

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار تليجي بالاغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOuat  
كلية العلوم  
FACULTE DES SCIENCES  
قسم البيولوجيا  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION  
D'UN DIPLÔME de MASTER

*Filière : écologie et environnement*

*Option : écologie végétale et environnement*

**THEME**

---

**Enquête sur la situation du recyclage du  
caoutchouc et du plastique en Algérie.**

---

Présentée par :

MAHROUG ERRAS Arbia

*Soutenu publiquement le 04/07/2023*

Devant le Jury :

Président : M. BOUMEDDIENE Mohamed Abdelmadjid (M.A.A. Université de Laghouat)

Examinatrice: M<sup>elle</sup> BENCHIKH Imen (MCA. Université de Laghouat)

Rapporteuse : M<sup>elle</sup>. ABDESSELAM Amira (MAA. Université de Laghouat)

Année Universitaire 2022/2023

## *Remerciements*

Je remercie **Dieu Tout-Puissant** de m'avoir donné la santé et la volonté de commencer et de terminer cette mission.

Tout d'abord, je remercie **Mme Abdesselam Amira** de nous avoir encadrés et pour tout le merveilleux soutien, les encouragements qu'elle nous a apportés et dirigés qui nous inspirent toujours.

Je remercie les membres de jury **M. Boumeddiene Mohamed Abdelmadjid**, pour nous avoir honorés par sa présence en tant que président du jury.

Je tiens à remercier également Mme **Benchikh Imen** accepté d'examiner ce travail.

Je remercie les **formateurs de l'incubateur** de l'université et la plateforme technologique de **CRAPCI-LAGHOUAT**

Je tiens à remercier **M. Ali chatti** enseignant du département de mécanique et **M. Mahdi Marfoua** de nous avoir fourni les informations nécessaires.

Je remercie **M. Goual idriss** Qui nous a fourni des références bibliographiques.

Je remercie les cadres du **centre d'enfouissement technique d'Aflou** et **l'Agence Nationale des Déchets**, car ils nous ont accueillis et fourni des échantillons.

## *Dédicace*

*A mes chers **parents**, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, notamment **ma mère** Cela essaie toujours de me rendre heureux.*

*A mes chères **sœurs** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mon cher **frère** pour leur appui et leur  
Encouragement,*

*À ma **grand-mère** pour son soutien constant*

*A toute ma **famille** pour leur soutien tout au long de mon  
parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués,  
et le fruit de votre soutien infailible,*

*À mes tous mes amis **Tassnim, Meriem, Imane, Yasmine, Nedjat,  
Saïda et Mebarka** merci de partager de beaux moments avec  
moi*

*Et à mes **collègues du club de science** et à mes collègues de  
l'écologie*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

## الملخص

تركز هذه الدراسة على استعادة نفايات المطاط وعلى وجه الخصوص الإطارات المستعملة واستعادة النفايات البلاستيكية ، حيث يقلل تحويل المواد المعاد تدويرها إلى منتجات جديدة من حجم نفايات المطاط والبلاستيك وأضرارها البيئية ويساهم في التنمية المستدامة. من أجل الحصول على مادة خام جديدة قابلة للاستهلاك بخصائص محسنة مع العلم أن المطاط والبلاستيك بعد إعادة التدوير يفقدان بعض الخصائص ، مثل تحسين المتانة والقوة ... إلخ. و بالتالي الحصول على منتجات ذات نوعية جيدة ومربحة. لذا تستند الدراسة إلى استعادة حبيبات المطاط المعاد تدويرها عن طريق المعالجة بالحرارة وإمكانية خلط هذه المادة مع PET المعاد تدويره من خلال عملية الصهر.

الكلمات المفتاحية: المطاط ، البلاستيك ، الصهر ، البوليمر ، المطاط الصناعي ، إعادة التدوير

---

## Résumé

Cette étude porte la valorisation des déchets caoutchoutique et notamment les pneus usagés et la valorisation des déchets plastique. La conversion de matériaux recyclés en nouveaux produits réduit le volume de déchets de caoutchouc et de plastique et leurs dommages environnementaux et contribue au développement durable. Afin d'obtenir une nouvelle matière première consommable avec des propriétés améliorées sachant que le caoutchouc et le plastique après le recyclage perdent certaines propriétés, telles que l'amélioration de la durabilité et de la résistance...Etc. Et ainsi d'obtenir des produits de bonne qualité et rentables. Donc l'étude est basé sur la récupération de granules de caoutchouc recyclés par la dévulcanisation et la possibilité d'utiliser cette matière pour mélangée avec le PET recyclée par le processus de fusion.

**Mots clés : Caoutchouc, Plastique, Fusion, Polymère, élastomère, recyclage**

---

## Abstract

This study covers the recovery of rubber waste and in particular used tires and the recovery of plastic waste. The conversion of recycled materials into new products reduces the volume of rubber and plastic waste and their environmental damage and contributes to sustainable development. In order to obtain a new consumable raw material with improved properties knowing that rubber and plastic after recycling lose some properties, such as improving durability, strength and resistance, and thus obtain products of good quality and cost effective. So the study is based on the recovery of rubber granules recycled by devulcanization and the possibility of using this material to be mixed with recycled PET by the melting process.

**Keywords: Rubber, Plastic, Fusion, Polymer, elastomer, recycling**

# Table des matières

Introduction.....	
Erreur ! Signet non défini.	
Chapitre I : Déchets de caoutchouc et plastique .....	4
I.1 Caoutchouc et déchets de caoutchouc.....	5
I.1.1 Historique .....	5
I.1.2. Définitions .....	7
I.1.3 Classification des caoutchoucs .....	14
I.1.4 Propriétés des types de caoutchouc .....	14
I.1.5 Caractérisation des caoutchoucs.....	16
I.1.6 Mise en œuvre du caoutchouc synthétique .....	18
I.2. Caoutchouc des pneus .....	23
I.2.1 impact environnemental du caoutchouc .....	24
I.3.Déchets de caoutchouc.....	25
I.3.1.Valorisation des déchets de caoutchouc .....	28
I.3.1.1. valorisation des déchets de caoutchouc en Algérie.....	31
I.3.2. Recyclage de caoutchouc .....	31
I.4.Déchets de plastique .....	33
I.4.1 Plastique et déchets de plastiques .....	33
I.4.2. Différents types plastique .....	35
I.4.3. Caractéristiques des plastiques.....	38
I.4.4. Composition chimiques d'un plastique .....	38
I.4.5. Processus de fabrication des matières en plastique .....	39
I.4.6. Utilisation et domaine de l'application de plastique .....	40
I.5. Matériau polytéraphthalate d'éthylène.....	40
I.5.1. Fabrication de PET.....	40
I.5.2. Propriétés générale de PET .....	40
I.5.3. Domaines d'application de PET .....	41
I.5.4. Recyclage et valorisation de PET .....	41
I.5.5. Risques associés à l'utilisation du PET recyclé .....	42
I.6. Gestion des déchets de plastique .....	42
I.6.1. Valorisation des déchets de plastique.....	42
I.7. Problèmes environnementaux de déchets de plastique .....	43

<b>I.8. Recyclage de plastique.....</b>	<b>45</b>
<b>I.8.1 Plastiques destinés à l'enfouissement .....</b>	<b>45</b>
<b>I.8.2 Incinération des matières plastique.....</b>	<b>46</b>
<b>I.9. Recyclage de plastique en Algérie .....</b>	<b>46</b>
<b>Chapitre 2 : Matériel et méthodes .....</b>	<b>48</b>
<b>II.1. Sortie sur terrain au centre d'enfouissement technique d'Aflou .....</b>	<b>49</b>
<b>II.1.1. Localisation géographique.....</b>	<b>49</b>
<b>II.2. Stage pratique à l'agence Nationale des déchets .....</b>	<b>50</b>
<b>II.3. Collecte des échantillons de caoutchouc et de PET.....</b>	<b>51</b>
<b>II.3.1 Caractérisation de matière de granules de caoutchouc .....</b>	<b>51</b>
<b>II.4. Prétraitement des échantillons.....</b>	<b>52</b>
<b>II.5. Processus de fusion des deux matériaux .....</b>	<b>54</b>
<b>Chapitre III : Résultat et discussion.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>III.1 Centre d'enfouissement technique.....</b>	<b>56</b>
<b>III. 2 Agence nationale des déchets.....</b>	<b>58</b>
<b>II.2.1 Statistiques selon l'agence nationale de déchets 2019/2020 .....</b>	<b>61</b>
<b>III.2.2 Valorisation de plastique en Algérie : .....</b>	<b>61</b>
<b>III.2.3 Valorisation de déchets des pneus usagés :.....</b>	<b>64</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>66</b>
<b>Références.....</b>	<b>67</b>

## Liste des tableaux

Tableau 2:Fiche technique de CET d'Aflou.....	50
Tableau 3:Récapitulatif des résultats de la caractérisation physiques des matériaux de base.	51

## Liste des figures

Figure 1 : jeu de pelote pratiqué par les aztèques. Six cent soixante-et-un terrains ont été recensés en 1978, dont 84 % en Mésoamérique.....	6
Figure 2: premier ballon à hydrogène habité piloté par les professeurs Jacques Charles et Nicolas.....	7
Figure 3: extraction de latex de l'arbre Hevea brasiliensis .....	9
Figure 4: Vue schématique du tronc de l'Hevea brasiliensis : A, arbre en saignée, B, organisation schématique générale de l'écorce au niveau de l'incision .....	9
Figure 5: zones productrices de caoutchouc naturel (1995).....	10
Figure 6:Formule chimique d'isoprène et de polyisoprène.....	10
Figure 7:Formule chimique de caoutchouc naturel de structure (cis) et (trans). .....	11
Figure 8: Formule chimique de caoutchouc avant et après la vulcanisation. ....	12
Figure 9: Structure moléculaire du caoutchouc avant et après le processus de vulcanisation..	12
Figure 10:Formule chimique SBR.....	13
Figure 11: Mélangeurs externes .....	18
Figure 12: Schéma d'un mélangeur interne .....	19
Figure 13: Composition d'un mélange de caoutchouc. ....	19
Figure 14: Schéma de l'extrusion.....	21
Figure 15: Schéma de calandrage.....	21
Figure 16: Schéma général de la mise en œuvre des élastomères. ....	22
Figure 17:production des pneus dans le monde.....	23
Figure 18: Production globale des pneus de 2014 à 2024 .....	24
Figure 19: incendies des pneus.....	26
Figure 20: Incendie de pneus à Stanislaus Co California 1999.....	27
Figure 21: Différents demi-produits issus des pneus usagés .....	30
Figure 22: Utilisations innovantes des pneus usés (a,b,c) stabilité de la sous-couche routière, (d) morceaux de pneus comme remblai matériau, (e) stabilité de la pente, (f) pare-chocs du navire au quai. ....	32
Figure 23: taux global du pays les plus produire des déchets plastiques.....	34
Figure 24: polymérisation.....	39
Figure 25: Codes d'identification des produits plastiques recyclables.....	42
Figure 26: Sacs de plastique dans l'arbre. ....	44
Figure 27: Carte de la centre d'enfouissement technique d'Aflou CET .....	49
Figure 28: Interface de l'entrée du centre d'enfouissement d'Aflou.....	49
Figure 29: entré de l'agence nationale des déchets. ....	50
Figure 30: PET recyclé et granules de caoutchouc avec NaOH.....	52
Figure 31: matières après séchage .....	53
Figure 32: Appareil de mesure le point de fusion. ....	53

Figure 33: Réglage de la température des zones de l'extrudeuse.....	54
Figure 34: Quelque matière de plastique recyclé. ....	56
Figure 35: Recyclage des déchets au CET - Aflou.....	57
Figure 36: Statistiques des quantités de déchets de plastique dans la wilaya de Laghouat en (2019-2022).....	57
Figure 37: quantité de la matière récupérée en 2022.....	58
Figure 38: composition des déchets ménages en Algérie.....	61
Figure 39: Processus de valorisation du plastique.....	62
Figure 41: Répartition des recycleurs et récupérateurs par type de déchets.....	63
Figure 42: Wilayas pilotes et DS/DSD concernés par la campagne de quantification.....	65

## Liste d'abréviation

**PET** : polyéthylène téréphtalate

**PE** : polyéthylène

**PP** : polypropylène

**PS** : polystyrène

**PC**: polycarbonate

**PVC**: Polyvinyl chloride

**PEHD**: polyethylene high-density

**PUR**: polyuréthane

**PA**: polyamide

**POM**: polyoxyméthylène

**PES**: polyethersulfone

**PF**: phénoplastes, « résines phénol-formaldéhyde »

**MF**: aminoplastes, résines mélamine-formaldéhyde

**DMA**: déchets ménages et assimilés

**SBR**: styrene butadiene rubber

**AND**: Agence nationale des déchets

**CET**: centre d'enfouissement technique

**EPDM**: ethylene propylene diene monomer rubber

**GTR**: ground tire rubber

**NR**: natural rubber

**CB**: Carbone noire

**DEW**: DIRECTION DE L'EMPLOI DE LA WILAYA D'ALGER

**EPIC**: établissement public à caractère industriel et commercial

**DS**: déchets spéciaux

**DSD**: déchets spéciaux et spéciaux dangereux

**CU**: coefficients d'uniformité

**CC:** coefficients de classement

**D<sub>MAX</sub>:** diamètre maximum

**PET<sub>r</sub>:** polyéthylène téréphtalate recyclé

**MPR:** matière première recyclé

A decorative scroll graphic with the word "Introduction" written on it. The scroll is white with a black outline and has a small grey circle at the top right corner, suggesting a rolled-up end. The text "Introduction" is written in a black, serif font in the center of the scroll.

# Introduction

## Introduction

---

Avec l'expansion des marchés et l'augmentation de l'industrialisation dans divers domaines, le monde est confronté à de nombreux déchets qui nuisent à l'environnement et à la santé et sont difficiles à éliminer. Par conséquent, le monde a pris conscience de l'importance d'évaluer, de traiter et de gérer les déchets dans le cadre du développement durable, car de nouveaux produits utilisables peuvent être fabriqués selon des critères spécifiques en fonction du type de déchets utilisés. Les processus de gestion des déchets comprennent plusieurs étapes, telles que la planification de la collecte, du transport, de la classification, du stockage et de l'exploitation des installations de traitement des déchets. Ce processus assure la sécurité des travailleurs, de la communauté environnante et de l'environnement. Les déchets de caoutchouc posent un grave problème environnemental, car ils mettent beaucoup de temps à se décomposer naturellement et continuent de s'accumuler dans les marécages et les zones humides et de polluer l'environnement, et la fabrication de matières plastiques a connu une croissance rapide au cours des dernières années et une grande variété d'applications. Cette utilisation intensive s'est accompagnée de la production parallèle de grandes quantités de déchets plastiques. Par conséquent, la première prise de conscience de l'interaction des matériaux polymères avec l'environnement était principalement liée à la problématique du traitement et du recyclage des déchets plastiques (**Carrega et al., 2012**).

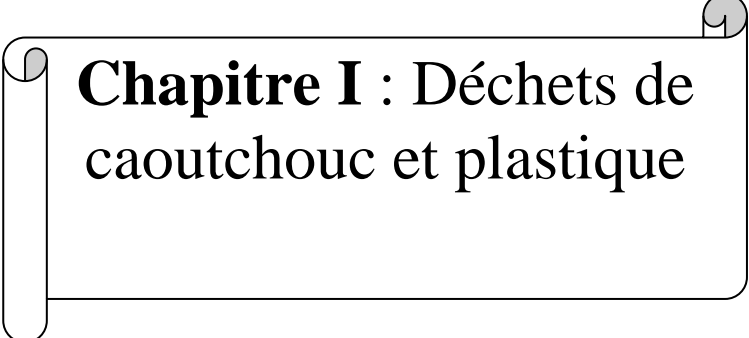
Notre étude consiste à la réutilisation des matières recyclées et incorporer pour obtenir un nouveau matériau commercialisable avec une qualité et des propriétés améliorées l'expérience traite de fusion de poudre ou bien des granulés de caoutchouc recyclés avec du plastique recyclé. Il est connu que tout matériau soumis au recyclage ne perd que des propriétés. Par conséquent, il est possible d'améliorer les propriétés et la structure du caoutchouc et du plastique, et par cette combinaison, Les mélanges de caoutchoucs et de plastiques ont à la fois une longue histoire et une variété d'applications, car les mélanges conservent la majeure partie de la rigidité des thermoplastiques et confèrent une partie de la résilience et de la résistance aux chocs des caoutchoucs. La plupart des mélanges utiles ont une morphologie de caoutchouc dispersée dans la matrice thermoplastique puisque l'inverse ne conduit pas au même degré d'utilité. Les propriétés de ces mélanges dépendent du rapport relatif du caoutchouc et du plastique et, plus important encore, de la morphologie de la dispersion (**Datta, 2016**).

## **Introduction**

---

Le premier chapitre concerne du caoutchouc, de ses types et de ses utilisations, et de la valorisation des déchets de pneus. Car c'est un domaine peu difficile et rare en Algérie. Dans le deuxième partie de chapitre 1 concerne du plastique, de ses types et de ses déchets qui peuvent être recyclés et utilisés dans de nouveaux produits. Il existe également de nombreuses normes et exigences fixées par le ministère de l'Environnement pour le recyclage, telles que la détermination du pourcentage de matériaux utilisés dans produits recyclés et limiter l'utilisation de matériaux nocifs et polluants pour l'environnement, et prévoir des plans de recyclage et d'élimination sûre des déchets.

Le deuxième chapitre concerne de la collecte d'échantillons de caoutchouc recyclé et de plastique recyclé d'un type PET et de leur préparation. Le troisième chapitre traite des statistiques sur la valorisation des déchets de caoutchouc de pneus et de plastique notamment le PET en Algérie.



**Chapitre I : Déchets de  
caoutchouc et plastique**

### I.1 Caoutchouc et déchets de caoutchouc

La fabrication et la production de caoutchouc restent fortes en raison de la forte demande du marché. Basé sur les statistiques montrent que la quantité de caoutchouc naturel (NR) produite a doublé en 2015 par rapport à 2000. On s'attend à ce que la demande de caoutchouc reste forte car les produits en caoutchouc sont encore diversifiés (**Leong et al., 2022**).

Le caoutchouc est largement utilisé dans de nombreuses applications allant de la maison, de la santé, de l'armée, de l'automobile, de la construction et des sols de terrains de jeux. Les pneus de voitures et de camions sont la principale application du caoutchouc vulcanisé en raison de sa haute résistance aux conditions extérieures difficiles (réactifs chimiques, températures élevées, rayonnement et contraintes de cisaillement) pendant sa durée de vie. Avec une durée de vie moyenne d'au moins 80 000 miles, un grand nombre de pneus usagés sont produits, environ 1 milliard de pneus périmés par an (**Fazli et Rodrigue, 2020**).

L'augmentation de la production et de la consommation de caoutchouc augmente inévitablement la proportion de déchets de caoutchouc, et une manipulation ou un traitement inapproprié des déchets peut nuire à l'environnement. Cela peut être considéré comme un obstacle à la réalisation de l'objectif de développement durable 12 des Nations Unies (ODD12) sur la « consommation et production responsables » qui vise à parvenir à une bonne gestion des déchets et à réduire l'accumulation de déchets grâce à la pratique de la gestion des déchets 3R (**Leong et al., 2022**).

#### I.1.1 Historique

Le terme « caoutchouc » vient du mot indien *cahutchu* (**Brosse et al, 2002**) (4), *caotchu* où *Cao* signifie bois et *tchu* qui pleure (bois qui pleure). Il n'est pas facile de dater les premières utilisations du caoutchouc, mais les historiens s'accordent à dire que les civilisations précolombiennes connaissaient et utilisaient ce matériau. Il était utilisé par les Mayas et les Aztèques dans leur sport national, le « jeu de balle » mais aussi consommé pour ses vertus médicinales. Après les grandes découvertes du XVe siècle, les explorateurs européens et les colons d'Amérique centrale et du Sud ont remarqué chez les peuples autochtones l'utilisation d'une substance qui leur était alors

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

inconnue. Où les Amérindiens fabriquent beaucoup de choses à partir de latex en moulant sur de l'argile (boules, torches, toiles cirées) (Bordet, 2022).

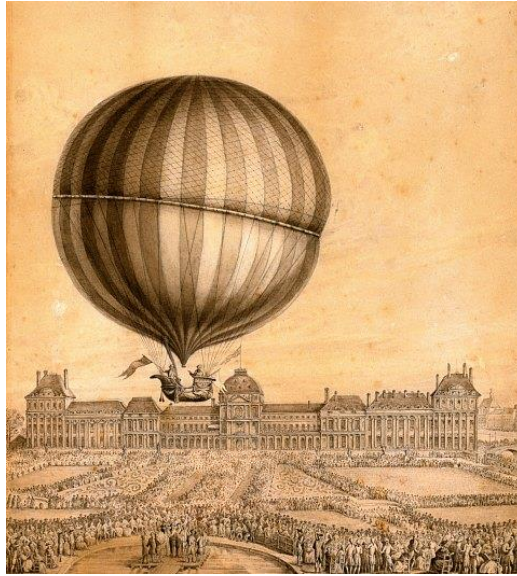


**Figure 1 : Jeu de pelote pratiqué par les aztèques. Six cent soixante-et-un terrains ont été recensés en 1978, dont 84 % en Mésoamérique. (Aborigenes, 2022).**

Cette substance inconnue, qui a été ramenée en Europe, n'a pas reçu beaucoup d'intérêt car il était difficile de lui trouver une application. D'autant plus que le latex sous sa forme naturelle présente plusieurs inconvénients :

- Il fond à la chaleur et se décompose au froid.
- Devient collant lorsqu'il est exposé au soleil;
- Il coagule et brunit à l'air libre.

Le 27 août 1783 à Paris, Jacques Charles, physicien, chimiste et inventeur français, lance le premier ballon au monde gonflé à l'hydrogène. En collaboration avec les frères Anne-Jean-Robert et Nicolas-Louis, ingénieurs et aérostiers. L'enveloppe de ce ballon sphérique est entièrement en soie imprégnée d'un vernis à base de latex pour assurer l'étanchéité (Bordet, 2022).



**Figure 2: Premier ballon à hydrogène habité piloté par les professeurs Jacques Charles et Nicolas (la France pittoresque, 2012).**

En 1888, l'Écossais John Boyd Dunlop invente le pneumatique. Il a donc remplacé l'habillage solide des roues de vitesse par tube creux en caoutchouc gonflé à l'air. En 1889, il crée une entreprise de fabrication de pneumatiques. En 1839, il met "par hasard" au point le procédé de "vulcanisation" dont il consiste le mélange de caoutchouc et de soufre a été "cuit" et laissé caoutchouter conserve cependant ses caractéristiques d'origine, Le caoutchouc et le soufre étaient cuits très grossièrement et ne permettaient pas d'obtenir matériau complètement homogène. En 1842, il découvrit que l'application de vapeur sous pression au caoutchouc mélangé à le soufre a permis d'obtenir une substance parfaitement homogène. En 1909, l'Allemand Fritz Hofmann inventé le caoutchouc synthétique et parvint à obtenir un produit très semblable au caoutchouc à partir d'isoprène (**Benjamin, 2015**).

### **I.1.2. définitions**

#### **I.1.2.1. les élastomères**

Les élastomères sont des polymères de haute masse moléculaire et à chaînes quasiment linéaires. Dont la principale caractéristique est la grande longueur des chaînes moléculaires quasiment linéaires. Les élastomères possèdent une haute élasticité, déformables jusqu'à plus de 500% d'allongement tout en reprenant leur forme d'origine lorsque la contrainte appliquée disparaît (**Pic, 2009**).

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

Les macromolécules (ensembles de monomères) entrelacées, forment occasionnellement des ponts entre elles. Environ un pont pour quelques centaines de monomères, Le nombre de ponts doit rester faible. Sous contrainte, les molécules glissent par reptation sauf au niveau des ponts. Une contrainte mécanique d'élongation et les segments entre deux ponts s'étirent alors ; qu'on supprime l'élongation, et les mouvements de relaxation entre les molécules les ramènent à leur configuration à leur forme initiale (**Pic, 2009**).

Un élastomère est donc un polymère dit « élastique » : il supporte de très grandes déformations, presque totalement réversibles. Le terme élastomère désigne ainsi tous les caoutchoucs synthétiques possédant l'élasticité dite caoutchoutique (**Pic, 2009**).

### I.1.2.2. Caoutchouc naturel

Le caoutchouc naturel (NR, selon l'abréviation internationale normalisée) est un polyisoprène naturel de microstructure supérieure à 99% cis 1.4. Il est extrait dans la forme de latex de l'écorce de l'hévéa (*Hevea brasiliensis*) de l'origine du bassin de l'Amazone et implanté en Afrique et en Asie du sud-est. (**Carrega et al., 2012**). Le caoutchouc naturel peut être produit aussi à partir de l'arbuste guayule (*Parthenium argentatum*) qui croit dans des régions chaudes et arides comme le Sud-ouest des Etats-Unis (**Sadaka, 2010**).

Il est collecté en coupant l'écorce des bûches pour que le latex s'écoule, puis directement versé dans des seaux placés au fond de celui-ci, puis filtré, fixé à l'ammoniaque et pressé pour réduire sa teneur naturelle en eau, puis de l'acide acétique ou de l'acide formique est ajouté pour la filtration, la centrifugation et la coagulation du latex (**Carrega et al., 2012**)



Figure 3: Extraction de latex de l'arbre *Hevea brasiliensis*. (Aquaportail, 2017)

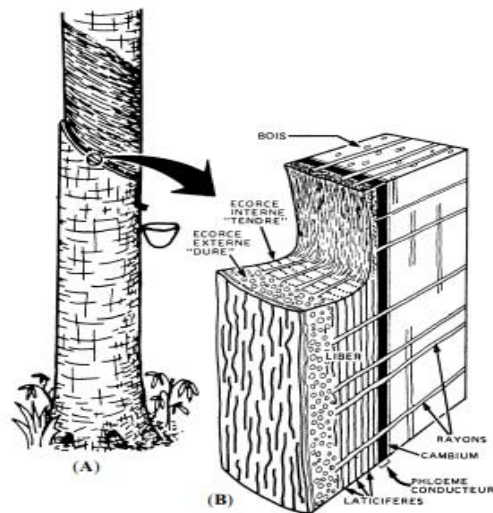
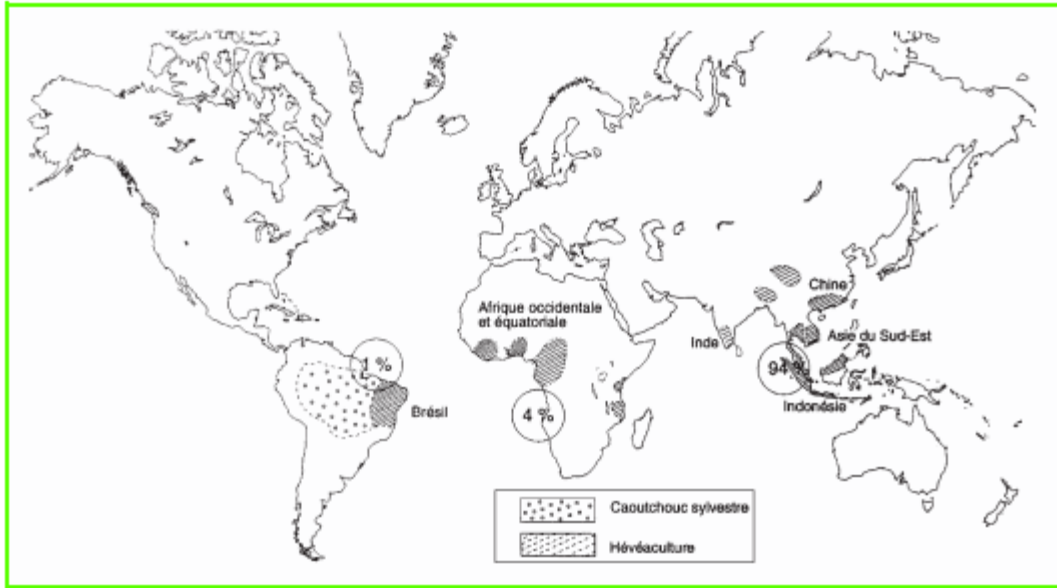
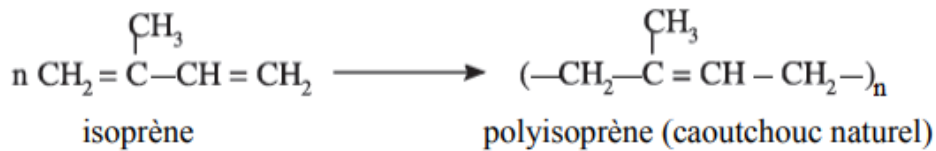


Figure 4: Vue schématique du tronc de l'*Hevea brasiliensis* : A, arbre en saignée, B, organisation schématique générale de l'écorce au niveau de l'incision. (COMPAGNON, 1986)



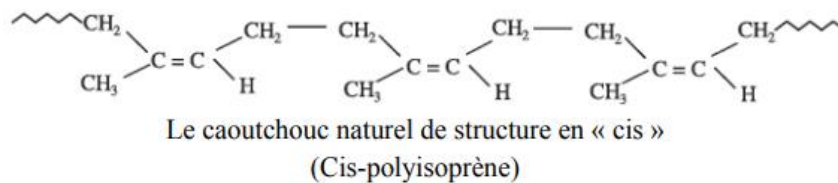
**Figure 5: Zones productrices de caoutchouc naturel (1995) (d'après « Le caoutchouc naturel », collection Cyclope, Ed. Economica, 1997)**

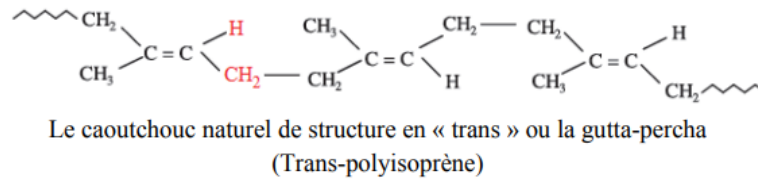
Le caoutchouc naturel est un polyisoprène de masse moléculaire élevée, constitué de chaînes dont le motif est l'isoprène. La formule chimique est la suivant :



**Figure 6: Formule chimique d'isoprène et de polyisoprène. Source (Web pédagogique, 2023)**

La plupart des caoutchoucs naturels ont des structures « cis ». Il existe aussi des caoutchoucs naturels de structures en « trans » ou bien (trans-polyisoprène). Ces deux types de caoutchouc naturel ont des propriétés physiques différentes : le caoutchouc de structure en « cis » est mou et collant que le caoutchouc de structure en « trans » (Site 03).





**Figure 7: Formule chimique de caoutchouc naturel de structure (cis) et (trans).source (Web pédagogique, 2023)**

### a) La vulcanisation de caoutchouc naturel

Charles Goodyear découvre le processus de vulcanisation en 1839, accidentellement. En portant une expérience, il a renversé un mélange de caoutchouc et de soufre avec autres ingrédients sur une cuisinière chaude. Et voilà, le caoutchouc avait transformé en un matériau dur et ferme (Kumar *et al.*, 1997).

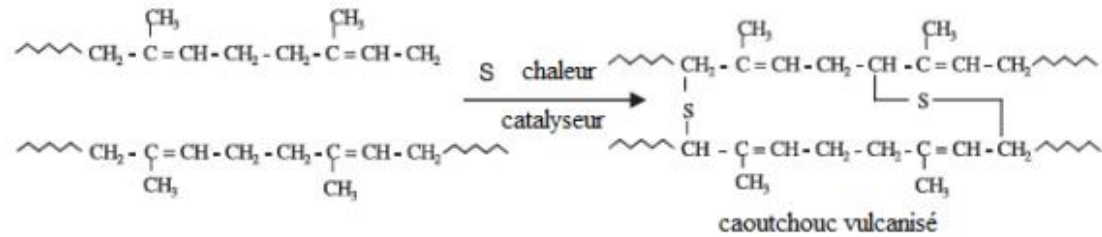
La vulcanisation est le processus par lequel les molécules d'élastomère deviennent chimiquement réticulées pour former des structures tridimensionnelles ayant une stabilité dimensionnelle. Le soufre, les peroxydes, les résines et les oxydes métalliques sont généralement utilisés comme agents de vulcanisation. L'utilisation de soufre seul conduit à une réaction lente, donc des accélérateurs sont ajoutés pour augmenter la vitesse de durcissement. Ils affectent le taux de vulcanisation, la structure réticulée et les propriétés finales (Schaefer, 2010).

Le caoutchouc naturel a une sensibilité thermique élevée car il se ramollit lorsque la température augmente et devient dur et friable lorsqu'il refroidit (CENTRECO, 2010). Par conséquent, les utilisations potentielles du caoutchouc naturel brut deviennent limitées, car il entraîne comme conséquence naturelle l'usure accélérée des matériaux présentant une faible résistance au frottement. Augmentation de la durabilité du caoutchouc nécessite de contrôler sa dureté et sa friabilité (Bellis, 2012).

Le processus de vulcanisation consiste à chauffer le caoutchouc avec du soufre jusqu'à la présence d'un catalyseur. Le soufre rend le caoutchouc plus solide et plus visqueux, résistant aux hautes températures sans se ramollir (Coran, 2003).

Le but de la vulcanisation est de créer, à l'aide du soufre ou d'autres ingrédients, des liaisons chimiques rigides entre les différentes chaînes. Les propriétés élastiques les plus importantes du caoutchouc vulcanisé sont les suivantes : (1) il est

beaucoup plus extensible que les solides cristallins, (2) il se contracte lorsque chauffé et dégage de la chaleur lorsqu'il est étiré (Gopalakrishnan, 2007).



**Figure 8: Formule chimique de caoutchouc avant et après la vulcanisation.**  
Source (Gopalakrishnan, 2007)

Le caoutchouc après vulcanisation est utilisé dans la fabrication des pneus ou des caoutchoucs de véhicules.



**Figure 9: Structure moléculaire du caoutchouc avant et après le processus de vulcanisation.** (Web pédagogique, 2023)

### b) Mise en œuvre de caoutchouc naturel

A cause de sa masse moléculaire élevée, donc il est nécessaire de faire la plastification préliminaire de caoutchouc naturel, avant de le mélanger à d'autres ingrédients. L'efficacité de la plastification dépend de la température (Carrega *et al.*, 2012).

### c) Propriétés de caoutchouc naturel

Le caoutchouc naturel a des propriétés mécaniques excellentes. Dès que la température baisse, le caoutchouc a tendance à cristalliser spontanément au repos (Maxi- Mumm de cristallisation entre -20 et -30 °C), mais surtout à cristalliser sous tension. Et une excellente résistance a cru et un très bon collant de confection. Il présente une bonne résistance à la traction, à la déchirabilité et à la fatigue.

Sa basse température de transition vitreuse (-65 °C) et sa masse moléculaire élevée conduisent à un faible échauffement interne.

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

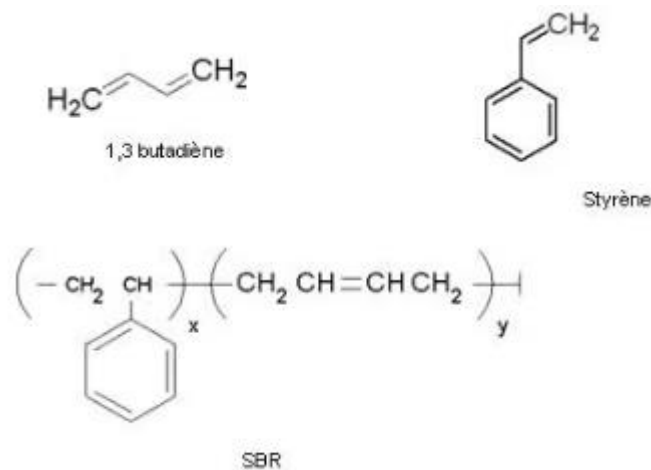
Le caoutchouc naturel a une bonne compatibilité avec la plupart des autres élastomères (non polaires).

Sa résistance au vieillissement est médiocre. Mais elle peut être améliorée par des systèmes de vulcanisation et de protection.

Il peut être néanmoins utilisé vis-à-vis des solvants oxygénés (cétones en particulier) ou des acides et des bases à l'état dilué. Malgré il a une faible tenue aux huiles aux solvants (Carrega *et al.*, 2012).

### I.1.2.3 Caoutchouc synthétique

Le polybutadiène ( $-CH_2 - CH = CH - CH_2 -$ )<sub>n</sub> est le premier caoutchouc synthétique ou artificiel fabriqué en Allemagne. Il est formé à partir de 1,3-butadiène ( $CH_2 = CH - CH = CH_2$ ) comme motif de monomère, à travers le processus de vulcanisation, on peut l'utiliser dans la fabrication des pneus, les scientifiques ont pu fabriquer le caoutchouc synthétique (SB) tel que le caoutchouc styrène butadiène (SBR), copolymère du butadiène et du styrène, dans la période de la Seconde Guerre mondiale (Carrega *et al.*, 2012).



**Figure 10:Formule chimique SBR. (Futura sciences, 2007)**

Les caoutchoucs synthétiques sont des polymères à longue chaîne dotés de propriétés chimiques et physiques particulières ainsi que les propriétés mécaniques. Ce matériau a une stabilité chimique, une corrosion élevée résistance, solidité et bonne stabilité dimensionnelle. Beaucoup de ces propriétés s'étendent au polymère d'origine grâce à des agents de réticulation et des additifs (Carrega *et al.*, 2012).

### I.1.3 Classification des caoutchoucs

Les caoutchoucs synthétiques se divisent en 3 grandes principales catégories :

**Caoutchoucs à usages généraux** et non résistants aux huiles et aux solvants. Il s'agit du copolymère styrène-butadiène (SBR), du polybutadiène (BR), du poly isoprène de synthèse (IR), du copolymère de l'iso- butylène et de l'isoprène (IIR) et des Co- et ter polymères d'éthylène et de propylène (EPM et EPDM). (Koscher, 2003).

**Caoutchoucs à usages spéciaux**, présentant une bonne résistance vis-à-vis des liquides agressifs (solvants, acides, bases...), et de bon comportement à basse ou à haute température. Comprend les copolymères butadiène-acrylonitrile (NBR) et les polychloroprènes (CR), terpolymères d'éthylène, de propylène et d'un diène (EPDM), des copolymères d'isobutylène et d'isoprène (IIR). (Koscher, 2003).

**Caoutchoucs à usages très spéciaux**, leur principale caractéristique est qu'ils présentent, à température modérée, des comportements similaires à celui des caoutchoucs vulcanisés, ils comprenant les copolymères séquencés styrène butadiène (SBS) et styrène-isoprène (SIS), les polyuréthanes (TPU), les copolyesters..., ils peuvent être travaillés comme des thermoplastiques à température élevée. Ils sont utilisés, entre autres, pour la fabrication d'adhésifs, de pièces pour l'automobile et de pièces pour des appareils médicaux (Koscher, 2003).

### I.1.4 Propriétés des types de caoutchouc

Le caoutchouc est mélangé avec divers ingrédients pour obtenir le caoutchouc composés. Le forfait immobilier associé au comportement des caoutchoucs et des mélanges de caoutchouc brut à différentes étapes du cycle de traitement, est combiné dans le concept de propriétés technologiques du caoutchouc. Ceux-ci inclus plasticité, viscosité (Mooney), dureté (Defoe), recouvrabilité, comme ainsi que des propriétés plus spécifiques broyabilité, calandrabilité, l'extrudabilité, le fluage à froid, le retrait et l'adhésivité (Davletbaeva et al., 2013). La multiplicité à des utilisations du caoutchouc résulte de ses propriétés suivantes :

- **Résistance à l'eau, à l'huile**

La résistance à la pénétration d'eau est élevée pour la plupart des caoutchoucs. Ce n'est pas le cas en général avec les liquides organiques.

- **La perméabilité**

Les caoutchoucs ne sont pas complètement imperméables aux vapeurs et aux gaz bien que le coefficient de diffusion soit faible. Le butyle est nettement plus imperméable à l'air que le caoutchouc naturel, ce qui en fait un matériau de choix pour les chambres à air.

- **Résistance à l'oxygène, à l'ozone**

Il existe toute une gamme d'agents oxydants, anti-ozonant) adaptés aux conditions d'utilisation. (Action anti-vieillessement) (Marc Carrega et al., 2012).

- **Conductibilité électrique, thermique**

Les caoutchoucs sont généralement des isolants et cette propriété est explorée, en association avec la grande flexibilité des caoutchoucs, pour le gainage des câbles électriques. Inversement, les caoutchoucs peuvent être rendus conducteurs d'électricité par addition de noir de carbone. La conductibilité thermique des caoutchoucs est faible. Cette caractéristique est à prendre en compte pour la conception de matériaux d'isolation et de matériel de mise en œuvre des caoutchoucs (Marc Carrega et al., 2012).

Les élastomères ont une variété de propriétés telles que la dureté, la résistance à la traction et l'allongement (Marc Carrega et al., 2012). Le tableau 1 fournit des informations générales sur divers composés élastomères courants et les caractéristiques très générales des élastomères les plus courants. Les élastomères de base sont mélangés avec une variété de produits chimiques et d'ingrédients pour obtenir propriétés physiques désirées.

### I.1.5 la caractérisation des caoutchoucs

#### I.1.5.1 les caractères physicochimique

- **Microstructure**

La microstructure des plastiques est présentée en utilisant des techniques RMN et infrarouge. Ces techniques sont couramment utilisées. Et pour la température de transition vitreuse, qui dépend fortement de la microstructure, elle a été classiquement déterminée par analyse enthalpique différentielle.

- **Macrostructure**

Les principales techniques sont les mesures de viscosité et la chromatographie d'exclusion stérique. (Marc Carrega *et al.*, 2012).

#### I.1.5.2 les caractères mécaniques

- **Consistance Mooney**

La consistance Mooney est une mesure de la viscosité des caoutchoucs ou des mélanges crus. Un rotor plan tourne à vitesse constante (2 tr/min) au sein d'une éprouvette chauffée à une température constante. La consistance Mooney est proportionnelle au couple exercé par le caoutchouc sur le rotor. Un point Mooney vaut  $8,3 \times 10 \text{ N.m}$ . La caractérisation la plus courante désignée ML (1+4) à 100 °C signifie que la consistance est mesurée en utilisant un grand rotor à 100 C au bout de 4 minutes après un préchauffage de 1 minute. La consistance Mooney est permet de prévoir des différences de comportement pour des caoutchoucs synthétiques ou naturels qui ont des écarts de plus de 10 points Mooney (Carrega *et al.*, 2012).

- **Dureté**

La dureté est une mesure de la résistance des caoutchoucs réticulés à la pénétration d'un indenteur sous une force imposée<sup>2</sup>, à l'aide d'un appareil appelé Duromètre. Elle donne un résultat similaire à un module d'élasticité mesuré à faible contrainte (Carrega *et al.*, 2012).

- **Modules**

La courbe contrainte-allongement en extension uni-axiale des caoutchoucs réticulés est non linéaire. On caractérise donc cette courbe par les contraintes

nécessaires pour obtenir des allongements successifs : généralement 100 % et 300 % d'allongement. Le module de Young est la pente de la tangente de la courbe à l'origine. Lorsque les mélanges chargés sont soumis à des cycles de déformation, on observe une diminution des modules en fonction du nombre de cycles. Ce phénomène est appelé effet Mullins. On mesure également des modules dynamiques en soumettant les caoutchoucs à des sollicitations répétées (**Carrega et al, 2012**).

- **Amortissement**

L'amortissement des caoutchoucs ou mélanges réticulés est mesuré par des techniques de propriétés dynamiques ou par le rebond d'un pendule. La résilience est le rapport entre l'énergie restituée par un matériau après déformation et l'énergie fournie pour le déformer. L'hystérèse est le complément à 1 (**Carrega et al., 2012**).

Pour le test de la résilience de rebondissement est simple. On mesure l'énergie restituée lorsqu'un caoutchouc est soumis au choc d'un pendule pour déterminer le déphasage entre la contrainte et la déformation résultante et déterminer l'amortissement sous sollicitations, il est possible de mesurer dynamiquement des sinusoïdales.

L'autoéchauffement des matériaux est un effet de la dissipation d'énergie sous sollicitations répétées. C'est-à-dire un test sous compressions répétées a été normalisé: échauffement interne (**Carrega et al., 2012**).

- **Rupture**

La résistance à la rupture dépend de la température et de la vitesse de traction. La résistance et l'allongement à la rupture sont mesurés sur une série d'éprouvettes soumises à un étirement uni-axial. De nombreux types d'éprouvettes mesureront une résistance au déchirement (**Carrega et al, 2012**).

- **Fatigue**

Il y a plusieurs tests de fatigue. Ces tests consistent à mesurer la durée de vie à la rupture ou l'apparition de craquelures et à soumettre des échantillons de formes variées à des sollicitations mécaniques répétées: tractions, flexions...etc. (**Carrega et al., 2012**).

### I.1.6 Mise en œuvre du caoutchouc synthétique

#### a) Formulation et mélange

Les élastomères ne sont jamais utilisés à l'état brut, avant de convertir le caoutchouc en un produit final, il est traité et formulé (Koscher, 2003). Comprend une variété d'élastomères de base fabriqués uniquement à partir de caoutchouc naturel ou en mélange, caoutchouc synthétique : EPM et EPDM (Copolymères et Polymères d'éthylène et de propylène), les copolymères styrène butadiène (SBR pour styrène butadiène Caoutchouc), Polybutadiène, Nitrile Acrylique (Polybutadiène, Polystyrène / Butadiène (NBR), polychloroprènes). Plusieurs additifs sont ajoutés, à en faciliter la mise en œuvre et à donner au produit final les propriétés désirées (Aoudia, 2014). Les outils sont des mélangeurs internes constitués de rotors tournant à l'intérieur ou mélangeurs externes à cylindres ouvertes (Carrega et al., 2012).

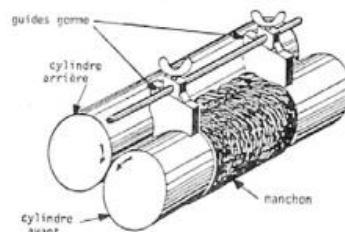


Figure 11: Mélangeurs externes (Koscher, 2003)

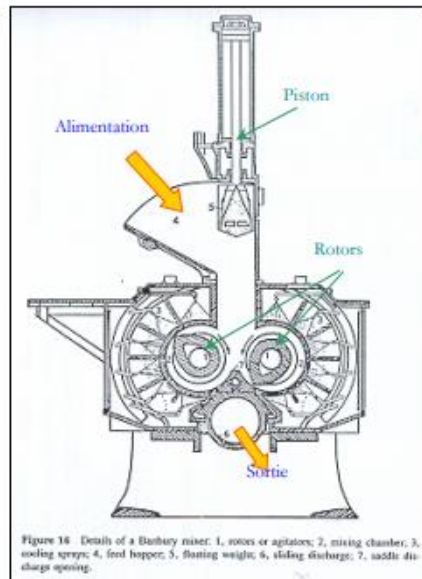


Figure 12: Schéma d'un mélangeur interne (Koscher, 2003)



Figure 13: Composition d'un mélange de caoutchouc. (Koscher, 2003)

Les principaux ingrédients utilisés pour le mélange à base de caoutchouc sont les suivants :

- Les élastomères de base : SBR, BR, NBR, EPDM...
- Les plastifiants sont des composés généralement liquides, polymérisés ou non, de faible masse molaire (200 à 400 g/mol.). Ils modifient les propriétés rhéologiques

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

du polymère ou mélange de polymères, améliorent la mise en œuvre, permettent d'améliorer la souplesse du produit fini, sa tenue aux chocs et aux basses températures et facilitent l'introduction des autres ingrédients ainsi que les opérations de mise en œuvre ultérieures (calandrage, extrusion, moulage). Huiles minérales ou synthétiques, ils diminuent la viscosité des mélanges non vulcanisés (**Koscher, 2003**).

- Les charges (noirs de carbone, charges claires telles que la silice et le kaolin) dont le rôle est d'améliorer les propriétés mécaniques.

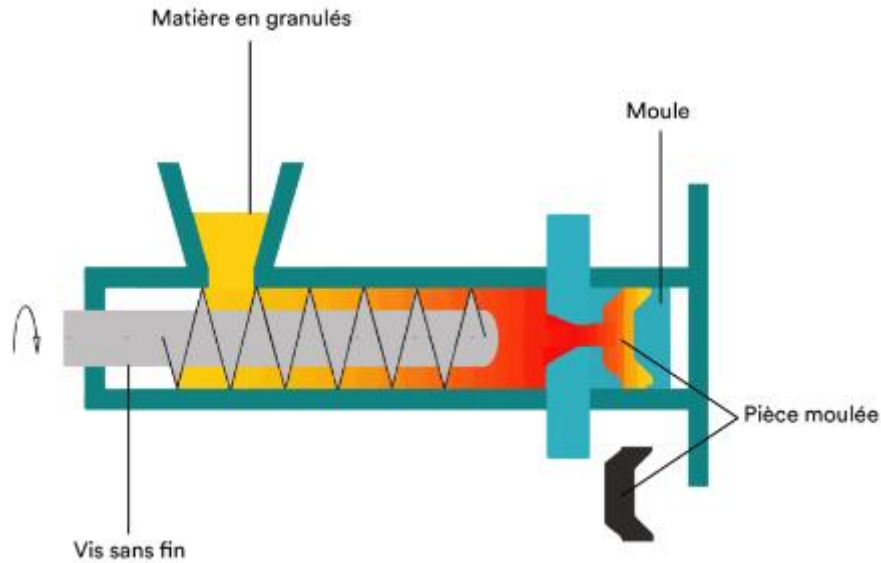
- Les adjuvants divers : agents de protection (antioxygène, antiozone,...), colorants, ignifugeants....etc.

- Les agents de vulcanisation sont des ingrédients essentiels. Sous l'action de la température, ils provoquent des réactions de pontage entre les chaînes d'élastomère, permettent au matériau d'acquies les caractéristiques d'élasticité. Dans la plupart des cas, soufre ou de peroxyde organique sont utilisés dans le processus de la vulcanisation qui permettant de créer des liaisons covalentes entre les chaînes moléculaires. La vulcanisation nécessite un apport d'énergie (thermique en général) un agent de vulcanisation qui crée les ponts et quelquefois un activateur dont le rôle est de faciliter la réaction (**Koscher, 2003**).

### b) Mise en forme

La mise en forme des mélanges doit se faire dans des conditions de température et de vitesse telles que la mélange soit dans un état liquide visqueux. Les processus de mise en forme sont le moulage l'extrusion et le calandrage (**Carrega et al., 2012**)

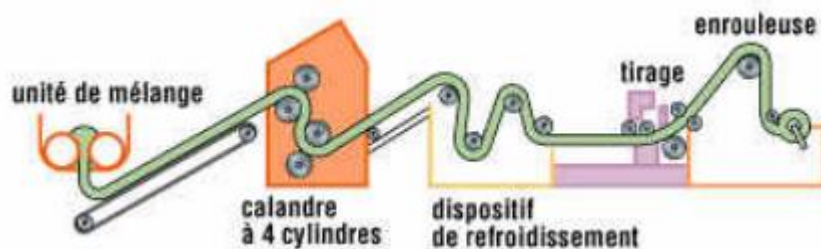
**L'extrusion** : L'extrusion est la technique de fabrication de semi-produits la plus employée. Cette technique permet d'obtenir des profilés (tuyaux, joints d'étanchéité, câbles...) qui seront ensuite vulcanisés. Et permet d'obtenir des pièces de grande longueur et plus complexes (pneumatique et courroies...).



**Figure 14: Schéma de l'extrusion (les joints, 2021)**

**Le moulage** : est la technique la plus utilisée, La vulcanisation et le moulage sont effectués en même temps. Se fait à l'aide d'une presse et d'un moule, la forme souhaitée. De différents modes de moulage existent (compression, transfert et injection).

**Le calandrage** : Cette technique permet d'enduire de caoutchouc les textiles et nappes métalliques, qui seront utilisés dans la fabrication de pneumatiques (carcasses), bandes transporteuses et vêtements de pluie...etc. (Koscher, 2003).



**Figure 15: Schéma de calandrage. (Koscher, 2003)**

Après mise en forme le caoutchouc placés dans un moule chauffé à l'eau, à l'électricité ou à la vapeur. Le traitement thermique fait passer le mélange d'un état brut à un état cuit par la vulcanisation qui permet les mélanges confèrent au matériau tendre-dur un comportement permanent et irréversible (Carrega et al., 2012).

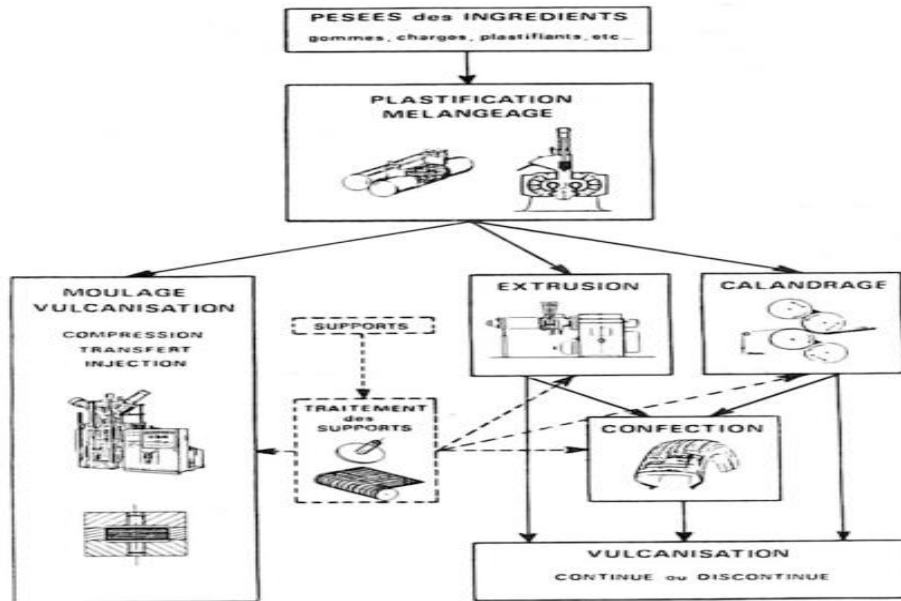


Figure 16: Schéma général de la mise en œuvre des élastomères. (Koscher, 2003)

### c) la vulcanisation

La vulcanisation est un traitement par le soufre et la chaleur qui permet d'améliorer les propriétés en provoquant l'établissement de liaisons intermoléculaires qui augmentent la stabilité du caoutchouc tout en lui conservant ses propriétés d'élasticité (Brantley et al., 2001).

Les deux types de processus de fabrication:

- le moulage par injection.
- le matriçage « die stamping », qui confère au matériau des qualités physiques plus constantes.

La structure élastomériques du produit fini diffère. Par conséquent, leurs propriétés et les forces qu'ils délivrent varient également (Renick et al., 2004).

La formation de réticulations doit être rapide et l'étendue de la réticulation doit être maîtrisée. La résistance au grillage est généralement mesurée par le temps passé à une température donnée nécessaire pour le début de la formation de réticulation comme indiqué par une augmentation brutale de la viscosité. Le viscosimètre Mooney est généralement utilisé. Au cours de cet essai, du caoutchouc entièrement mélangé mais non vulcanisé est contenu dans une cavité chauffée. Incorporé dans le

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

caoutchouc se trouve un disque rotatif. La viscosité est mesurée en continu en fonction du temps. (Coran, 2003).

### I.2. caoutchouc des pneus

Dans le monde, les quantités de produits polymères usagés augmentent d'année en année : la plupart d'entre eux sont des pneus automobiles usagés (Sienkiewicz et al., 2012). L'industrie mondiale du pneu, mesurée en tonnage de production, est estimée à 19,25 millions de tonnes en 2019 et devrait croître à un taux de croissance annuel composé de 3,4 % jusqu'en 2024, pour atteindre 22,75 millions de tonnes (Young, 2019). Chine, les pays de l'Union européenne (UE), les États-Unis, le Japon et l'Inde produisent les plus grandes quantités de pneus déchets près de 88 % du nombre total de pneus retirés autour du monde (Sienkiewicz et al., 2012).

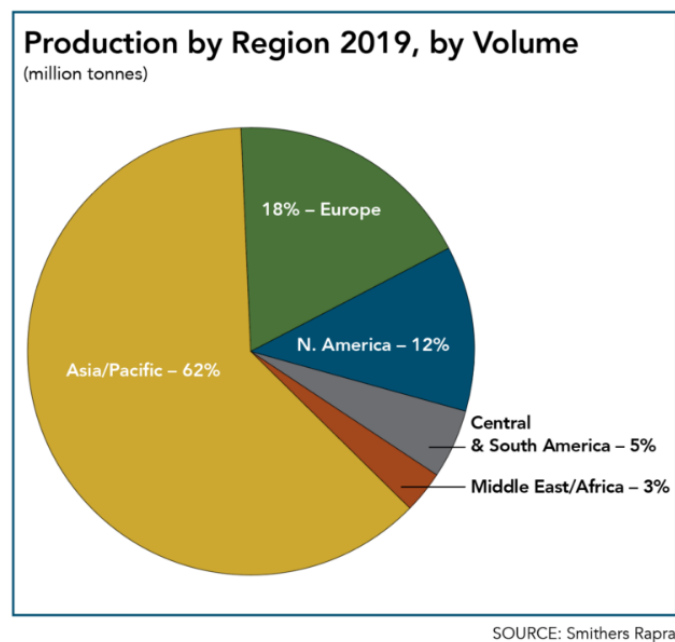
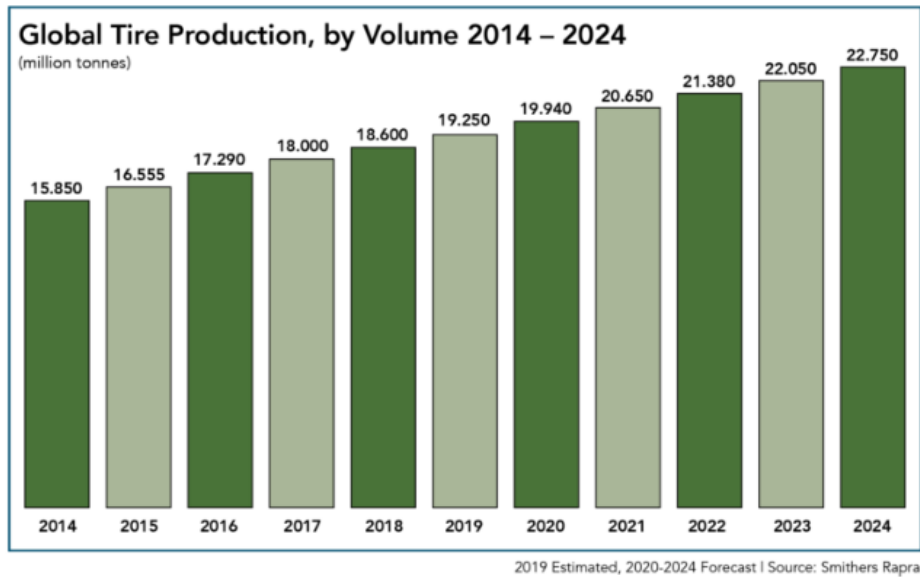


Figure 17: Production des pneus dans le monde



**Figure 18: Production globale des pneus de 2014 à 2024**

### I.2.1 l'impact environnemental du caoutchouc

La fabrication et la production de caoutchouc restent fortes au fil des années en raison de la forte demande du marché. La demande de caoutchouc devrait rester forte dans l'avenir proche, car les produits en caoutchouc sont toujours très pertinents et ont besoin de diverses applications (**Leong et al, 2023**)

Il y a possibilité de pollution de l'environnement par la poussière, vapeurs, gaz et fumées. Ils sont entrés en contact avec l'air, l'eau, le sol et finalement l'environnement. De nombreuses unités de fabrication de produits en caoutchouc rejettent leurs eaux usées sur le sol, le ruisseau et le ruissellement. Quelques exemples, cette pollution comprend :

L'eau mélangée à l'huile, l'eau des mélangeurs, l'eau avec des produits chimiques provenant des laboratoires d'essais, l'eau de lavage des produits et l'eau avec différents ingrédients provenant des usines de latex. Cela pollue les ressources en eau potable, les terres à irriguer, l'air et finalement tout l'environnement. Il est nécessaire d'améliorer les processus de production (**Jagadale et al, 2015**).

Divers gaz, vapeurs, fumées et aérosols sont émis en raison de la lixiviation des produits chimiques et également lors de la vulcanisation qui se produit à des températures élevées. Ces émissions consistent en les composants volatils des ingrédients de mélange d'origine tels que : les plastifiants, les antioxydants et les

monomères résiduels ou les oligomères polymères, ainsi que les produits de réaction primaires et secondaires des systèmes de réticulation. Ces substances sont les amines, les amides, les hydrocarbures aliphatiques/aromatiques, les composés soufrés hautement volatils, les aldéhydes et les cétones, les phénols et les esters. Selon à des Études épidémiologiques suggèrent que l'exposition aux vapeurs de caoutchouc à partir des processus de fabrication peut être un facteur important dans l'augmentation de l'incidence de certains types de cancers et la cause de certaines autres maladies (Chaiear, 2001).

### I.3. Les déchets de caoutchouc

Une augmentation de la production et de la consommation de caoutchouc augmenterait inévitablement la production de déchets de caoutchouc, comme par exemple le nombre croissant de production de véhicules et aussi la forte demande d'utilisation du caoutchouc dans les secteurs industriel, médical, ingénierie, produits ménagers et bien d'autres. Donc la manipulation ou le traitement inapproprié des déchets pourrait nuire à l'environnement (Nuzaimah et al., 2018).

Cela peut être perçu comme un obstacle à la réalisation de l'objectif 12 du objectifs de développement durable des Nations Unies (ODD12) sur la « Consommation et production responsables » qui vise pour parvenir à une bonne gestion des déchets et réduire leur accumulation Les produits en caoutchouc, en particulier les produits synthétiques, sont assez résistant à la dégradation naturelle due au processus de la vulcanisation. Les réticulations soufrées formées entre les chaînes de polymère sont destinées à améliorer la résistance mécanique, comme ainsi que les propriétés physiques et chimiques du caoutchouc. Cependant, la structure tridimensionnelle complexe de la le caoutchouc vulcanisé le rend également plus difficile à décomposer. De plus, la présence d'additifs, les antioxydants et les charges favorisent également sa résistance à la biodégradation (Leong et al, 2023).

Pour les problèmes environnementaux de déchets de pneus usagés, L'industrie de fabrication du caoutchouc produit non seulement des produits en caoutchouc, mais produit également une quantité massive de pollution de l'air, du bruit et de l'eau (Dlamini et al., 1996). Il a été rapporté que trois milliards de pneus ont été produits dans le monde en 2019 (Ruwona et al., 2019), selon des statistiques,

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

les pneus usés annuels mondiaux devraient atteindre 1,2 milliard de tonnes d'ici la fin des années 2030 (Liu et al., 2020).

Comme ils ne présentent pas de propriétés dangereuses, ils peuvent présenter des risques pour la santé publique et l'environnement s'il n'est pas géré et éliminé correctement, car les pneus ne sont pas biodégradables. En outre, les pneus usagés sont d'énormes déchets difficiles à compresser, à collecter et à éliminer. Les décharges s'accumulent, les pneus prennent une grand espace, ils déforment le paysage et peuvent obstruer les voies de circulation, les ruisseaux et les crues d'orage. Parce qu'ils retiennent la chaleur et ont une structure ouverte, les tas de pneus augmentent le risque d'incendie causé par un acte intentionnel ou un accident tel que la foudre. Comme l'incendie qu'il provoque est difficile à contrôler et à éteindre, et qu'il peut exploser plusieurs fois Il produit beaucoup de fumées, d'huiles et d'autres produits toxiques qui polluent l'air, le sol et les cours d'eau (Convention de Bale, 2011).



**Figure 19: Incendies des pneus (Ministère chargé de l'environnement France, 2007**



**Figure 20: Incendie de pneus à Stanislaus Co California 1999 (Reschner, 2008).**

Les pneus usagés accumulés constituent un terreau propice pour les rongeurs et des sites de reproduction pour la dengue et les moustiques de la fièvre jaune. L'accumulation incontrôlée déchets de pneus et le transport inapproprié de pneus usés et cause un risque réel de transmission de maladies par les moustiques.

Les lixiviats de pneus peuvent contaminer les sols et les eaux superficielles et souterraines d'un site et de ses alentours (**Ministère de l'environnement, 2004**).

Si un incendie se déclare accidentellement parce qu'un pneu ne s'enflamme pas tout seul et qu'il peut parfois s'éteindre, la composition de ce dernier aura une incidence sur l'intensité et la direction du feu. Si les pneus sont entiers, le feu se propage généralement vers le centre du tas, où les poches d'air favorisent la combustion et les matériaux déchiquetés brûlent en surface. La combustion donne lieu à des dégagements de divers produits de décomposition dont :

- Des cendres (carbone, de l'oxyde de zinc et des métaux lourds...etc.)
- Des composés sulfurés.
- Des hydrocarbures aromatiques polycycliques.
- Des huiles aromatiques.
- Des oxydes de carbone et d'azote.
- Des particules.
- Divers hydrocarbures aromatiques légers (tels que le toluène, le xylène, le benzène,

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

Les résidus de feu provoquent une contamination du sol par pénétration de produits de décomposition liquides dans le sol ou une contamination progressive résultant du lessivage des cendres et des matériaux non brûlés. Ceci est causé par la pluie et l'infiltration.

### I.3.1. Valorisation des déchets de caoutchouc

Il existe plusieurs techniques qui ont été rapportées dans gestion des déchets de caoutchouc, et cela inclut des moyens de réutiliser le caoutchouc, des produits en caoutchouc et des matériaux, ainsi que récupération de l'énergie. **(Nuzaimah et al., 2018)**, Cependant, 86 % des pneus usagés sont recyclé de différentes manières telles que le rechapage, l'incinération pour la valorisation énergétique, la pyrolyse pour obtenir gaz et noir de carbone, ainsi que déchiquetage pour produire de petites particules utilisées comme charges dans une grande variété de matrices telles que l'asphalte, le béton et les polymères. Ces méthodes de recyclage permettent non seulement de conserver l'environnement en toute sécurité, mais aussi contribuer à la croissance économique de plusieurs marchés tels que l'artificiel récif, contrôle de l'érosion, brise-lames, dispositifs de flottaison, pistes d'athlétisme, terrain de jeu, caoutchouté composites et bien d'autres **(Fazli et Rodrigue, 2020, Imbernon et Norvez, 2016)**.

Les pneus de rebut sont utilisés sous diverses formes dans plusieurs applications industrielles telles que les infrastructures routières, le remplissage des stades, le génie civil de terrain, les isolants thermiques et les quais et Insonorisant...etc. **(Aoudia, 2019)**.

Les méthodes les plus utilisées pour recycler ces pneus sont le broyage et la granulation. Plusieurs études examinent la faisabilité d'utilisation de caoutchouc recyclé à partir de pneus usagés. Les pneus usagés sont récupérés entiers ou sous forme de produits semi-finis. Il existe trois principales voies de valorisation des pneus usagés, à savoir :

- récupération d'énergie (incinération).
- Valorisation chimique (pyrolyse, traitement thermique, Vulcanisation).
- Transformation mécanique (production de miettes ou de granulés) **(Aoudia, 2019)**.

### ➤ La valorisation énergétique par l'incinération

Le pneumatique à base de son origine polymérique, a un excellent pouvoir calorifique (3 tonnes de pneus = 2 tonnes de fuel) (**Trouzine et al., 2011**).

Ainsi, l'incinération est une technique répandue à l'échelle internationale, elle conduit à une réduction significative de la masse et du volume des déchets, puisque 60 % du produit est transformé en eau et en dioxyde de carbone (**Aoudia, 2019**).

L'incinération est largement utilisée dans les cimenteries, permettant aux cimentiers de réduire leur consommation d'énergie fossile et de diversifier leurs sources. Il s'agit en fait de déchets ultimes dont l'élimination est coûteuse car elle nécessite une inactivité et un stockage dans des lieux protégés et contrôlés car le produit est considéré comme un déchet dangereux. Certaines cimenteries préfèrent utiliser le gaz naturel, car est moins cher que le broyage des pneus usagés. Si elle est réalisée dans des incinérateurs normaux, la combustion ne pollue pas l'air et les fumées sont filtrées (**Aoudia, 2019**).

### ➤ Valorisation mécanique

Les pneus usagés sont utilisés sous différentes formes et passent par plusieurs étapes sont :

Dans un premier temps, les pneus sont déchiquetés par cisaillement, puis ces morceaux sont transférés vers des broyeurs équipés de filets de différents diamètres pour obtenir des granulats et miettes de différentes tailles. Ainsi, les pneus usagés passeront par les étapes suivantes :

- Pneus entiers.
- Déchiquetas : pneus découpés en morceaux irréguliers > 50 mm de long.
- Granulats : pneumatiques rétrécis entre 1 et 10 mm par un procédé mécanique, cryogénique ou thermique.
- Poudres : particules de granulométrie inférieure à 1 mm, obtenues par réduction mécanique, cryogénique ou thermique.

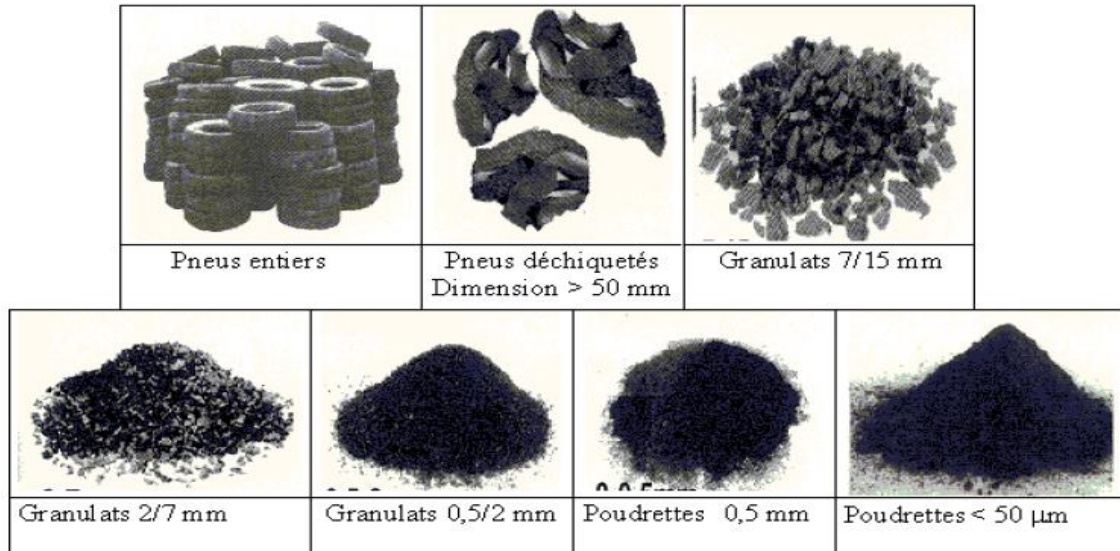


Figure 21: Différents demi-produits issus des pneus usagés (Antoine, 2002)

➤ La valorisation chimique

C'est la récupération des matériaux, les produits obtenus peuvent remplacer les matières premières, donc il existe plusieurs méthodes, parmi lesquelles la plus importante est la pyrolyse, c'est-à-dire le traitement thermique, la dévulcanisation et la dégradation (Chettah, 2008).

La pyrolyse fait normalement référence à la décomposition du caoutchouc déchets par incinération en condition anaérobie, en plus petits composés tels que le mazout, le gaz, le noir de carbone (CB), le soufre et le métal (Alsaleh et Sattler, 2014), Le fioul produit pourrait être raffiné pour filtrer le soufre, le charbon et les cendres pour assurer un meilleur moteur performance. Le gaz peut être utilisé pour entraîner la génération de la chaleur et l'électricité dans les centrales électriques, tandis que le CB peut être mélangé à du plastique, de la mousse EVA ou converti en charbon actif (Čabalová, 2021).

La dévulcanisation Le principe de la récupération et de la dévulcanisation du caoutchouc repose dans la rupture des réticulations entre les chaînes polymériques du caoutchouc. Il convient de préciser que la remise en état et dévulcanisation sont distincts les uns des autres en termes de définition. La dévulcanisation fait référence à la scission des réticulations, telles que les obligations C-S et S-S, alors que la remise en état fait référence à la scission des liaisons transversales et des liaisons de la chaîne principale (Shi J et al., 2013).

La méthode physique de dévulcanisation du caoutchouc prend l'avantage de surmonter les énergies de liaison inférieures de la liaison C-S ( $310 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) et la liaison S-S ( $270 \text{ kJ mol}^{-1}$ ), tandis que la récupération du caoutchouc implique une liaison C – C supplémentaire qui ont une énergie de liaison plus élevée,  $370 \text{ kJ mol}^{-1}$  (Diaz et al., 2018).

En réalité cependant, la scission de la chaîne principale pourrait encore se produire dans le processus de dévulcanisation en raison du fait que le carbone– les liaisons carbone est présentes en plus grande abondance que les liaisons de réticulation (Formela et al., 2018).

### I.3.1.1. valorisation des déchets de caoutchouc en Algérie

Les entreprises actives dans le domaine de la gestion et de valorisation des pneus usagés qui nécessitent souvent une technologie avancée, sont généralement concentrées dans les pays développés à cause de la disponibilité des capacités nécessaires (Belabdelouhab et Trouzine, 2009). Le développement de nouvelles filières de valorisation et les diversités des produits à partir des pneus usagés, reste toujours en grande demande partout dans le monde (Wu et Tsai, 2009).

Il est devenu nécessaire pour l'Algérie de développer des stratégies importantes dans le domaine de la valorisation des déchets afin d'atteindre un développement durable au niveau national, Au sens de la loi (Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets) on entend par déchet : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation.

Dans le cadre de la valorisation des déchets en Algérie, il existe de nombreuses institutions qui sont liées au génie civil, car le caoutchouc présente un grand intérêt dans le domaine de la construction, un exemple de ces techniques:

- La technique Pneusol en Algérie
- La technique Pneusol en Algérie
- La technique Tirecel
- La technique Tires balles (Trouzine et al., 2010).

### I.3.2. Le recyclage de caoutchouc

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

Le recyclage des pneus usagés soulève d'importantes préoccupations environnementales en raison de la forte réticulation structure des caoutchoucs vulcanisés et leur composition chimique contenant des composants toxiques comme métaux lourds lixiviables. (Mohajerani et al., 2020).

Le recyclage des pneus usés peut être défini en deux catégories différentes : i) en utilisant la ferraille pneus entiers ou de formes modifiées mécaniquement (en miettes ou broyés), et ii) chimiques décomposition ou séparation du contenu des pneus usagés en différents matériaux (Turer, 2014).



**Figure 22: Utilisations innovantes des pneus usés (a,b,c) stabilité de la sous-couche routière, (d) morceaux de pneus comme remblai matériau, (e) stabilité de la pente, (f) pare-chocs du navire au quai. (Turer, 2014)**

Le recyclage tel quel ou après un processus mécanique présente les avantages d'utiliser directement les pneus usés sans gros investissement. Par exemple, les pneus usagés peuvent être directement utilisés comme pare-chocs de bateau dans les marinas

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

pour protéger les navires contre les rayures ou les chocs sur le côté du quai (**Turer, 2014**).

De même, les vieux pneus peuvent être placés côte à côte en demi-pneu décalé pour la stabilité de la pente ou sous les routes pour une meilleure stabilité. Morceaux de pneus déchirés en gros les morceaux peuvent être directement utilisés comme matériau de remplissage léger sur les remblais. De plus petits morceaux de pneus usagés peuvent être utilisés comme mélange dans le béton comme substitut de gravier pour améliorer capacité de traction ou sur des routes asphaltées pour une meilleure traction. Des miettes plus petites peuvent être collées ensemble pour générer des tapis de marche ou de course ou des surfaces molles pour les aires de jeux (**Turer, 2014**).

Drainage autour des fondations des bâtiments, contrôle de l'érosion pour les barrières de ruissellement des eaux pluviales, l'établissement de zones humides, les glissières de sécurité sur les côtés des pistes de course sont d'autres utilisations des pneus usés sans grande modification (**Turer, 2014**).

### I.4. Les déchets de plastique

#### I.4.1 Plastique et déchets de plastiques

Les produits en plastique font désormais partie intégrante de notre vie quotidienne à la suite de laquelle le polymère est produit à grande échelle dans le monde entier. En moyenne, la production mondiale de plastique dépasse 150 millions de tonnes par année. Son large domaine d'application est dans l'emballage films, matériaux d'emballage, courses et ordures sacs, contenants de liquides, vêtements, jouets, articles ménagers et produits industriels et matériaux de construction. On estime qu'environ 70 % du plastique, les produits d'emballage sont transformés en déchets plastiques dans un court laps de temps. Environ 9,4 millions de plastique TPA des déchets sont générés dans le pays, ce qui représente 26 000 TPD<sup>2</sup>. De cela, environ 60 % sont recyclés, la plupart par le secteur informel. Alors que le taux de recyclage en L'Inde est considérablement plus élevé que la moyenne mondiale de 20 %<sup>3</sup>, il reste encore plus de 9 400 tonnes de déchets plastiques qui sont enfouies ou finit par polluer les cours d'eau ou les ressources en eaux souterraines. Alors que certains types de plastique ne se décomposent pas du tout (**SB mission, 2019**).



**Figure 23: Taux global du pays les plus produire des déchets plastiques. (SB mission, 2019)**

Selon Harrouche (2015), les plastiques sont définies comme étant des mélanges de polymères et d'adjuvants synthétiques de nature organique. D'après Louhui (1996), une substance est dite plastique lorsqu'elle peut se déformer sous l'action d'une force extérieure, puis elle conserve la forme ainsi acquise, lorsque la force aura cessée d'agir. (Djeffal et Youneschaouche, 2017)

### II.4.1.1 Généralités sur le plastique

Un matériau est dit « plastique » s'il peut être déformé à une température relativement basse pour prendre une forme désirée. Contrairement à l'acier, chauffé à 1 500 °C pour être mis en forme, la plupart des matières plastiques sont ainsi malléables au-dessous de 200 °C. En les moulant ou en les effilant, elles peuvent prendre presque toutes les formes possibles. Cette propriété est à l'origine de leur succès dans le domaine des emballages ou de l'industrie automobile, par exemple (Saada, 2018).

On trouve quelques matières plastiques existent à l'état naturel, tel le caoutchouc ou la cellulose des plantes, mais désigne beaucoup plus les produits de synthèse dérivés du pétrole. En ajoutant différentes substances, comme des colorants ou des molécules ignifugeantes, ces produits sont à l'origine d'objets aussi divers que des sacs « plastiques » polyéthylène, des boîtes de CD polystyrène, des bouteilles de shampoing polychlorure de vinyle ou PVC, des colles résines époxy, cyanoacrylate ou

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

Superglu, des peintures acryliques ou des fibres synthétiques Nylon, polyester (Saada, 2018).

Les "plastiques" ou "matières plastiques" sont définis par la norme ISO 472 comme étant "toute matière contenant, comme ingrédient essentiel, un "haut polymère". Une matière plastique ou en langage courant un plastique est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet. Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels. On peut observer aujourd'hui sur un même matériau des propriétés qui n'avaient jamais auparavant été réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs. Les textiles (fils et fibres) ainsi que les élastomères ne sont pas des matières plastiques proprement dites (Saada, 2018)

### I.4.2. Les différents types plastique

Au XX<sup>ième</sup> siècle, le bois et le métal ont été remplacé par le plastique. Les recherches menées pour améliorer et diversifier leurs propriétés les destinent à de nombreuses utilisations. Les matières plastiques sont légères, hygiéniques, durables et faites sur mesure. C'est grâce à toutes leurs qualités qu'elles sont devenues irremplaçables et omniprésentes dans les objets notre vie quotidienne. **Site 04**

#### I.4.2.1. Les Thermoplastiques

A) **PE : le polyéthylène**, 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. **Site 04**

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. Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier et résistant au froid. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

ramifications présentes dans le matériau. On distingue deux familles: le PEBD ou polyéthylène basse densité et le PEHD polyéthylène haute densité. **Site 04**

B) **PP : Le polypropylène**, C'est aussi un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à colorer et n'absorbe pas l'eau. On en trouve beaucoup sous forme de pièces moulées dans les équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, habillage de l'habitacle) et dans le mobilier de jardin. **Site 04**

Il sert à fabriquer des boîtes à aliments qui résistent au lave-vaisselle parce qu'il ne fond pas en dessous de 160°C. Le polypropylène est aussi utilisé dans la fabrication de fibres synthétiques (tapis, moquettes, cordes, ficelles) mais aussi pour les emballages alimentaires en raison de son aspect brillant et de sa résistance (flacons, films, pots). Cependant, le PP film est un des plastiques usuels les plus difficiles à recycler surtout s'il est imprimé. Le contrôle de la polymérisation par catalyse permet de jouer sur la structure enfin de produire du polypropylène élastomère.

C) **PS : Le polystyrène** est un plastique dur, cassant et transparent. C'est un produit industriel courant largement diffusé, offrant de très nombreux usages. On le reconnaît facilement à un blanchissement sur les zones de contraintes avant la rupture ou à sa fumée noire et à son odeur caractéristique lors de sa combustion. On l'utilise pour fabriquer du mobilier, des emballages, des grilles de ventilation, des jouets, des verres plastiques... On distingue trois types de polystyrènes : le polystyrène "**crystal**" n'a pas une structure cristalline mais porte ce nom en raison de son aspect transparent, le polystyrène "**choc**" ou HIPS (High-impact polystyrène) ou acrylonitrile butadiène styrène est un copolymère formé par du styrène et du polybutadiène et le matériau le plus connu de la gamme est le polystyrène **expansé (PSE)**. **Site 04**

D) **PC : Le polycarbonate** est un matériau qui présente d'excellentes propriétés mécaniques et une bonne résistance thermique jusqu'à 120°C. On l'utilise pour la fabrication des casques de moto ou des boucliers de police.

E) **PET** : C'est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : le diméthyltéréphtalate et l'éthylène glycol. Les chaînes vont s'arranger et former des fibres résistantes.

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

F) **POM : Les polyacétals** ont des propriétés qui les rendent irremplaçables pour des pièces à fortes exigences mécaniques comme les engrenages et les poulies. Ils sont solides, présentent les qualités de métaux tels que l'acier, l'aluminium ou le zinc. Ils résistent à la plupart des agents chimiques et ont un faible coefficient de frottement. Par contre, ils ont une densité élevée et une assez faible résistance à la température. **Site 04**

G) **PCV** : Il est obtenu par la polymérisation des monomères de chlorure de vinyle  $CH=CH-Cl_2$ . Ce polymère de formule  $-(CH-CH-Cl)_{-2n}$  est issu d'une réaction chimique entre de l'éthylène et de l'acide chlorhydrique, en présence d'oxygène, Il peut être soit rigide soit souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore.

H) **PA** : C'est la première matière plastique à avoir été découverte en 1938. Selon la longueur des chaînes, on obtient différents types de PA que l'on distingue par des chiffres : par exemple le PA 6.6 est le nylon. **Site 04**

### I.4.2.2. Les Thermodurcissables.

A) **PUR** : Ce sont des matériaux dont les caractéristiques sont très variées avec une grande diversité de textures et de duretés. Les polyuréthanes sont les polymères les plus utilisés pour faire les mousses. Ils sont formés par l'association d'un isocyanate (composé organique comprenant la séquence :  $-N=C=O$ ) et par un alcool (composé organique dont l'un des carbones est lié à un ou plusieurs groupements hydroxyle  $-OH$ ). **Site 04**

B) **PF** : Dans ce groupe, une des plus anciennes matières plastiques connue est la Bakélite. Ce matériau providentiel a eu d'innombrables applications dans les domaines scientifiques et dans la réalisation d'objets: téléphones, postes de radio. Ces résines thermodurcissables résistent très bien aux produits chimiques et à la chaleur. Elles sont également électriquement isolantes. **Site 04**

C) **Les polyesters insaturés** : Les polyesters insaturés sont obtenus par réaction de condensation entre différents polyacides et des glycols (éthylène glycol, propylène glycol) Ces produits appelés époxydes sont des substances chimiques comportant un oxygène ponté sur une liaison carbone-carbone. Ils sont dilués ultérieurement dans un monomère non saturé comme le styrène. **Site 04**

A) **Les aminoplastes (MF)** : Ces produits résineux sont essentiellement utilisés en stratification sur des textiles plastifiés, les panneaux de bois agglomérés pour le mobilier de cuisine et les plans de travail. **Site 04**

### I.4.2.3. Autres types de plastique

En théorie, presque tous les plastiques sont recyclables. Cependant, en pratique, ne sont réellement recyclés que les PETE « les plastiques transparents » et HDPE « généralement opaques ». Les autres, pour des raisons de coût (filrière de tri coûteuses à mettre en place) finissent le plus souvent dans les incinérateurs. (**Miri et Lekmouchi, 2017**)

### I.4.3. Les caractéristiques des plastiques

Ils ramollissent et se déforment sous l'action de la chaleur. Ils peuvent, en théorie, être refondus et remodelés un grand nombre de fois tout en conservant leurs propriétés ; ils sont comparables à la cire ou à la paraffine. Insensibles à l'humidité, aux parasites, aux moisissures (sauf polyamides) ils peuvent être fabriqués dans une gamme de couleurs très étendue. Inconvénients : fluage élevé ; coefficient de dilatation linéaire élevé, entraînant un retrait important au moment du moulage ; combustible ; sensible aux ultraviolets.

### I.4.4. Composition chimiques d'un plastique

La polymérisation désigne la réaction chimique ou le procédé par lesquels des petites molécules (par exemple des hydrocarbures de deux à dix atomes de carbone) réagissent entre elles pour former des molécules de masses molaires plus élevées. Les molécules initiales peuvent être des monomères ou des pré-polymères ; la synthèse conduit à des polymères. En général, en présence de réactifs et de catalyseurs, et sous l'action de la chaleur et de la pression, il se forme des chaînes macromoléculaires constituées de motifs de répétition identiques (homopolymère synthétisé) ou différents (copolymère obtenu), liés de façon covalente. On obtient des polymères, de masses molaires éventuellement élevées :

- Monodimensionnels (linéaires ou ramifiés) car issus de monomères bivalents ;

• Ou tridimensionnels, issus de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux, ou de la réticulation de polymères monodimensionnels. (Saad, 2018)

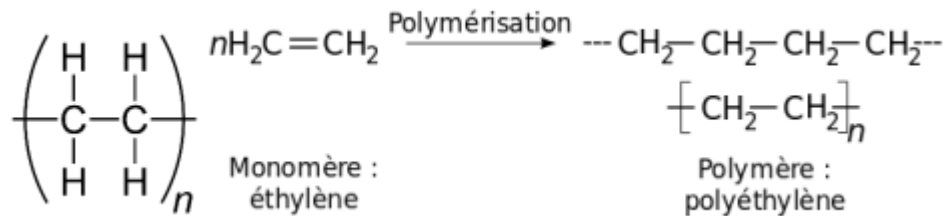


Figure 24: Polymérisation (Saad, 2018)

### I.4.5. Processus de fabrication des matières en plastique

Le plastique peut aujourd'hui être obtenu à partir de cellulose, d'amidon ou encore de gaz naturel mais la majorité des plastiques sont encore fabriqués à partir de produits pétroliers. Lumière sur les différentes étapes de la fabrication du plastique.

#### ➤ Le naphta, ingrédient de base du plastique

Le naphta est un liquide issu du raffinage du pétrole qui se condense entre 40 et 180 °C. Il constitue la matière première des plastiques. Avant d'être utilisé par les plasturgistes, le naphta doit subir une opération de craquage.

#### ➤ Le craquage

Sous l'effet d'un chauffage (800 °C) puis d'un refroidissement brutal (400 °C), les grosses molécules d'hydrocarbures qui constituent le naphta se voient fragmentées en molécules plus facilement exploitables.

#### ➤ La polymérisation

Les monomères obtenus après craquage contiennent entre 2 et 7 atomes de carbone chacun. Grâce à des réactions dites d'addition (chaîne de monomères identiques) ou de condensation (chaîne de monomères différents), ils se lient entre eux pour former des polymères.

#### ➤ La mise en forme

À la sortie de la raffinerie, les polymères se présentent sous forme de granulés, de liquides ou de poudres. Les différents matériaux plastiques que nous connaissons

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

sont obtenus grâce à l'ajout d'adjuvants et d'additifs. Ils sont ensuite mis en forme par moulage, par extrusion, par injection ou encore par thermoformage.

### ➤ Le recyclage des déchets plastiques

Après usage et collecte, les déchets plastiques sont acheminés vers des usines de traitement pour y être prélavés et triés. Ils sont ensuite broyés en paillettes, lavés, rincés, essorés, séchés, tamisés et régénérés en granules. Il est à noter que le pouvoir calorifique du plastique équivaut à celui du charbon ou du pétrole. Ainsi, une part importante des déchets plastiques suivent actuellement une filière de valorisation énergétique (**Site 1**)

### I.4.6. l'utilisation et domaine de l'application de plastique

On trouve les produits plastiques dans de nombreux secteurs :

- Emballage : bouteilles, barquette, film, bouchons,...
- Bâtiment : tuyauteries, volets, fenêtres, revêtement,...
- Automobile : carrosserie, habitacle, pièces sous capot,...
- Electrique/Electronique : électroménager, télécommunication,...
- Médical, pharmaceutique, cosmétiques et bien d'autres domaines (**Hamdaoui et Sebergoud, 2021**)

### I.5. Le matériau polytéréphtalate d'éthylène

Le PET ou poly (téréphtalate d'éthylène)  $(C_{10}H_8O_4)_n$  est un polymère linéaire de la famille des thermoplastiques. Il est composé d'unités répétitives (**Dhahak, 2019**).

#### I.5.1. Fabrication de PET

Les matières premières pour le PET proviennent du pétrole brut et du gaz naturel. Celles-ci sont soumises à un procédé appelé la polymérisation, qui constitue une étape dans la fabrication du plastique. Le PET peut être utilisé pour produire de nombreux produits, des emballages aux fibres pour les vêtements (**Site 2**).

#### I.5.2. Propriétés générale de PET

Le PET est un matériau rigide, avec une bonne stabilité dimensionnelle. Il présente de bonnes propriétés barrière et une bonne résistance chimique. Sa cristallinité varie entre amorphe et relativement cristallin. Il peut être très transparent et incolore, mais les parties épaisses sont le plus souvent opaques et blanchâtres (Gouissem, 2018).

### I.5.3. Domaines d'application de PET

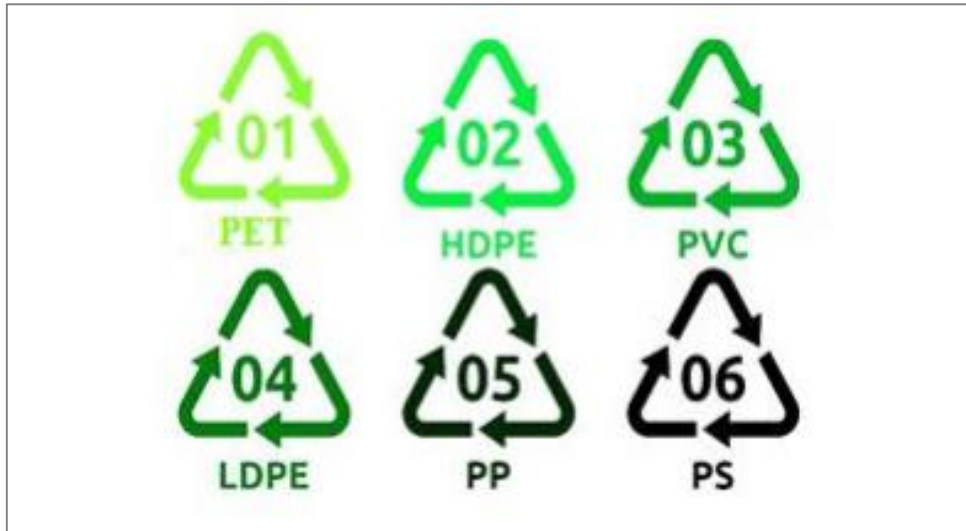
Grâce à des propriétés exceptionnelles du PET telles que la transparence cristalline, légèreté, solidité et longue durée de vie ainsi qu'à sa capacité de recyclage, le PET trouve toujours plus de débouchés et les possibilités de son utilisation sont pratiquement très larges. Sur le marché, le PET se retrouve dans trois domaines d'application principaux : les fibres, les films et les bouteilles.

Les propriétés et caractéristiques moléculaires du PET dépendent énormément de son application. Ainsi, la sélection du grade approprié pour telle ou telle application est déterminée par la mesure de sa viscosité intrinsèque, dont la valeur est directement liée à la masse moléculaire du matériau. (Gouissem, 2015)

### I.5.4. recyclage et valorisation de PET

La valorisation des matières plastiques est devenue un enjeu à la fois écologique et économique. En effet, le volume des déchets, produits par an et par habitant dans les pays développés, n'a cessé d'augmenter au cours de ces dernières années, créant une véritable problématique écologique par la pollution de l'air et des sols. Aussi, du point de vue industriel, le gisement des emballages ménagers mondial représente des millions de tonnes dont la partie majeure est des bouteilles de plastiques à recycler. (Sawatari et al., 1985).

Actuellement le débouché principal du PET recyclé (PETr) est le textile, mais cette industrie a presque atteint la quantité maximum qu'elle peut absorber. Les bouteilles pour boisson étant fabriquées essentiellement en PET, le recyclage des matériaux en PET destinés et utilisés pour le contact alimentaire permettrait d'accroître notablement la capacité de recyclage des emballages ménagers et d'une manière plus générale celui des emballages plastiques (ménagers, industriels et commerciaux) (Sawatari et al., 1985).



**Figure 25: Codes d'identification des produits plastiques recyclables (Rahem, 2019)**

### **I.5.5. risques associés à l'utilisation du PET recyclé**

Comme pour les matériaux destinés au contact de l'eau et des aliments, le risque associé à l'emploi de PET recyclé est lié à la migration de molécules chimique. Parmi ces substances susceptibles de migrer. On peut distinguer :

**Les constituants usuels du PET :** Ils doivent être autorisés par les textes réglementaires sur les matériaux au contact des aliments et satisfaire aux restrictions éventuelles (limites de migration spécifique,...etc.).

**Les contaminants occasionnels spécifique au recyclage :** d'une part des additifs ou des monomères issus de bouteilles ou de récipients non destinés au contact alimentaires et intégrés aux processus de recyclage et, d'autres part, des polluants issus de l'utilisation impropre d'emballages alimentaires par des consommateurs (Benayache et Ghellaf, 2016).

### **I.6. la gestion des déchets de plastique**

#### **I.6.1. valorisation des déchets de plastique**

La valorisation est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt

## **Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique**

---

ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances " (Languedoc et al., 2019).

### **I.7. Les problèmes environnementaux de déchets de plastique**

Aucun n'ignore le développement extraordinaire des matières plastiques ces dernières décennies. Un tel développement s'explique par les multiples qualités très attractives et versatiles de ces matériaux et la place qu'elles occupent dans notre quotidien. A elles seules, les matières plastiques représentent environs les deux tiers (2/3) de tous les produits finis pétrochimiques et leur consommation est devenue un critère économique important caractérisant le niveau de vie d'une nation (Ben Guesmia et Benmadani, 2022)

La consommation plastique en Algérie, environ 15 Kg par habitant et par an, est relativement faible par rapport aux pays industrialisés. Récemment, il y a eu une prise de conscience, de sensibilisation et promotion de l'environnement à travers la création de programmes de gestion de déchets : Programme National de Gestion des Déchets Ménagers (PROGDEM), le développement très timide d'industrie de recyclage (ANSEJ), et des projets de 'dé plastiquage' à travers la création de PME spécialisées dans la récupération et le recyclage. La quasi-totalité des cinq milliards de sachets polluent la nature à cause d'une collecte très médiocre (Ben Guesmia et Benmadani, 2022)

#### **➤ Impact sur la flore :**

Les dépôts des déchets peuvent entraîner la destruction des éléments de la flore qui sont utiles pour la population humaine et les animaux (plantes médicinales, plantes servant comme pâturage, les arbres servant de nichoir des oiseaux). Certaines plantes peuvent assimiler des substances issues de ces déchets et les transmettre.



**Figure 26: Sacs de plastique dans l'arbre. (Conserve nature, 2023)**

➤ **Au niveau de la faune :**

Les déchets peuvent contaminer les animaux qui les fouillent à la recherche de la nourriture, les animaux peuvent se blesser lors du piétinement des éléments tranchants ou pointus dans les lieux de stockage des déchets. Ceci peut être à l'origine des infections pouvant entraîner la mort de certains animaux, certains déchets peuvent servir de nourriture à certains animaux (**Ben Guesmia et Benmadani, 2022**).

➤ **Impact sur la santé :**

Les personnes peuvent être exposées aux substances toxiques des plastiques de plusieurs façons :

- Les travailleurs de la fabrication des matières plastiques sont souvent exposés à des concentrations élevées de monomères,
- Les travailleurs en dehors de l'industrie des plastiques entrent également en contact avec de grandes quantités de plastiques et d'additifs,
- Les utilisateurs de produits en plastique peuvent être exposés lorsque les substances chimiques plastiques, en particulier les additifs, migrent du plastique vers l'environnement (**Ben Guesmia et Benmadani, 2022**)

➤ **Effets sur les organismes :**

**L'ingestion** : entraîne rarement la mort immédiate des organismes ; cependant, les effets subtotaux ou chroniques ont des conséquences à long terme,

**Les effets de l'enchevêtrement** : peuvent être résumés comme suit : noyade, suffocation, laceration, réduction de la forme physique, réduction de la capacité de proie ou augmentation de la probabilité d'être capturé. L'enchevêtrement des matières plastiques entraîne l'ajout de matériaux dans le corps des organismes, ce qui augmente la probabilité d'être capturé (**Ben Guesmia et Benmadani, 2022**)

➤ **Effet sur les zones urbaines :**

Les plastiques peuvent lessiver les produits chimiques dans le sol, contaminant les zones agricoles et atteignant les eaux souterraines. (**Ben Guesmia et Benmadani, 2022**)

### **I.8. recyclage de plastique**

Le recyclage mécanique À l'heure actuelle, 99 % des déchets thermoplastiques sont recyclés selon un recyclage dit « mécanique » : après avoir été collectés et triés pour obtenir des gisements par famille de polymères dits « homogènes », ces derniers sont sur-triés, lavés, broyés, extrudés, transformés en paillettes ou granulés, puis réutilisés sous la forme de matière première recyclée (MPR), ou matières premières secondaires, sans que soit modifiée la structure du polymère.

Le recyclage chimique permet de produire de nouvelles matières premières par modification de la structure chimique du polymère et purification de(s) produit(s) ainsi formé(s). Il inclut les procédés de dépolymérisation et de conversion. Le premier consiste à revenir au monomère de base en découpant le polymère par solvolysé (usage de solvants) ou thermolyse (décomposition par augmentation importante de sa température). Le deuxième, qui a recours à la pyrolyse ou à la gazéification, produit pour sa part des coupes hydrocarbures, réutilisées ensuite pour former (entre autres) des monomères vierges (**site 04**).

#### **I.8.1 plastiques destinés à l'enfouissement**

Les déchets restants après le tri sont enfouis. La mise en casier est effectuée suivant un schéma technique de sorte que lorsque l'épaisseur de couches superposées

## Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique

---

de déchets atteint sa valeur nominale (0,8m,1,0m), elle est compactée pour être recouverte alternativement de sable dont l'épaisseur est de l'ordre de 10% de la couche de déchets (**Debba et al., 2021**)

La majorité des déchets collectés sont destinés à l'enfouissement sauf pour les bouteilles en PET, les canettes et les grandes pièces métalliques. Le PET est le seul plastique récupéré des déchets (**Charbuillet et Meurville, 2018**).

### I.8.2 incinération des matières plastique

En ce qui concerne le recyclage thermique, les incinérateurs «propres» comportent des dispositifs permettant de récupérer l'énergie mais également des installations de traitement pour que l'incinération se fasse de façon respectueuse de l'environnement. D'ores et déjà les procédés d'incinération relèvent de techniques maîtrisées. De plus, les nouvelles exigences des réglementations en matière de protection de l'environnement obligent à un renforcement de la fiabilité et la sécurité de ces techniques. La gestion des déchets prendra donc de plus en plus appui sur une incinération propre et puissante avec valorisation thermique et sur un développement de complémentarité, en amont par la collecte et le tri sélectif, comme en aval par une gestion organisée des résidus d'incinération (**Zalmanski, 1997**)

### I.9. recyclage de plastique en Algérie

Selon les chiffres du Centre National de l'Informatique et des Statistiques<sup>4</sup> (CNIS), L'Algérie a importé près de 2,03 milliards de dollars d'intrants pour l'industrie de plastique en 2017, contre 1,9 milliards de dollars en 2016 et 1,7 milliards en 2015. En termes de consommation de cette matière, une augmentation de 11 % par an a été enregistrée durant ces dix dernières années, passant d'un usage de 10 kg par habitant en 2007 à 23 kg en 2017, avec une estimation de 25,8 kg en 2020, 60 % de cette consommation est consacrée aux emballages, 20% au secteur du bâtiment et de la construction et le reste à d'autres industries. (**AND, 2020**)

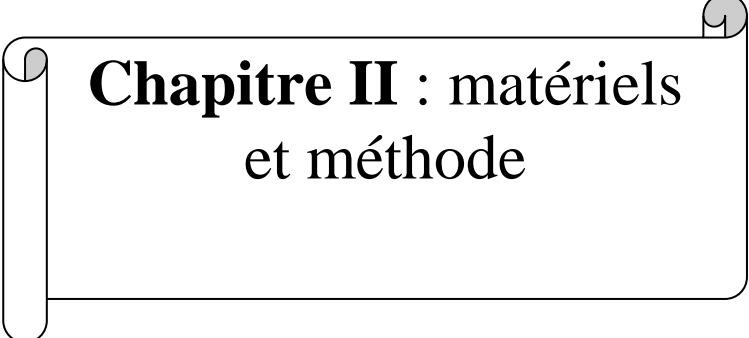
Sur les 13.1 Millions de tonnes de déchets générés chaque année (2018), 2.1 millions de tonnes contiennent des résines plastiques, selon les chiffres de l'AND cette quantité est en légère diminution comparée aux chiffres obtenus en 2014. Ce qui peut

## **Chapitre I : déchets de caoutchouc et plastique**

---

être expliqué par le développement progressif de la filière de récupération et de recyclage des déchets plastiques. (AND, 2020)

Le développement du recyclage s'appuie sur d'importantes infrastructures de tri et de transformation du déchet plastique (par type de polymère) capables de produire du plastique recyclé, voué à être utilisé par les industriels, mais aussi d'une réglementation incitative spécifique qui permet d'accroître la compétitivité du recyclage (AND, 2020)



**Chapitre II : matériels  
et méthode**

### II.1. Sortie sur terrain au centre d'enfouissement technique d'Aflou

À partir du 12 Mars 2023, nous avons faire une sortie sur terrain dans le CET Intercommunaux (Aflou - Qolta Sidi Saad - Sidi Bouzid - Sebkaq) dans le cadre de réalisation de mémoire de fin d'étude. Et ce, afin de connaitre la situation du recyclage du plastique dans la wilaya de Laghouat.

#### II.1.1. Localisation géographique



Figure 27: Carte de la centre d'enfouissement technique d'Aflou CET, (L'établissement public de l'Etat pour la gestion des CET de la wilaya de Laghouat, 2023)



Figure 28: Interface de l'entrée du centre d'enfouissement d'Aflou, (L'établissement public de l'Etat pour la gestion des CET de la wilaya de Laghouat, 2023)

**Tableau 1: Fiche technique de CET d'Aflou (L'établissement public de l'Etat pour la gestion des CET de la wilaya de Laghouat, 2023)**

Le site de CET	Aflou –Laghouat
Numéro d'opération	NK 5.352.1.262.103.07.01.
La date de joindre	2052008
La couverture financière	300.000.000.00 DA
La couverture financière finale	300.000.000.00 DA
Le porteur du projet	Le maire de Wilaya de Laghouat
Le bureau d'étude	Hydro-ag
La date de terminer de travaux	03/11/2014
Superficie de terrain	10 Ha

### II.2. Stage pratique à l'agence Nationale des déchets

Dans le cadre de valorisation des déchets, nous avons visité l'Agence nationale des déchets à Alger et à partir du dimanche 7 mai 2023, la sortie scientifique a été lancée et accompagné avec Chef service de formation et suivi les stages pendant 7 jours.

L'Agence nationale des déchets est un établissement national et EPIC, L'AND a été créé par le décret exécutif n° 02 – 175 du 20 Mai 2002. Placée sous la tutelle du Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelable.



**Figure 29: entrée de l'agence nationale des déchets. (Originale, 2023)**

### II.3. Collecte des échantillons de caoutchouc et de PET

Le premier matériau utilisé dans notre étude est issu de déchets de pneus usagés non réutilisables, qui nous avons apporté de l'atelier de mécanique de l'université de Laghouat. Il se présente sous forme de granules sont obtenus par le déchiquetage et le broyage ( $\leq 2\text{mm}$ ) des pneus usagés. Ces granulats sont utilisés fréquemment comme sol dans les terrains artificiels de football.

La composition chimique et le processus de transformation de sa structure sous l'effet de la température ne sont pas connus. C'est pourquoi des analyses physico-chimiques s'avèrent nécessaires pour déterminer ses caractéristiques.

#### II.3.1 Caractérisation de matière de granules de caoutchouc

Les analyses de caractérisation physique de la matière de caoutchouc sont été déterminées dans l'étude des étudiants du département de génie civil avec Monsieur GOUAL idriss à l'université de Laghouat.

**Tableau 2: Les Récapitulatif des résultats de la caractérisation physiques des matériaux de base (Ramdani et Mekadam, 2019).**

Essais de caractérisation		Granulats de caoutchouc
Masse volumique NF P18-555	$\cdot$ app ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	00,50
	$\cdot$ abs ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	02,00
Compacité	C(%)	25,00
Porosité	P(%)	75,00
Analyse Granulométrique NF P94-056	Dmax (mm)	03,15
	CU	02,00
	CC	00.2
Module de finesse NF P18-360	Mf	01,92
Absorption NF P18-555	ABS (%)	00,36

Le type de plastique utilisé est le **polyéthylène téréphtalate (PET)** est issus de déchets plastique recyclés, que nous avons apporté de le centre d'enfouissement technique d'Aflou.

### II.4. Prétraitement des échantillons

Dans un 2.5 L d'eau, nous avons ajouté 10 g de NaOH au granule de caoutchouc et le plastique de type PET recyclé pendant 24h pour le purifier des impuretés et pour le séchage.



**Figure 30: PET recyclé (CET, Aflou) et les granules de caoutchouc (Atelier mécanique) avant. (Photos originale, 2023)**



**Figure 31: PET recyclé et granules de caoutchouc avec NaOH. (Photo originale, 2023)**



**Figure 32: Les matières après séchage (photos originale, 2023)**

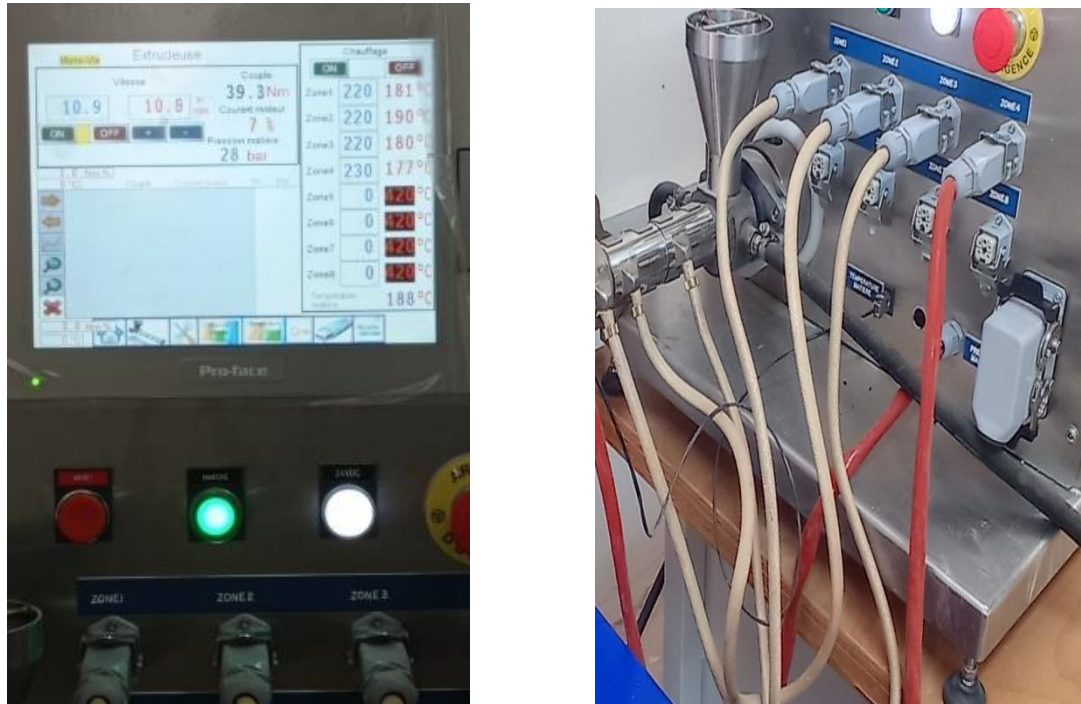


**Figure 33: Appareil de mesure le point de fusion. (Originale, 2023)**

Dans cette machine, nous avons essayé de mesurer le point de fusion du caoutchouc, mais nous n'avons pas pu, car le caoutchouc était des granules, et le machine exige que le matériau soit une poudre.

### II.5. Processus de fusion des deux matériaux

L'expérience vise à réaliser des principaux processus : la dévulcanisation et la fusion que se déroulent dans **Une extrudeuse** conique à contre-rotation à double vis.



**Figure 34: Réglage de la température des zones de l'extrudeuse (originale ,2023)**

Donc, nous avons testé les granules de caoutchouc dans l'extrudeuse pour déterminer la dévulcanisation. Le processus de dévulcanisation vise à cliver sélectivement les liaisons C-S tout en laissant intactes les liaisons C-C. La dévulcanisation des déchets de caoutchouc applique de l'énergie au matériau afin de briser, totalement ou partiellement, le réseau tridimensionnel formé lors de la vulcanisation, par conséquent elle est considérée comme une étape importante pour faciliter la fusion de PET et Caoutchouc.



**Chapitre III : résultat et  
discussion**

### III.1 Le centre d'enfouissement technique

Pour la gestion des déchets plastique est l'ensemble des processus de valorisation liés à la collecte, au tri, le transport et la récupération, réutilisation, y compris le contrôle de ces processus.

Les missions de CET d'Aflou sont :

- Collecte et tri des déchets.
- Recherche sur le recyclage des déchets.
- Présentation et publicité.
- Attirer des unités industrielles.

Le traitement se fait en fonction de son type et de sa qualité comme le PET, PP et PE. Ensuite le plastique lavé et broyé en petits morceaux et il y a 3 granulométries dans la machine. Donc le plastique est transformé en très petits granules, qui peuvent être utilisés pour fabriquer de nouveaux produits en plastique ou bien stockés pour l'exportation.



**Figure 35: Quelque matière de plastique recyclé. (CET, 2023)**



Figure 36: Recyclage des déchets au CET - Aflou(originale, 2023)

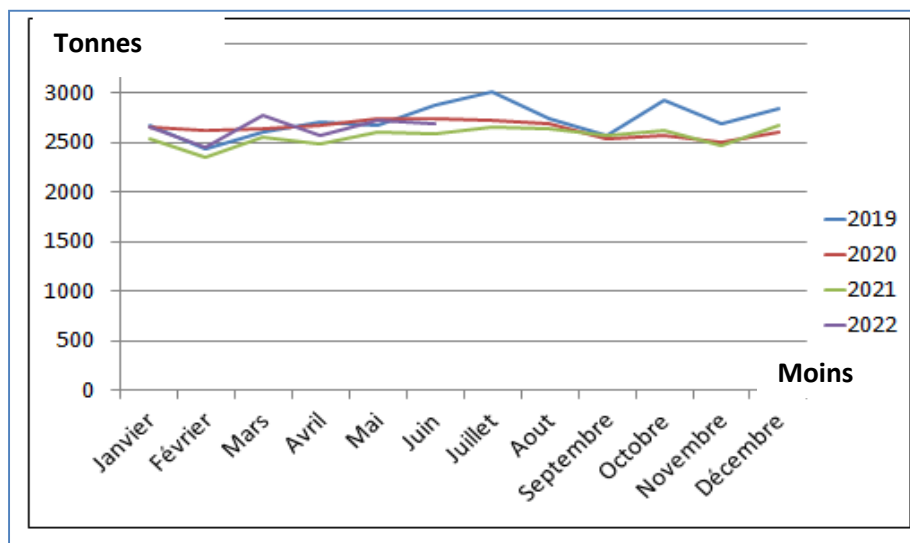
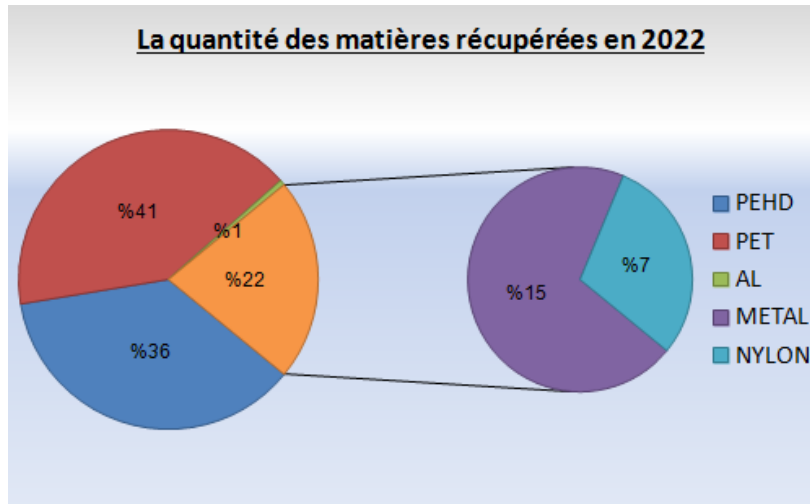


Figure 37: statistiques des quantités de déchets de plastique dans la wilaya de Laghouat en (2019-2022). (CET, 2023)

On note que le pourcentage de la quantité de déchets plastiques durant quatre années proches, sauf à la saison estivale 2019, le pourcentage de la quantité de déchets plastiques dans l'état de Laghouat aux mois de juin, juillet et août est élevé, il atteint au mois de juillet jusqu'à 3000 tonnes, ce qui explique l'utilisation de bouteilles en été en abondance, ce qui fait que le pourcentage de déchets plastiques augmente et

est passé en octobre à 2900 tonnes. Quantité de déchets variait de 2400 tonnes à 2700 tonnes dans les années 2020,2021 et 2022.



**Figure 38: quantité de la matière récupérée en 2022. (CET, 2023)**

On voit que le pourcentage de PET recyclé est élevé de 41% et le PEHD de pourcentage de 36%, ce qui explique l'augmentation des déchets plastique et la valorisation de ce type de plastique.

### III. 2 L'agence nationale des déchets AND

Le rôle de l'agence nationale des déchets est basé sur l'amélioration de cette gestion en encourageront l'émergence de certaines filières de valorisation notamment les déchets précieux et les déchets d'emballages de plastique.

#### Les missions du l'Agence national des déchets :

- La sujétion de service public d'informer et de vulgariser les techniques de tri, de collecte, de transport, de traitement, et valorisation et d'élimination des déchets, per des projets pilotes.
- Elle constitué un fond documentaire sur la gestion des déchets et en assurer la diffusion aux collectivités locales et au secteur d'activités.
- Accompagnement des EPIC de gestion, des projets, les études et des entreprises dans le cadre de la gestion des déchets.
- Soutenir le développement économique et humain respectueux des particularités socioculturelles et environnementales.

- La réalisation d'études, de recherches et de projets de démonstration, en diffusant l'information scientifique et technique et en aidant à la mise en œuvre de programmes de sensibilisation et d'information

Nous avons suivi le plan suivant :

### **Direction de la gestion intégrée des déchets**

- Département de schémas directeurs.
- Département de gestion des déchets ménages et assimilés

Il vient sous la Loi n° 01 - 19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

**Les déchets ménages et assimilés (DMA) :** Ce sont les ordures ménagères collectées en mélange dont les déchets alimentaires et les recyclables secs (les 5 matériaux d'emballages ménagers : verre, acier, aluminium, papier, plastique) Ou bien Les déchets produits par les services municipaux, déchets de l'assainissement collectif, déchets de nettoyage des rues, de marché, c'est-à-dire les déchets des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres ...etc.

### **Gestion intégrée de DMA :**

Il est institué un schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés. Le schéma directeur de gestion est constitué de dispositions réglementaires et de lois spécifiques, proposant des solutions de gestion efficace de DMA sur l'ensemble de territoire de la commune conformément au plan d'aménagement de l'ETAT (PAW).

Le plan de gestion des déchets se présente sous la forme d'une étude bien détaillée représenté par :

- Mode de ramassage et collecte, de balayage, de restauration, de gestion commerciale...etc.
- L'estimation des quantités des déchets traités et des déchets valorisés.
- Décharge sauvage
- Etat des installations de traitement

Donc la gestion intégrée des DMA passe par des étapes, d'abord, la gestion est dirigée vers les acteurs de la gestion qui sont :

- EPIC de collecte et transport comme EPIC Netcom, EPIC Extranet.
- EPIC, CET

- DEW

Et 80% des déchets générés sont traités au niveau de deux Centres d'Enfouissement Techniques (CET), le premier situé au niveau de Mehalma (Hamici) et le deuxième à Corso dans la wilaya de Boumerdès.

Puis la saisie, vérification et traitements des données représentés par des rapports et fiches signalétique.

- Département des déchets inertes.
- Département de prévention et protection de l'environnement marin
- Département gestion des déchets spéciaux et spéciaux dangereux

Dans ce département nous avons vu :

**Les déchets spéciaux (DS) et les déchets spéciaux dangereux (DSD)** sont des déchets dangereux qui doivent suivre un processus de collecte et d'élimination particulière, dans le respect des mesures de sécurité sanitaire et environnementale. Ils sont d'origine industrielles (déchets spéciaux des entreprise), ils sont notamment constitués de produits tels que solvants usagés, les déchets de produits chimiques, piles, batteries, les huiles minérale, peintures, médicaments, périmés...etc. le critère de dangerosité est le seul paramètre qui définir si le déchet est dangereux et spécial. Aussi il existe 14 critères de dangerosité sont : explosif, comburant, extrêmement inflammable, facilement inflammable, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, corrosif, infectieux, toxique vis-à-vis de reproduction, mutagène et dangereux pour l'environnement.

Mentionnés dans l'annexe I du décret exécutif n°06-104 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux.

### **Direction développement de l'économie verte**

- Département de mobilisation citoyenne
- Département de changement climatique
- Département de veille technologique
- Département d'appui aux entreprises

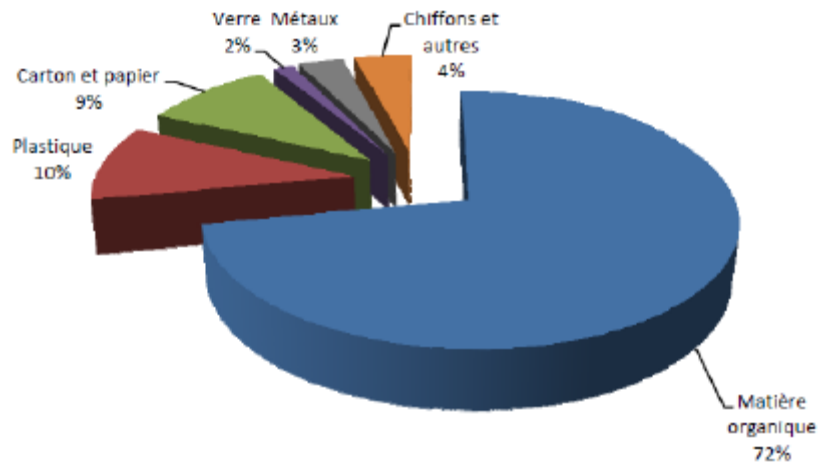
### **Direction de l'engineering**

- Département de MOD et suivi des installations de traitement des déchets et suivie de l'éradication et réhabilitation de décharge sauvage

➤ Département d'études et suivi

Département de cartographie

### II.2.1 Les statistiques selon l'agence nationale de déchets 2019/2020



**Figure 39: composition des déchets ménagers en Algérie (AND, 2020)**

La composition des déchets ménagers en Algérie avec une part de plastique de 10% indique que, parmi l'ensemble des déchets générés par les ménages en Algérie, environ 10% sont constitués de plastique.

Ce pourcentage peut être utilisé pour évaluer la quantité relative de plastique dans les déchets ménagers et pour identifier l'importance du plastique en tant que composant des déchets. Un taux de 10% peut être considéré comme significatif, ce qui souligne la présence importante de plastique dans les déchets ménagers en Algérie.

La présence élevée de plastique dans les déchets ménagers pose des défis en termes de gestion des déchets et de protection de l'environnement.

### III.2.2 Valorisation de plastique en Algérie :

L'essentiel de la récupération des plastiques (PET, film plastique, PP, PS, Caoutchouc, PVC) se fait soit, au niveau des industries et des petits commerces, soit dans les installations de traitement. Ils sont ensuite, transportés dans des hangars, stockés, triés selon le type de plastique (voir la figure suivante).

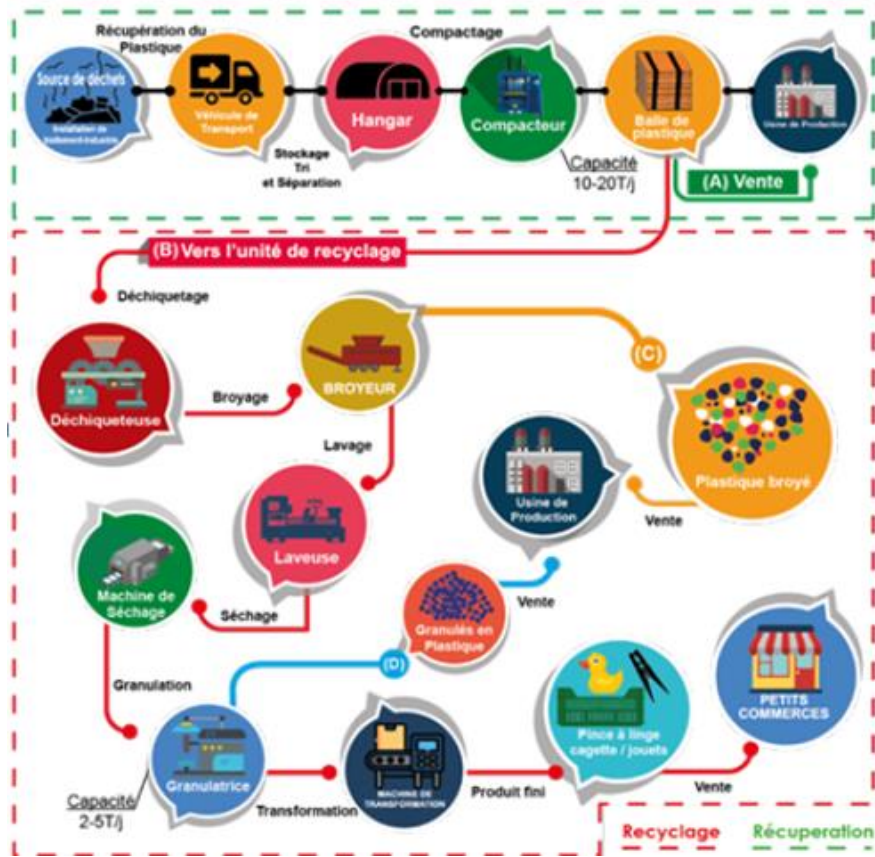


Figure 40: Processus de valorisation du plastique (AND, 2020)

Une fois l'opération achevée, le plastique est compacté et mis en balles pour être conduit ensuite, soit :

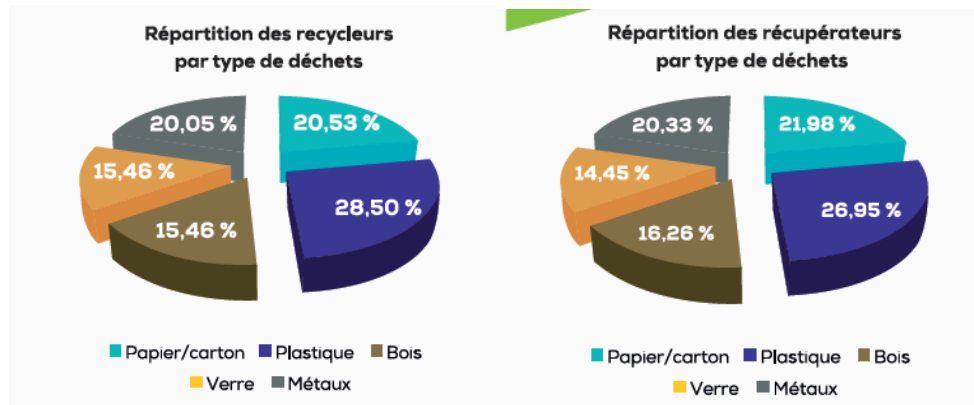
Aux usines de production (A) : c'est la fin de la chaîne de récupération.

Aux unités de recyclage (B) : c'est le début du processus de recyclage, les déchets sont alors déchiquetés et broyés à l'aide d'un broyeur, puis lavé, rincés et séchés avant de passer au granulateur.

(D) : les granulés.

(C) : plastiques broyés, ils peuvent être acheminés et vendus comme matière première secondaire aux usines de production. En fonction du type de plastique, les granulés sont ensuite transformés en produits finis, nous avons rencontrés des opérateurs qui fabriquent à partir des PP et PEHD, des cagettes et des pinces à ligne.

Selon les statistiques de l'AND le taux de valorisation de plastique est de 15%, ce pourcentage couvre les quantités récupérées au niveau des CET classe 2.



**Figure 41: Répartition des recycleurs et récupérateurs par type de déchets (AND, 2017)**

On observe 26,95% de recyclage de plastique signifie que sur la totalité de la quantité de plastique générée, 26,95% de ce plastique est effectivement recyclé. Cela indique le pourcentage de plastique qui est collecté, trié, traité et réutilisé plutôt que d'être envoyé en décharge ou incinéré.

Ce chiffre peut être utilisé pour évaluer les performances d'un système de recyclage. Une valeur de 26,95% peut être considérée comme relativement faible, ce qui suggère qu'il y a encore des opportunités d'amélioration pour augmenter le taux de recyclage. Les raisons de ce faible taux de recyclage peuvent inclure des problèmes de collecte, de tri, de sensibilisation du public ou de capacité de traitement.

### ➤ Les Etapes de tri

Les déchets sont déversés au niveau de la plateforme, ensuite menés via un mini chargeur vers le convoyeur/déchiporteur des sachets puis vers le tapis de tri;

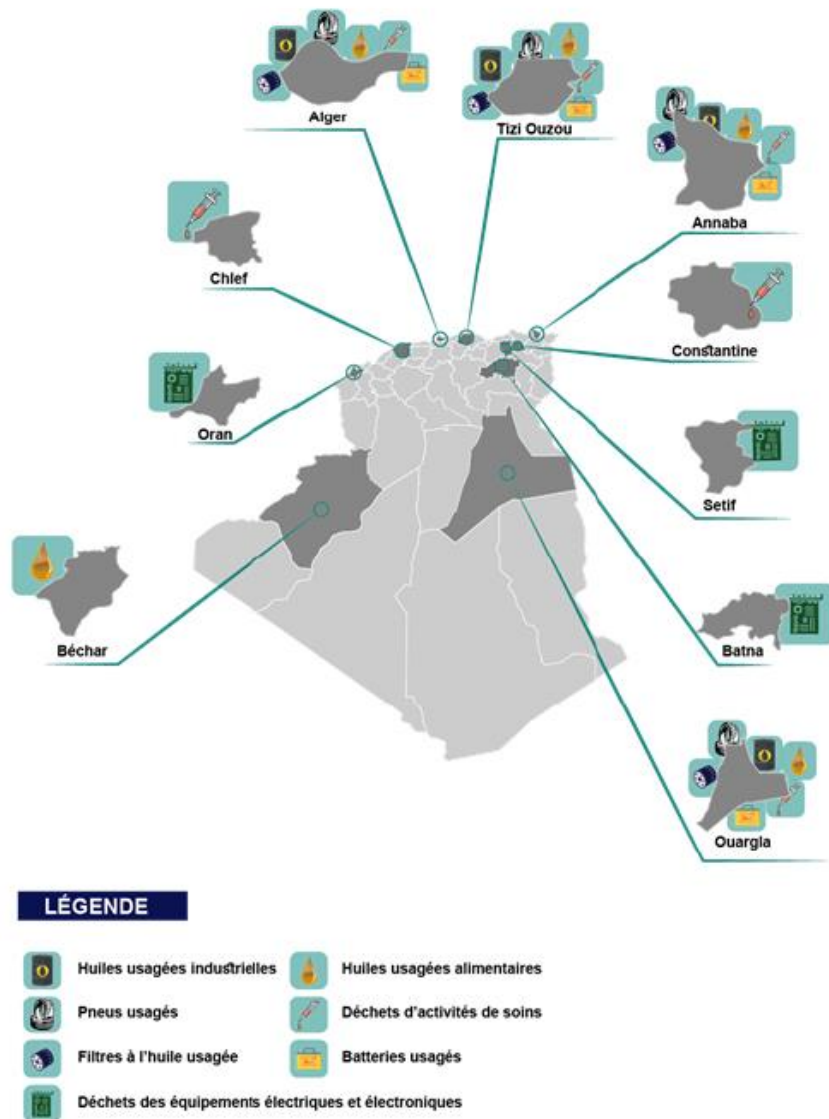
- Les déchets non valorisables sont évacués par un camion à benne vers le casier;
- Les produits récupérés sont pressés et mis en balles pour faciliter leurs stockages;

- Les catégories de déchets récupérés : PET, Carton, Aluminium, Fer, PEHD, film plastique.

### III.2.3 Valorisation de déchets des pneus usagés :

Les pneus usagés sont réutilisés en génie civil pour la stabilisation et la renforcement les remblais et pour éviter l'érosion du sol, et sont utilisés comme barrière d'amortissement en cas de collision. Il y a aussi la co-incinération c'est-à-dire les déchets de caoutchouc sont utilisés comme co-combustibles, la société LAFARGE OGGAZ a adopté le processus de co-incinération, il y a certains entreprises qui fait le recyclage des pneus usagés par exemple Mila, Mostaganem, Boumerdas « Ouelad Brahim », Bouira « ZA El Hachemia », Batna « 2 opérateurs à Ain Djasser », Ain Defla « Ain Tork », Oran « 2 opérateurs » (AND, 2020).

L'évolution quantitative dans le temps des déchets à l'horizon 2028 est marquée par l'imminente émergence de ceux portant sur les pneus usagés, et selon les statistiques de la répartition de récupérateurs des déchets des pneus sont estimés en 2017 de 12.83% (AND, 2017).



**Figure 42: Wilayas pilotes et DS/DSD concernés par la campagne de quantification (AND, 2020)**

On note que la valorisation des déchets de caoutchouc se fait au niveau de quelques états seulement, et ils le sont Tizi Ouzou, Annaba, Ouargla et Alger, Ceci explique que la plupart des pneus usagés ne sont réparés, réutilisés, c'est-à-dire sont de types pneus usagés réutilisables.

Et pour le type de pneus usagés non réutilisables, le taux de recyclage est très faible.

### Conclusion

La valorisation des déchets de plastiques et de caoutchouc présente plusieurs avantages importants, elle contribue à la réduire les quantités des déchets produits, protéger l'environnement, elle permet également de créer de nouveaux emplois dans l'industrie du recyclage et récupération de ces matériaux en utilisant des méthodes de manière durable parmi elles la fusion de plastiques et de caoutchoucs est une méthode commercialement réalisable et fréquemment pratiquée pour accéder à une combinaison de propriétés qui sont commercialement souhaitables mais inaccessibles à partir d'un seul composant. Ces propriétés peuvent être classées comme la facilité de fabrication et la rigidité des plastiques et la résilience et l'absorption d'énergie des caoutchoucs. Un exemple approprié de cette nouvelle propriété combinée est la ténacité aux chocs, qui est généralement absente dans les plastiques fragiles alors que les caoutchoucs dissipent l'énergie par déformation facile. De plus, les mélanges fournissent en général une variation continue des propriétés par un ajustement des rapports des composants dissemblables individuels. Ainsi, l'applicabilité potentielle des mélanges est grande. Les fusions de caoutchouc-plastique offrent un moyen d'atteindre des propriétés utiles intermédiaires entre les parents en combinant la rigidité des plastiques avec la résilience des caoutchoucs. La variété des propriétés ultimes par de simples changements dans le rapport des composants conduit à une large pratique commerciale et industrielle. Les mélanges sont à l'origine d'une grande partie du développement commercial, de la technologie industrielle et de la science universitaire. Cela se manifeste par le développement d'outils et les processus de mélange.

A decorative scroll graphic with the word "Références" written on it. The scroll is white with a black outline and has a small grey circle at the top right corner, suggesting a binding or a scroll edge. The text "Références" is written in a bold, black, serif font.

# Références

- Agence nationale des déchets, 2017, rapport de la gestion des DMA dans la wilaya d'Alger.
- Alsaleh, A., et Sattler, M. L. (2014). Waste tire pyrolysis: influential parameters and product properties. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 1, 129-135.
- AND, 2020, Les déchets plastiques en Algérie, Regard croisé sur les plastiques à usage unique, 23p.
- AOUDIA, M. (2014). Recyclage et revalorisation des élastomères usagés (Doctoral dissertation, Université de Tizi Ouzou-Mouloud Mammeri).
- Bazri K-E-D., Cours : Récupération et Recyclage des déchets, Niveau : L3, Spécialité : LP Gestion Durable Traitement et Valorisation des Déchets, Univ Constantine.
- Belabelouhab, F., et Trouzine, H. (2009). Le Pneusol en Algérie: recherche, réalisations d'ouvrages et protection de l'environnement–IVth International Congress on Renewable Energy and the Environment.
- Ben Guesmia, A., Benmadani W., 2022, Les impacts environnementaux des déchets plastiques, Mémoire Master, Chimie de l'Environnement, Univ M'sila, 73p.
- Benayache, H., Ghellaf F., 2016, Caractérisation du poly (éthylène téréphtalate) (PET) recyclé utilisé par l'entreprise RET PLAST pour la fabrication des fibres, Mémoire Master, Matériaux, Chimie, Univ Béjaia, 65p.
- Benjamin, L, (2015). Le caoutchouc et son histoire. ENFA. <https://sites.ensfea.fr/physique-chimie/wp-content/uploads/sites/10/2016/10/Le-caoutchouc-et-son-histoire.pdf>
- Bordet, G., (20.06.2022). (L'histoire fascinante du caoutchouc).MSM le mensuel de l'industrie. <https://www.msm.ch/lhistoire-fascinante-du-caoutchouc-a-1117002/>
- Brantley, W. A., et Eliades, T. (2001). Orthodontic materials: scientific and clinical aspects. *AMERICAN JOURNAL OF ORTHODONTICS AND DENTOFACIAL ORTHOPEDICS*, 119(6), 672-673.

- Brosse, J. C., Campistron, I., Derouet, D., Houdayer, S., Reyx, D., Boccaccio, G., ... et De Livonnière, H. (2000). Le caoutchouc naturel, chimie d'un hydrocarbure polymère.
- Čabalová, I., Ház, A., Krilek, J., Bubeníková, T., Melicherčík, J., et Kuvik, T. (2021). Recycling of wastes plastics and tires from automotive industry. *Polymers*, 13(13), 2210.
- Carrega, M., et Verney, V. (2017). *Matières plastiques-3e éd.* Dunod.
- Chaiear, N. (2001). *Health and safety in the rubber industry (Vol. 138)*. iSmithers Rapra Publishing.
- Charbuillet, C., Meurville J-M., 2018, *Etude de la gestion des déchets plastiques de la zone COI*, Institut Carnot Arts, 93p.
- Chettah, A. (2008). *Comportement vibroacoustique des structures élaborées à partir de poudrettes de pneus recyclés*. École Centrale de Lyon/Université de Reims.
- Coran, A. Y. (2003). Chemistry of the vulcanization and protection of elastomers: A review of the achievements. *Journal of Applied Polymer Science*, 87(1), 24-30.
- Datta, S. (2016). Rubber–Plastic Blends: Structure–Property Relationship. *Encyclopedia of Polymer Blends: Volume 3: Structure*, 229-298.
- Debba, N., Guermit A., Chetti F-Z., *Impact de l'enfouissement des déchets solides urbains sur l'environnement Centre d'enfouissement technique de Nezla (Touggourt)*, Mémoire Master, Biodiversité et Environnement, Univ El Oued, 53p.
- Dhahak, A., 2019, *Étude expérimentale de la pyrolyse de poly(téréphtalate d'éthylène) (PET) : caractérisation fine des produits et de leur cinétique de formation*. Génie des procédés. Université de Lorraine, France, 257p.
- Diaz, R., Colomines, G., Peuvrel-Disdier, E., et Deterre, R. (2018). Thermo-mechanical recycling of rubber: Relationship between material properties and specific mechanical energy. *Journal of Materials Processing Technology*, 252, 454-468.

- Dlamini, K. D., et Joubert, P. N. (1996). Industrial development, pollution and disease: The case of Swaziland. *Pula: Botswana Journal of African Studies*, 10(1), 71-83.
- Fazli, A., et Rodrigue, D. (2020). Recycling waste tires into ground tire rubber (GTR)/rubber compounds: A review. *Journal of Composites Science*, 4(3), 103.
- Formela, K., Cysewska, M., et Haponiuk, J. T. (2016). Thermomechanical reclaiming of ground tire rubber via extrusion at low temperature: Efficiency and limits. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 22(3), 213-221.
- Giese, U. (1999). Sampling and analysis of emissions in the rubber industry. In *Hazards in the European Rubber Industry: An Assessment of Exposure Risks; a Two-day Conference, Held at RAPRA Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, 28th et 29th September 1999*. iSmithers Rapra Publishing.
- Gopalakrishnan, S. (2007). *Vulcanization and the Properties of Rubber*. University of Illinois paper.
- Gouissem, L. (2015). *Etude de l'effet des paramètres de transformation et des extenseurs de chaînes sur les propriétés du poly (éthylène téréphtalate)(PET) recyclé* (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas).
- GOUISSEM, L. (2018). *Contribution à l'amélioration des propriétés du Poly (éthylène téréphtalate)(PET) recyclé* (Doctoral dissertation).
- Hamdaoui, S., Sebgoud R., 2021, Etude Et Conception D'un Moule D'injection Plastique Pour Entretoise Supérieur D'un Réfrigérateur Fb1-Fb2, Mémoire Master, Fabrication Mécanique et Productique, Univ Tizi Ouzou, 101p.
- Hamlaoui, C-A., Moussaoui H., Valorisation des déchets de caoutchouc des pneus et déchets de verre dans le béton de sable., Mémoire Master, Matériaux en Génie civil, Univ Bouira, 99p.
- Jagadale, S. C., Rajkumar, K., Chavan, R. P., Shinde, D. N., et Patil, C. L. (2015). Environmental concern of pollution in rubber industry. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(11), 187-191

- Koscher, M. (2003). Etude de l'extrusion monovis de mélanges d'élastomères: approche expérimentale et simulation numérique (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure des Mines de Paris).
- Kumar, C. S. S. R., et Nijasure, A. M. (1997). Vulcanization of rubber. *Resonance*, 4, 55-59.
- Leong, S. Y., Lee, S. Y., Koh, T. Y., et Ang, D. T. C. (2023). 4R of rubber waste management: current and outlook. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(1), 37-51.
- Liu, L., Cai, G., Zhang, J., Liu, X., et Liu, K. (2020). Evaluation of engineering properties and environmental effect of recycled waste tire-sand/soil in geotechnical engineering: A compressive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 126, 109831.
- Ministère de l'environnement : « End-of-Life Tyre Management : Storage Options Final Report for the Ministry of Environment ». MWH, juillet 2004.
- Miri, M., Lekmouchi I., 2017, Etude d'une ligne de recyclage du plastique (Bac horizontal et extrudeuse), Mémoire Master, Génie Mécanique et Matériaux, Univ Blida, 71p.
- Mission, S. B. (2019). Plastic Waste Management-Issues, Solutions et Case Studies.
- Mohajerani, A., Burnett, L., Smith, J. V., Markovski, S., Rodwell, G., Rahman, M. T., ... et Maghool, F. (2020). Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104679.
- Nuzaimah, M., Sapuan, S. M., Nadlene, R., et Jawaid, M. (2018, June). Recycling of waste rubber as fillers: A review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 368, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- Pic, A., (2009). Les matériaux élastomériques. *L'Orthodontie Française*, 80(1), 55-68.

## Références

---

- Pierlot-Simon, M., Deleuze, A., Lachaud, B., et Hervé, N. (2010). Enseignement, culture scientifique et technologique: quelques exemples pratiques. *Bulletin de l'Union des physiciens*, (921), 167-178.
- Rahem Z., 2019, Etude des propriétés du mélange polyéthylènetéréphtalate/modificateur de choc, Thèse Doctorat, Génie des Procédés, Univ Setif, 106p.
- Renick, M. R., Brantley, W. A., Beck, F. M., Vig, K. W., et Webb, C. S. (2004). Studies of orthodontic elastomeric modules. Part 1: glass transition temperatures for representative pigmented products in the as-received condition and after orthodontic use. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 126(3), 337-343.
- Reschner, K. (2008). Scrap tire recycling. *A summary of prevalent disposal and recycling methods. Entire-Engineering, Berlin, 1*, 115-240.
- Ruwona, W., Danha, G., et Muzenda, E. (2019). A review on material and energy recovery from waste tyres. *Procedia Manufacturing*, 35, 216-222.
- Saada B., 2018, Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique, Mémoire d'Ingénieur, Univ Tizi Ouzou.
- Sadaka, F., (2010). Etude de la dégradation contrôlée de polydiènes: Application au recyclage des déchets pneumatiques (Doctoral dissertation, Le Mans).
- Sawatari, C., & Matsuo, M. (1985). Dependence of thermal crystallization of poly (ethylene terephthalate) on active mobility of amorphous chain segments. *Textile research journal*, 55(9), 547-555.
- Schaefer, R. J. (2010). Mechanical properties of rubber. *Harris' Shock and Vibration Handbook*, Sixth edition, A. Piersol, T. Paez (Eds), McGraw-Hill Companies Inc, 33-1.
- Semegen, S. T. (2003). Rubber, Synthetic.

- Shi, J., Jiang, K., Ren, D., Zou, H., Wang, Y., Lv, X., et Zhang, L. (2013). Structure and performance of reclaimed rubber obtained by different methods. *Journal of Applied Polymer Science*, 129(3), 999-1007.
- Trouzine, H., Asroun, A., Asroun, N., Belabdelouhab, F., et Long, N. T. (2011). Problématique des pneumatiques usagés en Algérie. *Nature et Technology*, (5), 28.
- Turer, A. (2012). Recycling of scrap tires. *Material recycling-Trends and perspectives*, 195-212.
- Wu, J. Y., et Tsai, M. (2009). Feasibility study of a soil-based rubberized CLSM. *Waste Management*, 29(2), 636-642.
- Young, J., (16/08/ 2019). (Tire Manufacturing Trends: New Technologies Improve Efficiencies Amid Industry Evolution), Tire review, <https://www.tirereview.com/tire-manufacturing-trends-new-technologies-improve-efficiencies-amid-industry-evolution/>.
- Zalmanski A., 1997, Les matières plastiques Utilisations et recyclage, BULLETIN DL'UNION DES PHYSICIENS, N° 790, Vol 91, P-p 109-123.

### **Sites :**

**Site 1 :** <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/chimie-fabrication-plastique-5-etapes-6227/>

**Site 2 :** <https://www.indoramaventures.com/storage/downloads/education-materials/20180926-amazing-pet-book-1-french.pdf>

<https://www.cercle-recyclage.asso.fr/images/stories/politique-nationale/pdf/plastique.pdf>

<https://www.sytrad.fr/livret-de-lenseignant.html?file=files/Images/Communication/Espace%20documentaire/Livret%20Enseignants%202022/Annexes%20%20Livret%20Enseignants%202022/Les%20diff%C3%A9rents%20types%20de%20plastiques.pdf>

## Références

---

Site 3 :

<https://lewebpedagogique.com/classesbilingueslpb/files/2018/06/Le%C3%A7on32.pdf>

Site 04. <https://www.yumpu.com/fr/document/view/16573009/differents-types-de-matieres-plastiques-cap-sciences>