



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi -Tebessa

Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie .

Département de Sciences de la matière

**MEMOIRE** de Master

**Domaine** : Chimie

**Spécialité** : Chimie des produits naturels

**Thème** :

**Valorisation des déchets plastiques pour  
la fabrication de fuel.**

**Présenté par :**

Hadj Randa

Djoulah Mounir

**Jury**

- **Pr.** Boudiba Louiza .
- **Dr.** Rais Khaled .
- **Dr.** Aggoune Rabeh .

**Année universitaire** : 2022 / 2023

وَلَسَوْفَ يُعْطِيكَ رَبُّكَ

فَتَرْضَىٰ

## Dédicace

*Loué soit Dieu, que je remercie. Je dédie mon témoignage à ma mère. J'étends cette reconnaissance sur son père, teintée de diverses nuances de passion, parfois remplie de millions d'images que mon cœur faible ne peut pas supporter.*

.

## Remerciements

---

### Remerciements

Tout d'abord, remerciez Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné du courage, de la volonté et de la patience pour terminer ce travail.

On exprime notre plus grande reconnaissance et nos remerciements à nos dirigeants dans ce mémoire Pr. BOUDIBA LOUIZA, Dr. RAIS KHALED, Dr. AGGOUN RABEH, d'avoir suivi la progression de nos recherches avec compétence et disponibilité. Nous les remercions très chaleureusement pour nous avoir constamment aidé, orienté et conseillé tout au long de ce travail.

Nous tenons à remercier Dr. CHERIET ZINELABIDINE de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nous exprimons nos vifs remerciements à Dr. BOUDIBA SAMEH d'avoir accepté de faire partie du jury, nous lui adressons l'expression de notre reconnaissance.

Nous tenons à remercier Dr. REBAI AZEDINE, Directeur des CET de la wilaya de Tébessa de nous avoir fournis toute l'aide matérielle et spirituelle pour réaliser le prototype, ainsi que les essais au niveau du CET Tébessa.

Enfin, nous tenons à remercier le représentant de l'incubateur, qui n'a pas épargné de nous donner les informations nécessaires pour compléter cette note, et nous remercions également tous les professeurs qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# Résumé

## Résumé

---

Ce mémoire porte sur la valorisation des déchets plastiques comme source de carburant. Les déchets plastiques sont un problème environnemental majeur de notre aire qui nécessite des solutions innovantes pour réduire son impact négatif sur l'environnement.

L'objectif principal de cette recherche est d'explorer l'une des méthodes et technologies disponibles pour convertir les déchets plastiques en carburant.

Un prototype de pyrolyse a été réalisé pour réduire le plastique en fuel à l'extérieur de l'université et testé au Centre d'Enfouissement de Tébessa (CET).

Des expérimentations ont également été menées pour déterminer les conditions optimales de transformation des déchets plastiques en carburant. Différents types de déchets plastiques, tels que le polyéthylène et le polypropylène, ont été utilisés pour évaluer leur potentiel de valorisation.

Les résultats ont montré que la pyrolyse produisait plusieurs types de carburants (gaz, diesel, essence, huile et noir de carbone) avec un pourcentage total estimé à 250 %. Un raffinage supplémentaire sera nécessaire pour produire un carburant de qualité satisfaisante.

La valorisation des déchets plastiques pour la fabrication de carburant présente un potentiel prometteur en termes de gestion des déchets et de production d'énergie. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer les technologies existantes, améliorer les processus de conversion et résoudre les problèmes environnementaux associés à la pratique.

# المُلخَص

## المخلص

تركز هذه الأطروحة على تثمين النفايات البلاستيكية كمصدر للوقود. تعتبر النفايات البلاستيكية مشكلة بيئية كبيرة في منطقتنا وتتطلب حلاً مبتكرة للحد من تأثيرها السلبي على البيئة.

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو استكشاف إحدى الطرق والتقنيات المتاحة لتحويل النفايات البلاستيكية إلى وقود.

تم إنشاء نموذج أولي للتحلل الحراري لتحويل البلاستيك إلى وقود خارج الجامعة وتم اختباره في مركز طمر النفايات في تبسة.(CET)

كما أجريت تجارب لتحديد الظروف المثلى لتحويل النفايات البلاستيكية إلى وقود. وتم استخدام أنواع مختلفة من النفايات البلاستيكية، مثل البولي إيثيلين والبولي بروبيلين، لتقييم إمكانية استعادتها.

وأظهرت النتائج أن الانحلال الحراري أنتج أنواع من الوقود (غاز، ديزل، بنزين، زيت وأسود الكربون) بنسبة اجمالية تقدر ب 250%. وسيكون من الضروري إجراء تكرير إضافي لإنتاج وقود ذو جودة مرضية.

يمثل استرداد النفايات البلاستيكية لتصنيع الوقود إمكانات واعدة من حيث إدارة النفايات وإنتاج الطاقة. هناك حاجة إلى مزيد من البحث لتحسين التقنيات الحالية، وتحسين عمليات التحويل، ومعالجة القضايا البيئية المرتبطة بهذه الممارسة.

# **Abstract**

## **Abstract**

---

This work focuses on the valorization of plastic waste as a source of fuel. Plastic waste is a major environmental problem in our area, which requires innovative solutions to reduce its negative impact on the environment.

The main objective of this research is to explore one of the available methods and technologies to convert plastic waste into fuel.

A pyrolysis prototype was created to reduce plastic into fuel (outside the university) and tested at the Tébessa Landfill Center (CET).

Experiments were also carried out to determine the optimal conditions for transforming plastic waste into fuel. Different types of plastic waste, such as polyethylene and polypropylene, were used to assess their recovery potential.

The results showed that pyrolysis produced several types of fuels (gas, diesel, gasoline, oil and carbon black) with a total percentage estimated at 250%. Additional refining will be necessary to produce fuel of satisfactory quality.

The recovery of plastic waste for the fuel manufacture presents promising potential in terms of waste management and energy production. Further research is needed to improve existing technologies, improve conversion processes, and address environmental issues associated with the practice.

# Sommaire

## Sommaire

## Sommaire

Titre	Page
Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
الملخص	
Abstract	
Sommaire	
Listes des tableaux	
Listes des figures	
<b>Introduction générale</b>	00
<b>Chapitre 01 : Généralité sur les polymères</b>	
1.1 Historique	01
1.2 Définition	02
1.3 Synthèse	04
1.3.1 Polycondensation	04
1.3.2 Polymérisation en chaîne	04
1.4 Formation des polymères	04
1.5 Polymérisation	05
1.6 Classification des polymères	05
1.7 Caractéristiques des polymères	06
1.8 Propriétés des polymères	06
1.9 Structure des polymères	07
1.10 Application des polymères	12
<b>Chapitre 02 : Dégradation des polymères</b>	
2.1 Définition	15
2.2 Principaux types de vieillissement	15
2.2.1 Vieillissement physique	15
2.2.1.1 Vieillissement physique avec transfert de masse	15
2.2.1.2 Vieillissement physique sans transfert de masse	16
2.2.2 Vieillissement chimique	16
2.2.2.1 Coupure des chaînes statistiques	16
2.2.2.2 Dépolymérisation	17
2.2.2.3 Réticulation	17
2.2.2.4 Oxydation	17
2.2.3 Dégradation thermique	17
2.2.4 Dégradation hydrolytique	17
<b>Chapitre 03 : Déchets plastiques valorisation</b>	
3.1 Déchets plastiques	19
3.1.1 Déchets plastiques industriels	19

3.1.2 Déchets plastiques de post_ consommation	19
3.2 Impact des déchets plastiques	20
3.3 Valorisation des déchets plastiques	20
3.3.1 Valorisation énergétique	20
3.3.2 Valorisation mécanique	20
3.3.3 Valorisation chimique	20
3.4 Exemples de valorisation du plastique réutilisé	21
3.4.1 Polypropylène vierge	21
3.4.2 Résidus d'automobiles broyé	21
3.4.3 Plastique déchiqueté	21
3.4.4 Fabrication de fuel	21
<b>Chapitre 04 : Description du projet</b>	
4.1 Définition de la pyrolyse	23
4.2 Prototype de la pyrolyse	23
4.3 Conditions de la pyrolyse	24
4.4 Etapes de la pyrolyse	25
4.5 Processus de conversion des déchets plastiques en carburant	25
4.5.1 Tri et préparation du plastique	25
4.5.2 Pyrolyse	25
4.5.3 Condensation	26
4.5.4 Distillation	26
4.5.5 Raffinage et purification	26
4.5.6 Utilisation finale	26
4.6 Réalisation du prototype expérimentale	26
4.7 Différentes fractions de la pyrolyse	28
<b>Conclusion générale</b>	32
<b>Références bibliographiques</b>	34

## Listes des tableaux

---

### Listes des tableaux :

	<b>Page</b>
<b>Tableau 1.1</b> Types de plastiques.	02
<b>Tableau 1.2</b> Structure chimique de différents polymères.	07
<b>Tableau 1.3</b> Domaines d'application des polymères.	12
<b>Tableau 3.1:</b> Propriétés physiques des déchets du PEBD.	21
<b>Tableau 4.1</b> Quantités de produits de pyrolyse de 8kg de plastique et énergies résultantes.	29

## Listes des figures

---

### Listes des figures :

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1.1</b> Les numéros qui présentent les types de plastiques.	04
<b>Figure 1.2</b> Les trois types de polymères.	05
<b>Figure 1.3</b> Représentation schématique des types de polymères.	06
<b>Figure 1.4</b> Film en PET.	09
<b>Figure 1.5</b> Bouteilles en PET.	09
<b>Figure 1.6</b> Tuyaux en PVC.	09
<b>Figure 1.7</b> Isolant en PVC.	10
<b>Figure 1.8</b> Bouteille de lait en PEHD.	10
<b>Figure 1.9</b> Sac réutilisable en PEBD.	11
<b>Figure 1.10</b> Parechoc en PP.	11
<b>Figure 1.11</b> Emballage alimentaire en PP.	11
<b>Figure 1.12</b> Goblet (PS).	12
<b>Figure 1.13</b> Emballage(HIPS).	12
<b>Figure 1.14</b> Emballage(PSE).	12
<b>Figure 4.1</b> Décomposition des polymères par pyrolyse.	23
<b>Figure 4.2</b> Pyrolyse.	23
<b>Figure 4.3</b> Raffinage du pétrole.	26
<b>Figure 4.4</b> Prototype expérimentale de pyrolyse (face 1).	27
<b>Figure 4.5</b> Prototype expérimentale de pyrolyse (face 2).	28
<b>Figure 4.6</b> Prototype expérimentale de pyrolyse (carburant résultant).	28
<b>Figure 4.7</b> Gaz.	29
<b>Figure 4.8</b> Gazoline.	29
<b>Figure 4.9</b> Diesel.	29
<b>Figure 4.10</b> Huile.	29
<b>Figure 4.11</b> Noir de carbone.	30

# **Introduction**

## **générale**

## Introduction générale

---

### Introduction générale :

La valorisation des déchets plastiques pour la fabrication de carburant est un processus essentiel dans la gestion durable des déchets et la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles. Les plastiques sont des matériaux omniprésents dans notre société, mais leur élimination pose de sérieux problèmes environnementaux. La valorisation des déchets plastiques offre une solution prometteuse en transformant ces déchets en carburant utilisable.

Ce processus de valorisation des déchets plastiques implique généralement la pyrolyse, une technique qui permet de décomposer les polymères en leurs composants de base à des températures élevées en l'absence d'oxygène. La pyrolyse produit un mélange de gaz, de liquides et de résidus solides. Les liquides obtenus, connus sous le nom de pyrolyse liquide ou pyrolyse oil, peuvent être raffinés pour produire du carburant, généralement appelé « fuel plastique ».

La fabrication de carburant à partir de déchets plastiques présente plusieurs avantages. Tout d'abord, cela contribue à réduire la quantité de déchets plastiques envoyés dans les sites d'enfouissement ou rejetés dans l'environnement, ce qui réduit les risques de pollution. Deuxièmement, cela permet de valoriser les plastiques comme une ressource précieuse, en leur donnant une seconde vie utile plutôt que de les considérer comme des déchets. Enfin, la production de carburant à partir de déchets plastiques peut contribuer à la réduction de la consommation de combustibles fossiles, ce qui a un impact positif sur les émissions de gaz à effet de serre et le changement climatique.

Cependant, il convient de noter que la valorisation des déchets plastiques pour la fabrication de carburant n'est pas une solution miracle. Des préoccupations subsistent quant à l'empreinte carbone globale du processus, aux émissions de polluants atmosphériques et aux défis techniques liés à la collecte et au tri des déchets plastiques. Par conséquent, il est important de poursuivre les efforts pour réduire la production de plastiques, promouvoir le recyclage et développer des alternatives durables.

Dans ce travail, nous avons partagé l'étude en quatre chapitres. Le premier chapitre traite des généralités sur les polymères, leur synthèse, leurs caractéristiques, leur classification, leurs propriétés et leurs applications. Le deuxième chapitre est focalisé sur la dégradation des polymères et les types de leur vieillissement. Le troisième chapitre donne un aperçu sur la valorisation des déchets plastiques, leur gestion, leur recyclage et leur impact et enfin le dernier chapitre explore la pyrolyse par la réalisation d'un prototype, son test, les produits obtenus et leur valeur énergétique.

**Chapitre 01 :**  
**Généralité sur les**  
**polymères**

Le plastique et ses dérivés sont devenus extrêmement importants dans notre vie quotidienne, et la demande mondiale pour ces matériaux augmente d'année en année. À l'heure actuelle, le monde est confronté à des défis économiques pour développer ces matériaux multi usages qui touchent déjà de nombreux domaines d'application tels que la construction, le transport, l'emballage, les articles de sport, le textile, etc.

## 1.1 Historique: [1]

Le plastique est une invention étonnante qui est apparue pour la première fois en 1860, par Alexander Parks. Aujourd'hui, nous en utilisons 24,7 tonnes par an en Europe uniquement. Il fait désormais partie de toutes les industries.

- 1496 : Racontant les événements du deuxième voyage de Christophe Colomb, il est rapporté qu'il y a un arbre en Amérique qui produit un jus laiteux appelé Ca-hu-chu par les Amérindiens, l'utilisent pour fabriquer des boules de gomme élastique comme outil pour des jeux amusants.
- 1838 : Pour la première fois de l'histoire, le chimiste et physicien français Henri Victor Regnault fabrique du PVC. Mais le processus a traversé de nombreuses étapes avant de réussir.
- 1839 : Le chimiste américain Charles Goodyear invente le procédé de vulcanisation, qui est un procédé chimique qui vise à convertir les polymères en ajoutant du soufre.
- 1860 : Le scientifique Alexander Parkes a mis au point un matériau polymère qui pouvait être solide, liquide, rigide, élastique, hydrofuge et opaque, appelé PARAXINE. Il le présenta ensuite au public à l'Exposition internationale de Londres en 1862.
- 1865 : Paul Schützenberger a préparé de l'acétate de cellulose, et le plus gros problème était qu'il était difficile de le dissoudre et ne pouvait donc pas être utilisé. Cependant, ce matériau présente de nombreux avantages, tels que le fait d'être ininflammable et de mieux préserver sa transparence et ses couleurs.
- 1870 : Lorsque la guerre a empêché l'importation de l'ivoire d'éléphant, Phelan & Cullinder, le fabricant de boules de billard, a lancé un concours pour savoir qui pouvait trouver un matériau alternatif pour l'ivoire, et a promis 10000 \$ au gagnant, qui était John Wesley Hayatt et son frère, en inventant le celluloid.
- 1880 : le PVC ou le polychlorure de vinyle est développé. Il est devenu plus flexible, plus facile à fabriquer et recyclable.
- 1890 : les Anglais Cross et Bewan découvrent une matière très filable et de consistance très sirupeuse qu'ils appellent Viscose.
- 1907 : Le belge Léo Baekeland invente un plastique auquel il donne son nom : la Bakelite. Ce matériau présente des particularités, il est thermorésistant, isolant et thermodurcissable. Il est également léger et semi-transparent. C'est pourquoi il est beaucoup utilisé, aujourd'hui encore, comme isolant électrique.
- Après la Première Guerre mondiale (1918) : Le prix du pétrole diminue et il devient donc la matière première utilisée pour fabriquer le plastique. De plus, c'est le matériau le plus facile à transformer. C'est le début de la pétrochimie.

- 1930 : En Wallace Carothers invente le Polyamide et le Polystyrène. Ce dernier a de bonnes performances thermiques, est léger, facile à travailler, insensible à l'humidité et perméable à la vapeur d'eau.
- 1941 : la mélamine est créée. Son succès n'est pas immédiat mais apparaît dans après-guerre grâce à ses propriétés exceptionnelles de résistance à la chaleur, à la lumière, aux produits chimiques et au feu. Après la Seconde Guerre mondiale (1945) : Les PVC, nylon, formica, tergal arrivent sur le marché pour pouvoir tout reconstruire vite et remplacer les matériaux tels que le bois, le métal, le verre ou les tissus naturels.
- 1954 : Giulio Natta et Karl Rehn, deux chimistes respectivement italien et allemand, obtiennent, un polypropylène à structure géométrique cristalline régulière.

Aujourd'hui : Les déchets plastiques constituent plus de 7% de la masse totale des ordures ménagères ; mais, malheureusement, ils ne sont pas biodégradables. Ils sont incassables, imputrescibles et ne craignent ni le gel, ni l'assèchement. Ils sont donc une source durable de pollution. Ils rejettent lors de leur dégradation des produits toxiques pour notre environnement et notre santé. Il est à présent urgent de résoudre ce problème et de réduire notre consommation de plastique. [1]

## 1.2 Définition :

Le mot polymère d'origine Grec polus-meros, est composé de deux mots «Polus » qui veut dire plusieurs et «méos» qui veut dire partie est par définition une macromolécule organique ou inorganique constituée de l'enchaînement répété d'un monomères sont liés les uns aux autres par des liaisons covalentes. Les polymères sont des matériaux composés de très longues chaînes (Macromolécules), elles-mêmes formées de molécules élémentaires (monomères) assemblées entre elles. Ces chaînes sont principalement constituées d'atomes de carbone sur lesquels sont fixés des éléments comme l'hydrogène ou l'oxygène. D'autres éléments, notamment le chlore, l'azote ou le fluor, peuvent encore intervenir dans la composition de la chaîne.

Les différents types de plastiques sont représentés sur le tableau suivant et leurs numéros identifiés sur la figure 1.1.

**Tableau 1.1** Types de plastiques.

<b>Nom du plastique</b>	<b>Description</b>	<b>Certaines utilisations du plastique vierge</b>	<b>Certaines utilisations des plastiques fabriqués à partir des déchets plastiques</b>
Polytéréphtalate d'éthylène (PET)	Plastique clair et dur, peut être utilisé pour en faire des fibres .	Bouteille pour boissons gazeuses et eaux minérales, rembourrage pour sacs de couchage et oreillers, fibres textiles .	Bouteille de boissons gazeuses, bouteilles de détergent ( multi-couches ), film transparent pour emballage, fibres de tapis, vestes laineuses .
Polyéthylène Haute Densité	Plastique très fréquent,	Sacs à provisions, sacs de congélation ondulée ,	Bacs à compost , bouteilles de détergent, caisses mobiles,

( PEHD ) .	habituellement blanc ou coloré.	bouteilles de lait et de crème, bouteilles de shampoing et produit de nettoyage, caisses de plomberie .	poubelles, tuyaux agricoles, palettes, caisses de recyclage aux bords des trottoirs
Polychlorure de vinyle non plastifié (UPVC)	Plastique dure et rigide peut être clair.	Bouteille de jus, douilles d'ampoules, tubes et raccords de plomberie.	Bouteilles de détergent, tuiles, tuyaux et raccords de plomberie.
Polychlorure de vinyle non plastifié.	Plastique Souple, clair et élastique .	Tuyaux d'arrosage , semelles de chaussures, sacs et tubes pour prélèvement de sang .	Tuyaux flexibles d'intérieur, sols industriels.
Polyéthylène à base densité ( PEBD ).	Plastique mou et flexible.	Couvercle des pots de crème glacée, sacs à ordures poubelles, feuilles de plastique noir .	Film pour l'industrie du bâtiment, les pépinières, l'industrie de l'emballage, sacs.
Polypropylène (PP)	Plastique dure, mais souple _ de nombreuses utilisations.	Pots pour crème glacées , sacs de chips paillettes pour boissons, boîtes et emballage alimentaire .	Bacs de compost, caisses aux bords trottoirs de récupération pour le recyclage, usinage sans fins.
Polystyrène (PS)	Plastique rigide et fragile, peut être clair et vitreux .	Pots de Yaourt, couvercle en plastique, imitation de cristal « Verrerie » .	Pinces à linage, Cintres, accessoires de bureau, bobines, règles, boîtes de cassette vidéo/ CD .
Polystyrène Expansé ( PSE ) .	Mousseux , léger, absorbant l'énergie , isolant thermique .	Gobelets pour boissons chaudes plats à emporter et récipients de nourriture, plateaux pour charcuteries, emballage .	



**Figure1.1** Les numéros qui présentent les types de plastiques.

Les polymères trouvent des applications dans divers domaines, grâce à leurs propriétés physiques et chimiques importantes. Par conséquent, connaissant leurs structures structurales et compositionnelles, leurs propriétés physico-chimiques rendent leur utilisation plus efficace. Le but de ce chapitre est d'expliquer la physico-chimie des polymères, leur aspect structurel, ainsi que leurs domaines d'application. [2]

### 1.3 Synthèse :

La macromolécule est constituée des chaînes moléculaires très longues. Ces dernières seront d'une multitude de petite molécule rattachées les unes aux autres par des liaisons chimiques. Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère à la macromolécule s'appellent polymérisation. La macromolécule obtenue sera nommée : polymère. Ainsi, le chlorure de vinyle  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  (monomère) conduit, par polymérisation par ouverture de la double liaison, au polychlorure de vinyle est de formule moléculaire (polymère)  $(\text{CH}-\text{CHCl})$  chaîne.

Il existe deux types de polymérisation : la polycondensation et la polymérisation en chaîne.

#### 1.3.1 Polycondensation :

Au cours de la polycondensation, les monomères s'associent avec élimination simultanée d'atomes ou de groupes d'atomes. Dans ce cas, les réactions qui démarrent la polymérisation, appelées réactions d'initiation, sont de type ionique. En général, une petite molécule X ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCl}$ ) est éliminée pour chaque nouvelle liaison covalente formée.

#### 1.3.2 Polymérisation en chaîne :

Dans la polymérisation en chaîne, les monomères s'associent sans réaction d'élimination simultanée. C'est le procédé le plus utilisé dans l'industrie.

### 1.4 Formation des polymères :

Certains polymères ont une origine naturelle mais ceux provenant des dérivés pétroliers sont des produits de synthèse obtenus par voie chimique ou par polymérisation. Ce sont des substances en général organiques parfois en partie inorganique. Ils sont liquides ou solides à température ambiante.

Ces réactions conduisent à la formation de macromolécules en longues chaînes, ayant une structure tridimensionnelle, par établissement de liaisons covalentes entre les petites molécules monomères. La plupart des polymères industriels sont fabriqués à partir d'un seul type de monomère comme par exemple le polystyrène ou bien à partir de plusieurs types de monomères : on parle alors de copolymères, comme par exemple l'acrylonitrile butadiène styrène.

Les réactions de polymérisation fournissent différents plastomères en fonction de la température, de la pression, des réactifs et des catalyseurs en présences. [3]

### 1.5 Polymérisation :

L'opération qui permet de passer du monomère au polymère est la polymérisation. Cette opération peut être considérée comme l'assemblage de particules de monomères pour former une chaîne qui constituera le polymère : Cette opération n'est possible que grâce à la structure particulière des monomères et sous certaines conditions : Pression – Température – catalyseurs.

### 1.6 Classification des polymères :

Il y a plusieurs classifications possibles pour les polymères, l'une d'elle est de classer les polymères selon le type d'enchaînement de ses monomères (figure 1.2):

- ❖ **Polymères linéaires** : Leur enchaînement des motifs monomères se fait de façon linéaire.
- ❖ **Polymère à structure ramifiée** : C'est des polymères présentant au moins un point de ramification entre ses deux groupes terminaux (un point de ramification étant un point d'une chaîne sur lequel est fixée une chaîne latérale également appelée branche ou chaîne pendante) des structures ramifiées comme dans le cas du PVC.
- ❖ **Polymère réticulé** : Un autre type d'architecture de chaînes est la réticulation soit la formation de liaisons inter chaînes. [4]

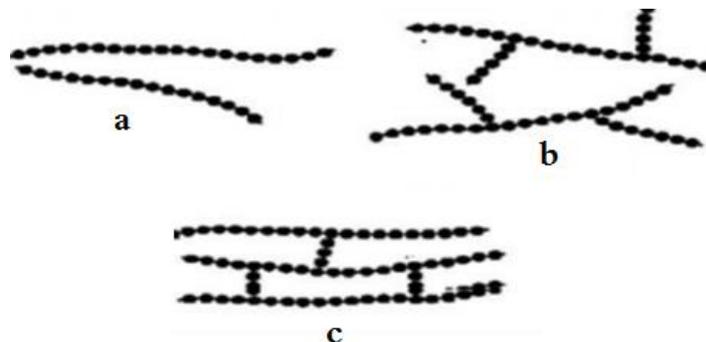


Figure 1.2 Les trois types de polymères.

On peut aussi classer les polymères selon leurs propriétés thermomécaniques.

- **Les thermoplastiques TP** : qui sont des polymères linéaires ou ramifiés. Ils peuvent être fondus et mis en forme par élévation de la température à un certain seuil, en dessous de ce dernier redeviennent dur.

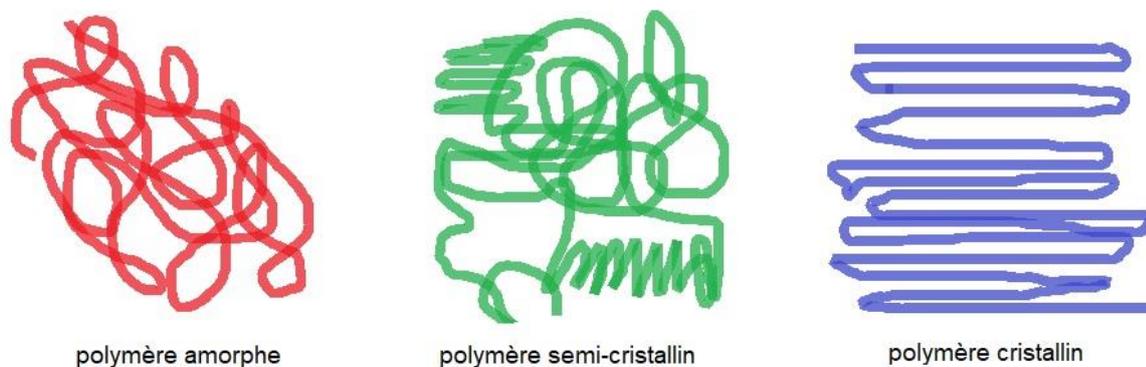
- **Les élastomères** : qui sont des polymères faiblement réticulés. Un élastomère est un polymère présentant des propriétés « élastiques ». Il supporte de très grandes déformations avant rupture. C'est le cas des élastiques.
- **Les thermodurcissables TD** : dont l'appellation provient du fait que dans la plupart des cas, il est nécessaire de monter en température pour initier la réticulation. Le taux de réticulation est d'un facteur 100 à 1000 fois celui des élastomères. Ils sont insolubles, infusibles et non cristallisables.

### 1.7 Caractéristiques des polymères :

Il existe plusieurs types de polymères (figure 1.3):

- ❖ **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 (les chaînes sont ordonnées).
- ❖ **Les polymères semi-cristallins** : ils se composent d'une phase cristalline et une phase amorphe.

[5]



**Figure 1.3** Représentation schématique des types de polymères.

### 1.8 Propriétés des polymères :

Les plastiques sont des matériaux polymères qui peuvent être fabriqués à partir de diverses substances organiques. Leurs propriétés physiques et thermiques varient en fonction de leur composition chimique et de leur structure moléculaire. Voici quelques-unes des propriétés physiques et thermiques courantes des plastiques :

- ❖ **Point de fusion** : Le point de fusion est la température à laquelle un plastique passe de l'état solide à l'état liquide. Les plastiques peuvent avoir des points de fusion très bas, proches de la température ambiante, ou des points de fusion plus élevés nécessitant des températures élevées pour les faire fondre.
- ❖ **Rigidité** : Les plastiques peuvent être rigides ou flexibles en fonction de leur structure moléculaire. Certains plastiques sont rigides et solides, tandis que d'autres sont souples et flexibles.
- ❖ **Résistance à la traction** : La résistance à la traction est la capacité d'un matériau à résister à la force appliquée lorsqu'il est étiré ou tiré. Les plastiques peuvent avoir des résistances à la traction variable, allant de faibles à élevées.

❖ **Dureté** : La dureté est la résistance d'un matériau à la pénétration ou à l'indentation. Les plastiques peuvent avoir différentes duretés, allant de souples à durs.

❖ **Transparence** : Certains plastiques sont transparents, ce qui signifie qu'ils permettent le passage de la lumière à travers eux, tandis que d'autres sont opaques et bloquent la lumière.

❖ **Conductivité thermique** : Les plastiques ont généralement une faible conductivité thermique, ce qui signifie qu'ils sont de mauvais conducteurs de chaleur. Cela peut les rendre utiles dans des applications nécessitant une Isolation thermique.

❖ **Coefficient de dilatation thermique** :

Les plastiques ont tendance à se dilater avec la chaleur et à se contracter avec le froid. Leur coefficient de dilatation thermique peut varier en fonction de leur composition.

❖ **Point de ramollissement** : Le point de ramollissement est la température à laquelle un plastique commence à se ramollir sous l'effet de la chaleur. Cela peut être important pour déterminer les limites de température d'utilisation d'un matériau plastique.

Il est important de noter que ces propriétés peuvent varier considérablement d'un type de plastique à l'autre, car il existe de nombreux polymères différents utilisés dans la fabrication des plastiques. Chaque type de plastique a ses propres caractéristiques physiques et thermiques distinctes.

## 1.9 Structure des polymères :

Les plastiques sont des polymères constitués de macromolécules principalement constituées de carbone, d'hydrogène, de silicium, d'oxygène, de chlore et d'azote. La structure chimique de certains polymères est représentée sur le tableau suivante :

**Tableau 1.2** Structure chimique de différents polymères.

	IUPAC	Usuelle	Monomère(s)	Remarques
	Poly(méthylène)	Polyéthylène (PE)	$H_2C=CH_2$	Bouteilles, emballages, films minces, ...
	Poly(1-méthyléthylène)	Polypropène (PP)		Moins dense, plus rigide que PE
	Poly(1-cyanoéthylène)	Polyacrylonitrile (PAN)		
	Poly(1-chloroéthylène)	Poly(chlorure de vinyle) (PVC)		Tuyaux
	Poly (difluorométhylène)	Poly (tétrafluoroéthylène) (PTFE)		Bonne tenue à la température, antiadhésif, joints (Téflon®)
	Poly(1-phényl éthène)	Polystyrène (PS)		Boîtes de yaourt, ... Durci avec butadiène pour PS choc ; Expandé avec un gaz pour PE expansé.
	Poly(1-acétoxy-1-méthyl éthylène)	Poly(méthacrylate de méthyle) (PMMA)		Plexiglas®
	Poly[imino(1,6-dioxohexaméthylène) iminohexaméthylène]	Nylon 6,6 (PA-6,6)		Textiles, moulages, cordes, ...
	Poly(oxyéthylène oxytéréphthaloïde)	poly(téréphthalate d'éthylène) (PET)		Bouteilles (eaux gazeuses), films, fibres textiles (Tergal®)
		Cellulose (R = H) Nitrate de cellulose (R = -NO <sub>2</sub> ) (CN) Acétate de cellulose (R = -COCH <sub>3</sub> ) (CA)		Parois cellulaires des végétaux. Films (celluloid, ...)
		protéines		

## Exemples de polymères :

On peut citer les plus connus.

### \* Le polyéthylène téréphthalate (PET) :

Le PET est le thermoplastique le plus communément utilisé. C'est un produit de Polycondensation de l'acide téréphthalique (C<sub>8</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>) avec l'éthylène glycol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>). C'est un polyester transparent avec une bonne stabilité et de bonnes propriétés mécaniques et chimiques. Léger, il est aussi fortement inerte et permet donc son utilisation au secteur alimentaire. Les figures 1.4 et 1.5 suivantes donnent des exemples de PET.



**Figure 1.4** Film en PET.



**Figure 1.5** Bouteilles en PET.

**\* Le polychlorure de vinyle (PVC) :**

Le polymère à base de chlorure de vinyle ( $C_2H_3Cl$ ), contient une grande quantité de chlore (56%) et possède une granulométrie variable selon le mode de fabrication. Il présente une remarquable résistance à l'abrasion, une bonne résistance à la corrosion, isole électriquement et possède aussi une bonne rigidité à température ambiante.

Les figures 1.6 et 1.7 donnent des exemples de PVC.



**Figure 1.6** Tuyaux en PVC.



**Figure 1.7** Isolant en PVC.

### \* Le polyéthylène (PE) :

Basé sur le monomère éthylène ( $C_2H_4$ ), le PE constitue une large famille dont les propriétés varient avec le processus de polymérisation. On peut ainsi obtenir du polyéthylène à basse densité (PEBD), du polyéthylène linéaire à basse densité (PEBDL), qui a de meilleures propriétés mécaniques et les polyéthylènes à moyenne ou haute densité (PEMD) ou (PEHD). Plus dense, moins flexible mais aussi rugueux et cristallin. Ils peuvent être réticulés ou non et être utilisés ensemble pour combiner leurs propriétés. D'une manière générale, ils sont économiques, peu denses (même les PEHD), isolants électriquement, résistants à la corrosion, aux UV et aux impacts. Le PEHD peut être utilisé pour confectionner des jouets, des bouteilles de lait (figure 1.8), de shampooing ou des tuyaux. Le PEBD se retrouvera par exemple dans les sacs réutilisables (figure 1.9) ou les films alimentaires. Plus dense, moins flexible mais aussi rugueux et cristallin. D'une manière générale, ils sont économiques, peu denses (même les PEHD), isolants électriquement, résistants à la corrosion, aux UV et aux impacts.

Le PEHD peut être utilisé pour confectionner des jouets, des bouteilles de lait, de shampooing ou des tuyaux. Le PEBD se retrouvera par exemple dans les sacs réutilisables ou les films alimentaires (PEBD).



**Figure 1.8** Bouteille de lait en PEHD.



**Figure 1.9** Sac réutilisable en PEHD.

**\* Le polypropylène (PP) :**

Les polymères du propène ( $C_3H_6$ ), semi-cristallins, existent sous trois formes dépendant de la disposition de leurs groupes méthyles ( $-CH_3$ ) en fonction du plan de la chaîne carbonée principale. Les figures 1.10 et 1.11 donnent des exemples de PP.



**Figure 1.10** Parechoc en PP.



**Figure 1.11** Emballage alimentaire en PP.

**\* Le polystyrène (PS) :**

Ce polymère styrénique (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>) est divisé en trois classes. Le polystyrène standard, le polystyrène de choc ou « High impact polystyrène» (HIPS) et le polystyrène expansé (PSE). Le polystyrène standard est amorphe, d'origine transparent, rigide et cassant. Le polystyrène choc est aussi amorphe et polymérisé en présence d'un élastomère renforçant. Le polystyrène expansé diffère en fonction de s'il est obtenu par moulage ou extrudage. [6] Les figures 1.12, 1.13 et 1.14 donnent des exemples de Polystyrènes.



**Figure 1.12** Goblet (PS).



**Figure 1.13** Emballage (HIPS).



**Figure 1.14** Emballage (PSE).

### 1.10 Applications des polymères :

Les utilisations des polymères sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau 1.3** Domaines d'application des polymères. [7]

Domaines	Exemples
Secteur de construction	Conduites d'eau et d'assainissement, peinture des murs des planchers et des plafonds, revêtement du sol, etc.
Industrie de l'emballage	Boites aux lettres, gainage, etc.

La médecine et la santé	Poches de sang, gants, lentilles, verres de lunettes, les organes artificiels, Seringues, industrie dentaire, prothèses, outils de chirurgie, etc.
Industrie automobile	Tapis, carrosserie, optique, planches de bord, habillage intérieur, gainage de câbles, etc.
Industrie textile	Vêtement , fibres textiles naturelles et synthétiques, sacs, ski, etc.
Sports et loisirs	Gazon artificiel, files de pêche et les cordons utilisés, piscines, etc.
Le domaine alimentaire	bouteille, pots de yaourt, briques de lait, boites à œufs, flacons de détergent, sachets et sacs, cassiers, etc.
Le matériel de maison	Meuble, vaisselle, accessoires, fenêtres et portes en PVC, etc.
Divers articles	Isolations, ordinateurs, caméras, etc.

**Chapitre 02 :**  
**Dégradation des**  
**polymères**

## **Chapitre 02 : Dégradation des polymères**

---

Au cours du temps et selon les modes d'utilisation des matières plastiques, on observe souvent une altération de leurs propriétés, qui peut entraîner la mise hors service de ces produits.

Le vieillissement des matières plastiques se manifeste par une dégradation, souvent lente mais toujours irréversible de leurs propriétés. Des effets de cette dégradation découlent la notion de diminution de leur durée de vie, c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'une propriété (physique, chimique, ou électrique) atteigne un seuil au-dessous duquel le matériau devient inutilisable.

### **2.1 Définition :**

Le terme de vieillissement définit l'ensemble des processus chimiques et physiques irréversibles se produisant, au cours du temps, dans un matériau. Pour des conditions extérieures comme la température, les agents chimiques, les radiations UV, etc., le polymère subit ces contraintes diminuant ses qualités d'usage.

### **2.2 Principaux types de vieillissement :**

#### **2.2.1. Vieillissement physique :**

Le terme vieillissement physique englobe tous les processus conduisant à une altération irréversible des propriétés d'utilisation du matériau, sans qu'il y ait modification chimique de la structure des macromolécules constituant le matériau. Le vieillissement physique peut résulter de:

- Modifications de la configuration spatiale des macromolécules (cristallisation) – Phénomène de surface (fissuration milieu tensioactif).
- Phénomène de transport (pénétration de solvants, migration d'adjuvants). On distingue deux grandes catégories de phénomènes selon qu'ils impliquent ou non un transfert de masse c'est-à-dire un transport de petites molécules du matériau vers l'environnement (perte d'adjuvants) ou de l'environnement vers le matériau (absorption de solvants).

#### **2.2.1.1. Vieillissement physique avec transfert de masse :**

Les phénomènes de transport de masse font essentiellement appel aux notions de solubilité, de diffusion et de plastification.

\* **Pénétration de solvants** : La pénétration de solvants a pour conséquence le gonflement du polymère.

\* **Perte d'adjuvants** : La perte d'adjuvants résulte de la migration de ces derniers hors des matériaux. Dans tous les cas, le départ de l'adjuvant se traduit par la perte des propriétés qu'il était censé

d'apporter au polymère. La vitesse de perte de plastifiants dépend essentiellement de l'épaisseur du matériau de la température, de l'atmosphère et de la structure du plastifiant.

### 2.2.1.2. Vieillessement physique sans transfert de masse :

\* **Fissuration sous contrainte en milieu tensioactif** : En milieu tensioactif, les polymères sont le siège de fissurations dans les zones les plus contraintes et ceci après un temps pouvant varier entre quelques minutes et quelques jours, selon les conditions et la qualité des polymères. Le phénomène de fissuration est lié au développement de forces de tension superficielle à l'interface polymère liquide.

\* **Vieillessement physique interne (évolution de la morphologie)** : Le vieillissement physique interne est uniquement lié à des causes internes au matériau (mobilité moléculaire), c'est-à-dire au fait que le matériau est au terme de sa mise en œuvre, dans un état thermodynamiquement instable, le vieillissement résulte alors d'une évolution plus ou moins lente vers un état plus stable.

\* **Chocs thermiques (variations de température)** : Les chocs thermiques peuvent entraîner des ruptures mécaniques induites par dilatation.

### 2.2.2. Vieillessement chimique :

On appelle vieillissement chimique tout phénomène impliquant une modification chimique du matériau (polymère ou ses adjuvants) sous l'influence de l'environnement. En pratique, le vieillissement chimique se superpose souvent à un vieillissement physique et les deux phénomènes interfèrent. Les principaux types de réaction intervenant lors du vieillissement chimique sont les suivants :

- ✓ Coupure de chaînes.
- ✓ Dépolymérisation.
- ✓ Réticulation.
- ✓ Oxydation.

#### 2.2.2.1. Coupure de chaînes :

Les coupures de chaînes se produisent sur des sites distribués de manière aléatoire dans le réseau macromoléculaire. Une grande variété de mécanismes chimiques peut être la cause de coupure des chaînes. On peut citer la thermolyse, l'hydrolyse et la radiolyse.

Sur le plan de la structure, ces coupures de chaînes provoquent une diminution de la masse moyenne dans le cas des polymères linéaires et une diminution du taux de réticulation dans le cas des polymères tridimensionnels. Les propriétés physiques telles que les propriétés optiques, élastiques et thermiques sont très peu affectées.

Cependant, les coupures de chaînes affectent considérablement les propriétés mécaniques car elles sont responsables de la fragilisation du matériau.

#### 2.2.2.2. Dépolymérisation :

La dépolymérisation est un cas particulier de la réaction de coupure de chaînes, elle conduit à l'élimination d'un fragment moléculaire (monomère) et à une diminution très faible et rapide de la masse moléculaire. Une coupure de chaîne crée un site actif qui déstabilise la liaison monomère voisine et entraîne l'élimination séquentielle de molécules du monomère. La dépolymérisation est donc l'inverse de la polymérisation, elle est d'autant plus facile que l'énergie de liaison monomère-monomère est faible.

#### 2.2.2.3. Réticulation :

La réticulation est la réaction conduisant à la formation de ponts covalents entre les segments de chaînes voisines, elle se traduit par une diminution de la mobilité moléculaire. Dans le cas des polymères linéaires de taux de réticulation modérés. La réticulation se traduit par l'apparition de chaînes plus ramifiées de masses moléculaires plus élevées que les chaînes initiales.

#### 2.2.2.4. Oxydation :

L'oxydation est une réaction en chaîne amorcée par la rupture d'une liaison en radicaux libres. Par exemple, la dégradation oxydante du polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) conduit à la formation de composés carbonylés.

#### 2.2.3. Dégradation thermique :

Une élévation de température, que ce soit pendant l'utilisation du matériau ou pendant sa mise en œuvre entraîne une dégradation thermique des matières plastiques imputable à la modification de la structure des chaînes macromoléculaires. Cette dégradation thermique peut provoquer soit une rupture des chaînes (cas du polyéthylène PE), soit une dépolymérisation (cas du polyméthylméthacrylate PMMA), soit une réaction sur les groupes latéraux (formation d'HCl au cours de la pyrolyse du chlorure de polyvinyle PVC). A la limite, la dégradation thermique peut provoquer une combustion, réaction fortement exothermique.

#### 2.2.4. Dégradation hydrolytique :

Elle est principalement réservée aux polymères possédant des hétéro-éléments dans la chaîne principale : polyesters, polyamides, polyéthers, etc. La vitesse de dégradation est liée à la nature des substituant de la fonction hydrolysable mais aussi à la température, au pH et à la concentration dans le système. Ce dernier paramètre est extrêmement important, il est étroitement dépendant de l'hydrophile du matériau.

**Chapitre 03 :**  
**Déchets plastiques et**  
**leur valorisation**

## **Chapitre 03 : Déchets plastiques et leur valorisation.**

---

Au cours des dernières années, les déchets de différentes sources sont à l'origine de divers problèmes environnementaux liés à leur stockage et leurs quantités croissantes. Par ailleurs, les matériaux de construction traditionnels d'origine naturelle sont confrontés, à long terme, à l'épuisement des matières plastiques, qui sont l'une des innovations les plus importantes du 20ème siècle. En raison de leurs avantages liés à leur coût, leur légèreté, la facilité de leur utilisation, leur force et leur longue durée de vie sont des facteurs qui ont entraîné une croissance substantielle de la consommation de plastique est observée partout dans le monde ; ce qui augmente la production de leurs déchets.

### **3.1 Déchets plastiques :**

Les déchets plastiques proviennent des résidus de processus de production, de transformation et de consommation. Il existe donc plusieurs types de déchets plastiques :

#### **3.1.1 Déchets plastiques industriels :**

Ces déchets sont constitués de l'ensemble des déchets issus des processus de production des résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets. Les déchets de production proviennent des arrêts de réacteur de polymérisation, des purges de réacteurs et des lots déclassés. Ils présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PP, PS et PVC).

Quant aux déchets de transformation, elles proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage, etc.). On retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage. Les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage de d'arrêt de machine.

#### **3.1.2 Déchets plastiques de post-consommation :**

C'est l'ensemble des déchets issus de la consommation industrielle ou des particuliers. On distingue :

- Les déchets agricoles constitués essentiellement de films, sacs, futs et bidons de produits phytosanitaires. Il s'agit pour l'essentiel de polyoléfines (PEBD, PEHD et PP). Il y a également les futs, bidons, sacs de grande contenance dans les secteurs de la chimie, l'agroalimentaire, le bâtiment et les travaux publics, pour le conditionnement et le transport de divers autres produits. Enfin, on peut aussi citer les emballages en polystyrène expansé utilisés pour le calage lors du transport de produits fragiles.
- Les déchets électriques et électroniques issus de la filière du plastique tels que les ordinateurs, téléphones, appareils électroménagers et câbles en tout genre.
- Les déchets ménagers qui sont essentiellement constitués par les emballages. Pour ce gisement, les matières principales concernées sont : le PET (bouteilles de boissons gazeuses, eaux minérales, etc.), le PEHD (bouteilles de lait, produits lessiviels, etc.), le PEBD (sacs d'emballage) et le PVC (bouteilles d'eau minérale, etc.).

- Les déchets du bâtiment et des travaux publics tels que les tuyaux, revêtements de sols, câbles, mousses d'isolation, etc. Ces matériaux sont très fortement mélangés et leur degré de pollution est souvent élevé.
- Les déchets de véhicules hors usage (VHU) (en moyenne 14% en masse du véhicule). On y retrouve des polyoléfines, du PVC, des polycarbonates, des polyamides, des polyuréthanes, des résines thermodurcissables diverses, sans oublier les élastomères. Cette fraction ne cesse de croître du fait que les véhicules s'allègent de plus en plus et les équipements de sécurité sont en plein développement.

### **3.2 Impact des déchets plastiques :**

Les déchets plastiques sont considérés comme un problème environnemental sérieux partout dans le monde. La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, jetés peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour ces déchets plastiques sont une préoccupation croissante.

La composition de ces déchets plastiques est essentiellement du polyéthylène à basse densité à environ 23% (PEBD), suivi de 17.3% du polyéthylène à haute densité (PEHD), 18.5% de polypropylène (PP), 12.3% de polystyrène (PS), 10.7% du polychlorure de vinyle (PVC), 8.5% de polyéthylène téréphtalate (PET) et 9.7% d'autres types de déchets plastiques. [8]

### **3.3 Valorisation des déchets plastiques :**

Il existe en général trois grandes méthodes de valorisation du plastique :

#### **3.3.1 Valorisation énergétique :**

Consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci.

#### **3.3.2 Valorisation mécanique :**

Consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastiques à partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés. Plus le tri est efficace, plus le produit obtenu est de bonne qualité.

#### **3.3.3 Valorisation chimique :**

Consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester, etc.) pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques. [9]

### 3.4 Exemples de valorisation du plastique réutilisé:

#### 3.4.1 Polypropylène vierge :

Recyclé en fibres de 19, 12 et 6 mm de longueurs.

#### 3.4.2 Résidus d'automobiles broyé :

Résidus broyés d'automobiles composé essentiellement de plastique mixte et certains en caoutchouc, avec une dimension maximale des particules de 19 mm sous forme de flocons.

#### 3.4.3 Plastique déchiqueté :

La matière plastique recyclée (déchiquetée) est produite par broyage du plastique obtenu à partir de la récupération des plastiques mélangés. Les propriétés physiques du plastique réutilisé (polyéthylène à basse densité, PEBD) sont données dans le tableau 3.1.

**Tableau 3.1:** Propriétés physiques des déchets du PEBD.

Propriétés	Polyéthylène à basse densité ( PEBD ) .
Forme de l'agrégat .	Granulé .
Taille ( mm ) .	2.36_ 5.00
Densité .	0.92
Point de ramollissement ( C° ) .	120
Point de fusion ( C° ) .	140

#### 3.4.4 Fabrication de fuel :

La valorisation des plastiques pour la fabrication de combustibles peut être réalisée selon différentes méthodes, telles que la pyrolyse, la gazéification et la liquéfaction. Chacune de ces méthodes peut avoir des exigences spécifiques en ce qui concerne les caractéristiques des plastiques.

# **Chapitre 04 :** **Description du projet**

## Chapitre 04 : Description du projet.

Les déchets plastiques sont un problème pour l'environnement et la santé. Cependant, il peut être utilisé pour fabriquer du carburant. Cette solution réduit la quantité de déchets plastiques dans la nature tout en créant une source d'énergie renouvelable. Le processus de conversion du plastique en carburant est connu sous le nom de pyrolyse.

### 4.1 Définition de la pyrolyse :

La pyrolyse (figure 4.2) est un processus chimique qui implique la décomposition thermique d'un matériau organique en l'absence d'oxygène ou avec une quantité limitée d'oxygène. Lors de la pyrolyse, les matériaux sont chauffés à des températures élevées, généralement supérieures à 400 degrés Celsius, ce qui provoque la rupture des liaisons moléculaires des composés organiques (figure 4.1).

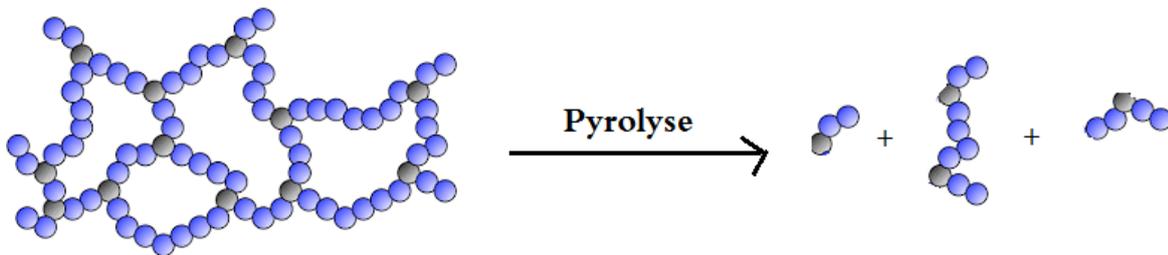


Figure 4.1 Décomposition des polymères.

✓ Le résultat de la pyrolyse dépend du matériau initial et des conditions de traitement, mais en général, la pyrolyse produit trois produits de base : un gaz, un liquide et un résidu solide appelé charbon actif.

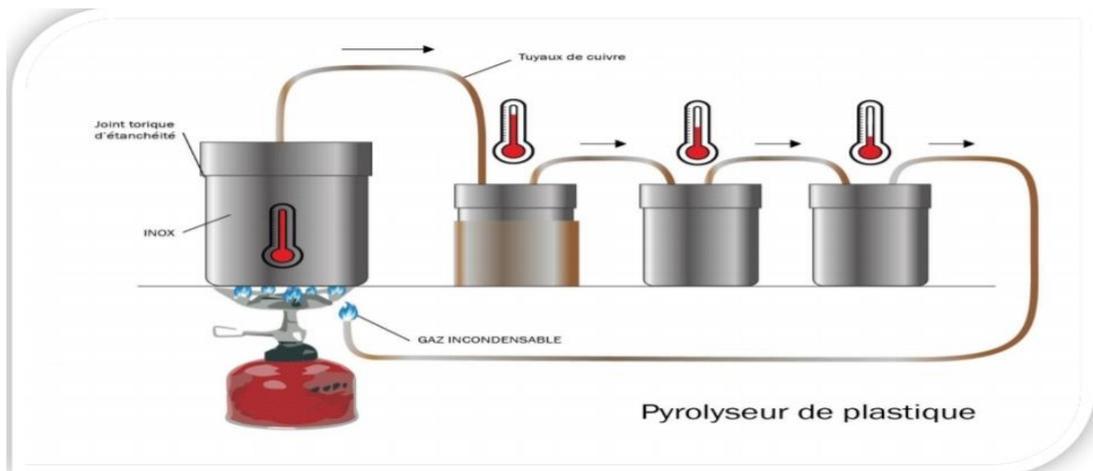


Figure 4.2 Pyrolyse.

**4.2 Prototype de la pyrolyse :** dans le cadre général, il existe 4 chambres pour réaliser la fusion du plastique et le transformer en fuel (figures 4.2):

➤ **Chambre de fusion de plastique :**

C'est dans cette chambre que le plastique est inséré et fondu. Le plastique utilisé peut être de différents types, tels que des sacs en plastique, des bouteilles ou d'autres produits en plastique recyclables et non recyclables. Le plastique est chauffé à haute température, généralement entre 400°C et 800°C. Le plastique fondu est préparé pour l'étape suivante :

#### ➤ **Première salle de condensation :**

Après la fusion du plastique, les gaz et vapeurs résultants sont dirigés vers la première chambre de condensation. Dans cette chambre, la température et la pression sont contrôlées pour provoquer la condensation des gaz. Les produits condensés sont récupérés et séparés en fractions liquides. Ceux-ci peuvent inclure des huiles et des carburants à base d'eau. Système de refroidissement utilisant la condensation pour diffuser la température

#### ➤ **Deuxième chambre de condensation :**

Les vapeurs et gaz restants de la première chambre de condensation sont dirigés vers la seconde chambre de condensation. Cette chambre permet une condensation supplémentaire des produits chimiques volatils restants. En utilisant des températures et des pressions spécifiques, ces gaz sont ensuite convertis en liquides.

#### ➤ **Troisième chambre pour la condensation :**

La troisième chambre de condensation est une étape supplémentaire pour maximiser la récupération de liquides précieux à partir des gaz résiduels. Il extrait les dernières fractions liquides et améliore l'efficacité globale du processus de transformation du plastique en carburant.

### **4.3 Conditions de la pyrolyse :**

Les conditions de la pyrolyse peuvent varier en fonction de la nature de la matière à traiter et des objectifs spécifiques du processus. Cependant, voici quelques paramètres généraux qui peuvent être contrôlés lors de la pyrolyse :

**\*Température :** La température est un facteur clé de la pyrolyse. Elle peut varier de quelques centaines à plusieurs milliers de degrés Celsius, en fonction des matériaux utilisés et des produits souhaités. Des températures plus élevées favorisent généralement la production de gaz, tandis que des températures plus basses peuvent favoriser la formation de liquides et de résidus solides.

**\* Pression :** La pyrolyse peut être effectuée à des pressions atmosphériques ou sous pression contrôlée. La pression peut influencer les cinétiques de réaction et les rendements des produits. Par exemple, des pressions plus élevées peuvent augmenter la formation de gaz.

**\* Temps de séjour :** Le temps de séjour fait référence à la durée pendant laquelle la matière est maintenue à une température donnée. Il peut varier de quelques secondes à plusieurs heures, selon les caractéristiques du matériau et les objectifs de la pyrolyse. Un temps de séjour plus long peut favoriser la formation de produits liquides, tandis qu'un temps de séjour plus court peut augmenter la production de gaz.

\* **Atmosphère :** La pyrolyse est généralement réalisée en l'absence d'oxygène (pyrolyse anaérobie) pour éviter la combustion complète de la matière organique. Cependant, dans certains cas, une petite quantité d'oxygène peut être introduite pour favoriser la combustion partielle et la production de gaz.

\* **Catalyseurs :** Dans certains cas, des catalyseurs peuvent être utilisés pour augmenter l'efficacité de la pyrolyse et modifier les produits finaux. Les catalyseurs peuvent influencer la sélectivité des réactions chimiques, favorisant ainsi la production de certains produits spécifiques.

#### 4.4 Etapes de la pyrolyse :

La pyrolyse est un processus chimique qui se produit lorsque des substances organiques sont chauffées à des températures élevées en l'absence d'oxygène. Cette décomposition thermique produit différents produits chimiques, tels que des gaz, des liquides et des résidus solides carbonisés. Voici les étapes générales de la pyrolyse :

✓ **Préchauffage :** La matière est chauffée à une température initiale pour amorcer le processus de pyrolyse. Cela peut être réalisé à l'aide d'une source de chaleur externe telle qu'un four ou un réacteur.

✓ **Décomposition initiale :** À mesure que la température augmente, la matière subit une décomposition thermique. Les liaisons chimiques des molécules organiques se brisent, ce qui entraîne la formation de produits volatils, tels que des gaz et des vapeurs.

✓ **Formation des gaz :** Les composés volatils formés lors de la décomposition initiale se vaporisent davantage et se transforment en gaz, tels que le monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), du méthane (CH<sub>4</sub>) et d'autres hydrocarbures légers.

✓ **Formation des liquides :** En plus des gaz, certains composés se condensent à des températures plus basses et se transforment en liquides tels que des huiles pyrolytiques, des goudrons, des alcools, des phénols et d'autres composés organiques complexes.

✓ **Formation de résidus solides :** Les composés qui ne se vaporisent pas complètement se transforment en résidus solides carbonisés, également appelés coke ou charbon de pyrolyse. Ces résidus peuvent être utilisés comme combustible ou comme matière première dans divers processus industriels.

**4.5 Processus de conversion des déchets plastiques en carburant :** La transformation du plastique en carburant est un processus complexe qui implique plusieurs étapes clés. Voici une description générale de ce processus :

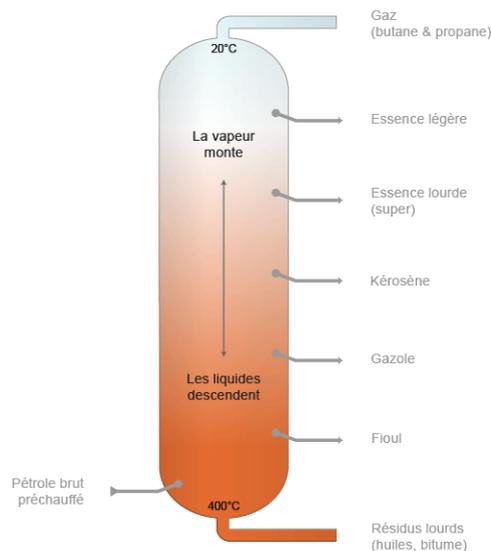
**4.5.1 Tri et préparation du plastique :** Tout d'abord, les déchets plastiques sont triés et préparés en fonction de leur composition chimique et de leur qualité. Les plastiques de haute qualité sont préférés car ils produisent un carburant de meilleure qualité.

**4.5.2 Pyrolyse :** Le plastique est ensuite chauffé à des températures élevées dans un réacteur sans oxygène, un processus appelé pyrolyse. Cela provoque la décomposition thermique des molécules de plastique en molécules plus petites, qui peuvent être récupérées sous forme de gaz, de liquide ou de solide.

**4.5.3 Condensation :** Les gaz issus de la pyrolyse sont ensuite refroidis et condensés en un liquide appelé pyrolysat, constitué d'un mélange complexe d'hydrocarbures, qui peuvent être raffinés en différents types de carburants.

**4.5.4 Distillation :** La distillation est ensuite utilisée pour séparer les différents composants du pyrolysat en fonction de leur point d'ébullition. Cela permet de récupérer des fractions de carburant à différentes températures, qui peuvent ensuite être raffinées pour produire du diesel, de l'essence ou du kérosène.

**4.5.5 Raffinage et purification :** Les produits liquides obtenus à partir de la pyrolyse sont généralement une combinaison de différents hydrocarbures. Ces produits peuvent être soumis à des processus de raffinage et de purification pour éliminer les impuretés et améliorer la qualité du carburant ou des produits chimiques obtenus. Ce processus ressemble à celui du pétrole (figure 4.3).



**Figure 4.3** Raffinage du pétrole.

**4.5.6 Utilisation finale :** Les produits obtenus à partir du processus de conversion du plastique en carburant peuvent être utilisés comme carburants alternatifs, tels que des carburants diesel ou des carburants légers pour l'industrie. Ils peuvent également être utilisés comme matières premières dans la fabrication de produits chimiques ou de nouveaux plastiques.

## 4.6 Réalisation du prototype expérimentale :

Pour ce processus, nous avons réalisé un prototype de pyrolyse expérimentale (figures 4.4, 4.5 et 4.6) équipé de :

- 1- Un réacteur de pyrolyse.
- 2- Une chambre d'expansion de gaz,
- 3- Trois niveaux de condensation,
- 4- Deux diffuseurs de gaz,
- 5- Un système de refroidissement équipé d'une pompe, d'un radiateur et d'un ventilateur,

6- Des bouteilles de récupération des produits,

7- Un réseau des conduits pour le cheminement des vapeurs de pyrolyse des déchets en plastique à travers le système.

8- Une source de chaleur (gaz du butane),

9- Sortie de gaz,

10- Filtre de fumées.



**Figure 4.4** Prototype expérimentale de pyrolyse (face 1).



**Figure 4.5** Prototype expérimentale de pyrolyse (face 2).



**Figure 4.6** Prototype expérimentale de pyrolyse (carburant résultant).

#### **4.7 Différentes fractions de la pyrolyse :**

La pyrolyse permet de séparer les différents composants en fonction de leur point d'ébullition. Voici les différentes fractions qui peuvent être obtenues par ce processus :

- **Gaz** : Cette fraction contient du méthane, du propane et du butane, qui ont des points d'ébullition très bas. Elle est utilisée comme combustible pour les appareils de chauffage, les barbecues, etc. (Figure 4.7).

- **Essence** : elle utilisée comme carburant pour les voitures et les motos (Figure 4.8).
- **Diesel** : La partie diesel est utilisé comme carburant pour les véhicules diesel (Figure 4.9).
- **Fioul lourd** : Cette fraction est utilisée comme combustible pour les bateaux, les centrales électriques et les chaudières (Figure 4.10).
- **Noir de carbone** : elle est utilisée comme combustible dans certaines industries (Figure 4.11).

Le tableau suivant résume les quantités de produits obtenus.

**Tableau 4.1** Quantités de produits de pyrolyse de 8kg de plastique et énergies résultantes.

Eléments	Quantité	Energie unitaire kwh/kg	Energie totale kwh
Gaz	2.2 kg	13.60	29.92
Gazoline	500 ml	12.70	29.21
Diesel	800 ml		
Huile	1000 ml		
Noir de carbone	3.5 kg	8.14	28.49
Total			87.62
Consommation	2kg de gaz butane	12.7	25.40
Output-input énergétique	87.62-25.40 = 62.22 (245%)		



**Figure 4.7** Gaz.



**Figure 4.8** Gazoline.



**Figure4.9** Diesel.



**Figure4.10** Huile.



**Figure 4.11** Noir de carbone.

Les résultats regroupés dans le tableau 4.1 présentent un gain d'énergie considérable, avec tous les produits résiduels à valeur ajoutées, sans oublier les avantages environnementaux.

La transformation du plastique en biocarburant offre une solution innovante pour résoudre les problèmes environnementaux actuels. Bien qu'il reste des défis à surmonter, cette technologie a le potentiel de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et de réduire la quantité de déchets plastiques dans les océans et les décharges.

Il est important de continuer à développer et à promouvoir cette technologie pour créer un avenir plus durable et respectueux de l'environnement.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

---

### Conclusion générale :

La valorisation des déchets plastiques pour la fabrication de fuel est une approche intéressante au niveau mondiale.

D'un côté, la valorisation des déchets plastiques en tant que source de carburant permet de résoudre plusieurs problèmes environnementaux. Les déchets plastiques sont un fléau mondial, entraînant une pollution considérable des océans, des sols et de l'air. Leur recyclage et leur transformation en fuel permettent de réduire la quantité de déchets plastiques présents dans l'environnement, ce qui contribue à la lutte contre la pollution.

De plus, en utilisant les déchets plastiques comme source d'énergie, on réduit également la dépendance aux combustibles fossiles traditionnels tels que le pétrole. Cela permet de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et de contribuer à la lutte contre le changement climatique. Par conséquent, la valorisation des déchets plastiques pour la fabrication de fuel peut être considérée comme une approche bénéfique sur le plan environnemental.

La pyrolyse est l'une des méthodes utilisées pour diminuer les déchets plastiques dans les décharges publiques.

Dans ce projet, nous avons réalisé un prototype de pyrolyse et nous avons effectué ce processus sur une masse de 08kg de plastique. Les résidus ont été : 3.5kg de noir de carbone (43.75%), 1.2L d'huile (15%), 0.9L de diesel (11.25%), 0.4L de gazoline (5%) et 2.2kg de gaz (25%).

La valeur énergétique des résidus correspond à 28.49kwh de noir de carbone, 29.21kwh de gazoil (huile, diesel et gazoline), ainsi que 29.92kwh de gaz. Cet out put d'énergie correspond à un total de 87.62kwh, l'énergie in put correspond à 25kwh, d'où une différence de 62.62kwh donnant un pourcentage de 250%.

Cependant, la valorisation des déchets plastiques en tant que source d'énergie ne résout pas le problème sous-jacent de la surconsommation de plastique. Pour vraiment faire face à cette question, il est essentiel de réduire la production de plastique à la source et de promouvoir des alternatives durables.

# Références

## **Références:**

[1] : FRANCK, COLLEGE CESAR. LES PLASTIQUES EN DEBAT. FRANCE : COLLEGE CESAR FRANCK, 2013.

[2] : M. BENSALD, ETUDE DES POLYMERES PAR DYNAMIQUES MOLECULAIRE», THESE DOCTORAT, UNIVERSITE D'ORAN DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE MOHAMED BOUDIAF, ALGERIE (2015).

[3] : I. COUILLET., « PROPRIETES DYNAMIQUES EN MILIEU AQUEUX DE SYSTEMES MIXTES MICELLES VERMICULAIRES-POLYMERES ASSOCIATIFS D'ORIGINE NATURELLE », 2005.

[4] : G. TEYSSERE, L. BOUDOU, « POLYMERES ET COMPOSITES POUR L'ELECTROTECHNIQUE », TECHNIQUES DE L'INGENIEUR, D2335, 2010.

[5] : Z. IBTISSAM. ELABORATION ET CARACTERISATION D'UN MATERIAU COMPOSITE POLYMER-ZNO, UNIVERSITE DE TLEMCEM, 02 JUILLET 2017.

[6] : M. BUYCK, 'GESTION DES DECHETS PLASTIQUES ET DETECTION DE MICRO-DECHETS PLASTIQUES EN STATION D'EPURATION EN WALLONIE', MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE GEMBLoux, 2018.

[7] : A. ABDELAOUF., COMPORTEMENT MECANIQUE EN TRACTION MONOTONE D'UN POLYMER ASSOCIE AU CARBONATE DE CALCIUM (PEHD 5502/CUCO3), UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2017.

[8] : N. LATROCH, EFFET DES AGREGATS A BASE DE DECHETS PLASTIQUES SUR LES DIFFERENTES PROPRIETES DES MATERIAUX COMPOSITES MORTIER-POLYMER, THESE DE DOCTORAL, UNIVERSITE DE MOSTAGANEM 2019.

[9] : B. TRAORE, ELABORATION ET CARACTERISATION D'UNE STRUCTURE COMPOSITE (SABLE ET DECHETS PLASTIQUES RECYCLES) : AMELIORATION DE LA RESISTANCE PAR DES CHARGES EN ARGILES', THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE DE FELIX HOUPHOUËT- BOIGNY, 30 NOVEMBRE 2018.

[10] : BENMEKIDECHE-GOUISSEM, L. ETUDE DE L'EFFET DES PARAMETRES DE TRANSFORMATION ET DES EXTENSEURS DE CHAINES SUR LES PROPRIETES DU POLY (ETHYLENE TEREPHTHALATE). MEMOIRE DE MASTER, SETIF, 2015.

[11] : SALHI, FOUDEL ET SALHI, MOUNIR. ETUDE ET OPTIMISATION DE QUELQUES PARAMETRES DE VALORISATION DES BOUTEILLES EN POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) EN FIBRES DE POLYESTER. MEMOIRE DE MASTER UNIVERSITE A. MIRA – BEJAIA, 2012. (SALEHI ET SALEHI, 2012).

[12] : BENAYACHE.H, ET GHELLAF. F. CARACTERISATION DU POLY (ETHYLENE TEREPHTHALATE) (PET) RECYCLE UTILISE PAR L'ENTREPRISE RETPLAST POUR LA FABRICATION DES FIBRES. MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE A. MIRA – BEJAIA, 2016.

[13]: M. GOUASMI, 'EFFET DES AGREGATS LEGERS A BASE DE POLYTEREPHTHALATE D'ETHYLENE SUR LES PROPRIETES DES MORTIERS' MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE D'ORAN, 23 MAI 2013.

[14]: F. DERGAL, A.MANSRI, L.BILLON. CHARACTERIZATION BY TGA AND UV-VISIBLE OF NEW PIGMENT MATERIALS CONTAINING MICA, P4VP AND D&C REDÓ DYE, CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 32(2013), 2131-2136. DOI : 10.3303/CET1332356.

- [15]: A. MANSRI, F. DERGAL, L. BILLON, FORMULATION AND CHARACTERIZATION OF NEW PH DEPENDENT [ALIZARIN-POLY(4-VINYLPYRIDINE)-MICA PIGMENTS, MACROMOL. SYMP. 354(2015)131-144.DOI : 10.1002/MASY.20140000.
- [16]: K. KEMPE, S. JACOBS, H.M.L. LAMBERMONT-THIJS, M. FIJTEN, R. HOOGENBOOM, U.S. SCHUBERT, RATIONAL DESIGN OF AN AMORPHOUS POLY(2-OXAZOLINE) WITH A LOW GLASS-TRANSITION .
- [17]: D. CHAKRABARTY, POLYMER GELS AND NETWORKS : VOL 6 : 191-204 ; (1998).
- [18] : PATRICK COMBETTE, ISABELLE ERNOULT, PHYSIQUE DES POLYMERES, TOME I (STRUCTURE FABRICATION, ET EMPLOI), PARIS 2005. P32.
- [19] : A. AIT-ZOURA ALI, S. CHIKBOUNI, << MODELISATION DE L'INFLUENCE D'UNE CHARGE MINERALE ET D'UN CYCLE DE RECYCLAGE SUR LA DIFFUSION DE L'IRGANOX 1076 DANS UN EMBALLAGE ALIMENTAIRE A BASE DE POLYETHYLENE HAUTE DENSITE>>, MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA, ALGERIE (2017).
- [20]: K. KEMPE, S. JACOBS, H.M.L. LAMBERMONT-THIJS, M. FIJTEN, R. HOOGENBOOM, U.S. SCHUBERT, RATIONAL DESIGN OF AN AMORPHOUS POLY(2-OXAZOLINE) WITH A LOW GLASS-TRANSITION
- [21]: D. CHAKRABARTY, POLYMER GELS AND NETWORKS : VOL 6 : 191-204 ; (1998).
- [22] : PATRICK COMBETTE, ISABELLE ERNOULT, PHYSIQUE DES POLYMERES, TOME I (STRUCTURE FABRICATION, ET EMPLOI), PARIS 2005. P32.
- [23] : M. GOUASMI, 'EFFET DES AGREGATS LEGERES A BASE DE POLYTEREPHTALATE D'ETHYLENE SUR LES PROPRIETES DES MORTIERS' MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE D'ORAN, 23 MAI 2013.