.l. :Edition Birkhauser , 2007.
- [14] R. Dossogne, "Polyéthylène Haute Densité", Paris, Technique de l'Ingénieur, A3315, 1996, p1-10.

---

## *Références bibliographique*

---

- [15] M. Fontanille et Y. Gnanou, "Chimie et Physicochimie des Polymères", Paris, Dunod Ed, 2002, p 479-483.
- [16] D.C. Miles, "Technologie des Polymères", Paris, Dunod Ed, 1968, P133-161.
- [17] **Deterre et G.Froyer.** *Introduction aux matériaux polymères.* Paris : Lavoisier, 1997.
- [18] **Mouhoub, A. et Bedjaoui, K.** *Comptabilisation d'un mélange à base de PE/PEBD par extrusion réactive.* Algérie, Sétif, juin 2011. Mémoire d'Ingéniorat.
- [19] **M.Ragoubi.** *Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles / matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne.* France, 2010. Thèse doctorat.
- [20] [http://www.biomens.eu/media/misc\\_media/20\\_recyclage-plastique.pdf](http://www.biomens.eu/media/misc_media/20_recyclage-plastique.pdf)
- [21] M. B, Shriver. K, Beiter and K, Ishii. Characterization of recycled Injection molded plastics for material life-cycle analysis, SPE ANTEC
- [22] A, Colbeaux. Compatibilisation de mélanges PP/PE par extrusion réactive, thèse de doctorat, Laboratoire des Matériaux Macromoléculaire de l'INSA de Lyon, 2001.
- [23] <http://ecoroute.uqcn.qc.ca/educ/etiquettes.htm>
- [24] <http://www.chez.com/armange/>
- [25] <http://www.elise.com.fr/les-dechets-recycles/recyclage-des-bouteilles.html>
- [26] J, Devaux. Identification des limitations techniques et environnementales du recyclage matière des déchets (HORS BTP), Rapport final, Université catholique de Louvain, 2010.
- [27] <http://www.ac-grenoble.fr/college/rives-du-leman.evian/recyclage.pdf>.
- [28] N, Cherfa. Résistance à l'impact d'un polypropylène recyclé, Thèse Magister, Université M'hamed Bougara de Boumerdès, 2007.
- [29] T. K, Kossentini. Etude de mélanges PE/PS : Contribution au recyclage, thèse d'état de l'institut national des sciences appliquées de Lyon, p.8, 2003
- [30] <http://www.dechets-plastiques.fr/>
- [31] <http://s567188328.mialojamiento.es/fr/le-processus-de-recyclage-du-plastique/>

---

## *Références bibliographique*

---

[32] [http://www.ecopatrouille.org/fr/recyclage\\_51/](http://www.ecopatrouille.org/fr/recyclage_51/)

[33] U.S. Environmental Protection Agency, handbook: recycling and reuse of material found in superfund sites, office of research and development, Washington, 1994.

[34] <http://recuperation-fer-metaux.com/impacts-du-recyclage-sur-lenvironnement/>.

# Annexes

## **Présentation de l'entreprise MERIPLAST (Meridji plastique)**

### **Présentation**

MERIPLAST ou Meridji plastique est une société de droit algérien, créée le 13 décembre 1999. Elle est constituée juridiquement en SARL (Société à Responsabilité Limitée), au capital social de 454.130.000,00 ZD, dont les parts sociales sont détenues pour 88.8% par Mr Abdelhakim MERIDJI, gérant de la société.

En activité depuis 1999, MERIPLAST est spécialisé dans le développement, la fabrication et la commercialisation d'emballages flexibles : films thermo-rétractables neutres et imprimés, films complexés, films agricoles, gaines, housses et sacherie. Les produits de MERIPLAST sont destinés à une clientèle dans divers secteurs d'activité tels que l'agroalimentaire, les matériaux de construction, l'agriculture, le textile.

MERIPLAST dispose de deux unités de production :

-La première unité (site 1) : créée en 1999, se situe sur la route de l'arrière port de Bejaïa et installée sur un site de production de 2700 m<sup>2</sup>. Cette unité dispose de plusieurs lignes de production entièrement automatisées ; d'une capacité de production de 2000 tonnes par mois.

-La deuxième unité (site 2) : créée en 2016, réalisée au niveau de la zone d'activité d'Ibourassen, commune d'Oued-Ghir sur une superficie de 1600 m<sup>2</sup>. Ce qui permettra à MERIPLAST d'augmenter ces capacités de production à 3500 tonnes par mois.

En septembre 2015, l'entreprise MERIPLAST a été certifiée ISO 9001/2008.

### **La gamme de produits MERIPLAST**

La gamme de produits MERIPLAST est constituée actuellement de :

- ✓ Filme thermo rétraction neutre (FTN)
- ✓ Film thermo rétraction imprimé (FTI)
- ✓ Film étirable (FE)
- ✓ Film agricole stabilisé trois saisons (FAS)
- ✓ Film polyéthylène tri couches neutre et imprimé (FPEN/FPEI)
- ✓ Gaine plastique
- ✓ Housse thermo rétractable et étirable
- ✓ Sacherie neutre
- ✓ Film complexe neutre et imprimé (FCN/FCI)

## **Organigramme de l'entreprise MERIPLAST**

MERIPLAST emploie 241 agents au 31/03/2017 répartis par catégorie socioprofessionnelle comme suit :

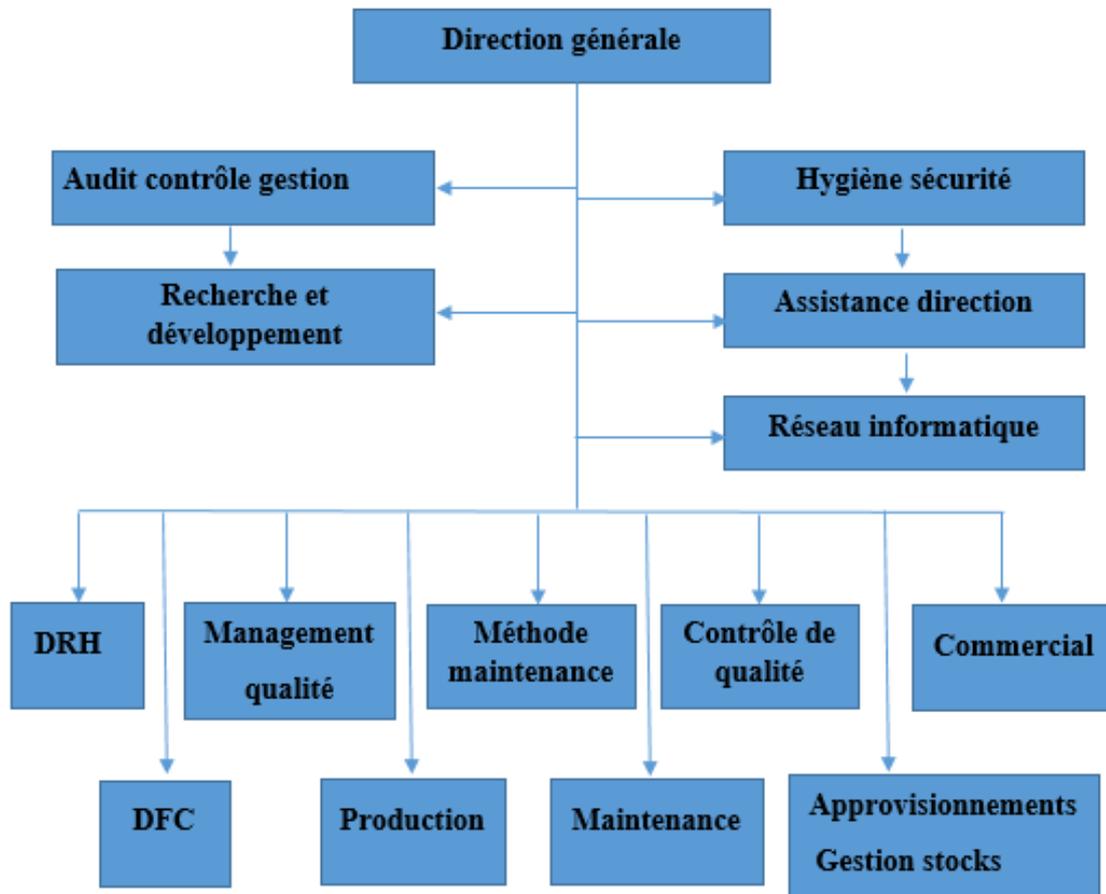
- ✓ Cadre : 29
- ✓ Agents de maîtrise : 76
- ✓ Exécution : 136
- ✓ Direction Général
- ✓ Audit Control Gestion
- ✓ Recherche et développement
- ✓ Direction des Ressources Humaines (DRH)
- ✓ Direction Finance et Comptabilité (DFC)
- ✓ Production
- ✓ Maintenance
- ✓ Management Qualité
- ✓ Contrôle Qualité
- ✓ Approvisionnements Gestion Stocks
- ✓ Commercial
- ✓ Assistante Direction
- ✓ Réseau Informatique

## **Equipements de production**

MERIPLAST travaille 24h/24h avec des lignes de production de dernières technologies, qui lui assurent des grandes capacités de production par mois de films plastiques.

L'organigramme général des sites 1 et 2 est illustré en schéma suivants :

### Site 1



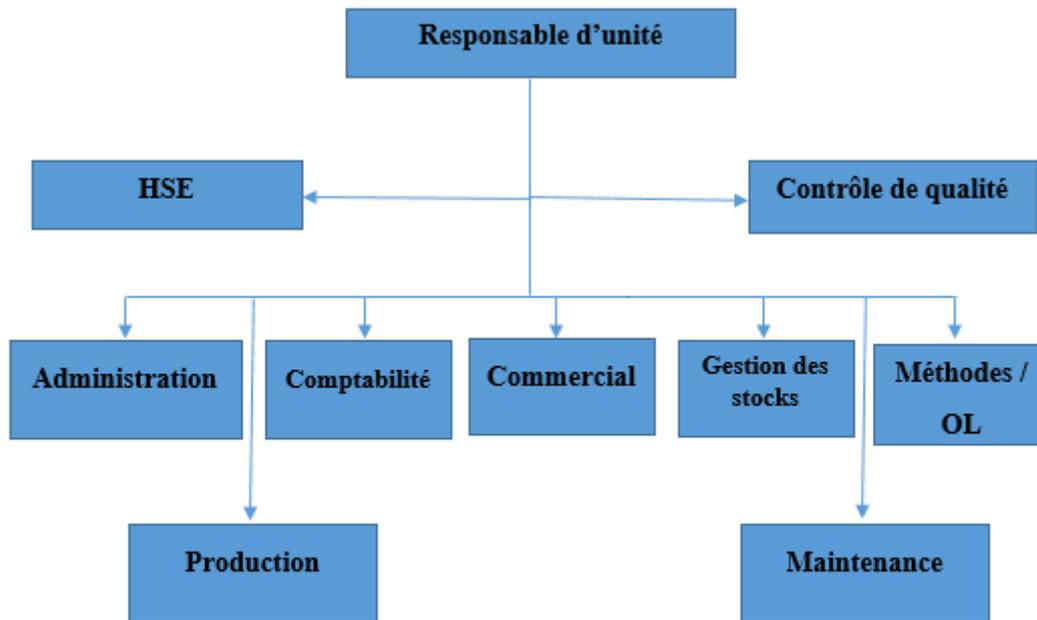
**Figure II.1** : Organigramme général du site 1

Ce site dispose de différentes machines réparties comme suit :

### Site 1

- ✓ 04 extrudeuses mono-vis
- ✓ 01 extrudeuse bi-vis
- ✓ 01 extrudeuse OPTIMEX (dernière génération)
- ✓ 02 imprimantes flexographique, l'une avec 08 couleurs et l'autre avec 04 couleurs
- ✓ 02 découpeuses refendeuse
- ✓ 01 soudeuse

## Site 02



**Figure II.2** : organigramme général du site 2

Ce site dispose de différentes machines réparties comme suit :

- ✓ 01 extrudeuse machine (dernière génération)
- ✓ 01 imprimante flexographique avec 08 couleurs
- ✓ 01 découpeuses refendeuse
- ✓ 01 contre colleuse

## **Résumé**

*Le but de ce travail est d'étudier l'effet de l'ajout de la matière recyclée dans le processus de fabrication sur les propriétés des films à base de PEBD, destinés à l'emballage agroalimentaire.*

*De ce fait, la première partie porte sur l'étude des différentes caractérisations de polyéthylène et sa variation des propriétés en fonction du taux de recyclé*

*Les résultats obtenus ont montré que l'addition de la matière recyclée au PEBD vierge influence positivement la totalité des propriétés étudiées et par conséquent, elle peut être réintroduite à des taux élevés dans un nouveau cycle de transformation.*

## **Abstract**

*The aim of this work is to study the effect of the addition of recycled material in the manufacturing process on the properties of LDPE-based films, intended for food packaging.*

*Therefore, the first part focuses on the study of the different characterizations of polyethylene and its variation in properties depending on the rate of recycling.*

*The results obtained showed that the addition of recycled material to virgin LDPE positively influences all the properties studied and therefore it can be reintroduced at high rates in a new transformation cycle.*