

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Mohamed Boudiaf University of M'sila

Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة المسيلة

كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

### MASTER

En Génie Mécanique

**Option :** Techniques de production Industrielle & fabrication mécanique et productique

Présenté par :

Djerad Mawloud & Fetiti Rayene Badis

### Thème

---

Elaboration et caractérisation d'un nouveau matériau à base  
des déchets de cartons et du polystyrène

---

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
ZAOUI Moussa	Professeur	Président
ROKBI Mansour	Professeur	Encadreur
MEKIDECHE Salih	Doctorant	Co-Encadreur
AMROUNE SALAH	Doctorant	Examineur

*Année Universitaire : 2022 / 2023*



## *Dédicaces*

*Je profite de cette occasion pour dédier ce modeste travail:  
À celle qui m'est chère et qui m'a appris beaucoup....Ma mère;  
À celui qui ma appris comment affronter la vie en souriant Mon père;  
mes frères Aissa et Abdelhaq; À Ma sœur Rahma et ses enfants Jude et  
Rasim  
À toute ma famille et mes proches;  
À tous mes amis chacun par son nom;  
À tous ceux qui m'ont aidé de près pers ou de loin.*

### *Djerad Mawloud*

*Avant tout c'est grâce à Dieu que nous sommes là, je remercie  
ALLAH Tout-Puissant m'avoir donné la force, le courage, la  
volonté et la patience tout en réalisant cet travail, nous dédions ce  
mémoire :*

*A mes chers parents, mon père ABDELMALEK et ma mère  
MOUNIRA, qui ont toujours été à mes côtés et qui m'ont toujours  
soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de  
reconnaissance, ils trouvent ici l'expression de ma profonde  
gratitude pour tous leurs efforts et moyens pour me voir réussir  
dans mes études. Que Dieu leur accorde longue vie.*

*A mon frère MALIK et ma sœur RACHA et toute ma famille pour  
leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*A tous mes amis qui me sont aidé.*

*A toutes personne qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes  
études.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de  
ce Travail.*

*Fetiti rayene badis*

## *Remerciements*

*On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et à remercier A :*

*Notre encadreur Mr ROKBI Mansour, et notre Co-encadreur Mr MEKIDACHE Salih d'avoir acceptés de diriger ce mémoire et pour leurs soutien, leur précieux conseils et orientations qu'ils nous avaient adressé durant toute la période de réalisation de ce travail et nous vous sommes très reconnaissantes de bien vouloir porter intérêt à ce travail.*

*Nous remercions nos parents pour leur soutien continu tout au long du travail sur ce mémoire.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous les employés du hall d'entrée de l'Université de M'sila, en particulier à KHALIDOUN Abdelraouf.*

*Nous tenons également à remercier le professeur MENASSEL Sihem pour nous aider*

*Nous voudrions en même temps exprimer tout notre respect et remerciements à tous les enseignants Qui ont contribué à notre éducation du primaire à l'université.*

*Nous tenons également à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et à notre éducation tout au long de nos années de premier cycle.*

*Nous remercions tous ceux qui ont participé directement ou indirectement. Proche ou loin de réaliser ce travail.*

## Table des matières

Dédicaces	
Remerciements	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Glossaire	
Introduction générale.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>chapitreI: Généralité sur les déchets.....</b>	<b>4</b>
I.1 Introduction .....	4
I.2 Définition du déchet .....	4
I.2.1 Juridique.....	4
I.2.2 Economique .....	4
I.2.3 Environnemental .....	4
I.2.4 Sanitaire .....	5
I.3 Histoires des déchets .....	5
I.4 Durée de vie de certains déchets .....	5
I.5 Impact des déchets .....	5
I.5.1 Sur l'environnement.....	5
I.5.2 Sur la santé.....	7
I.5.3 Sur l'économie .....	8
I.6 Classification des déchets.....	8
I.6.1 Par leur nature .....	9
I.6.2 Par leur origine.....	11
I.7 Gestion des déchets .....	15
I.7.1 Le tri sélectif .....	15
I.7.2 Collecte des déchets.....	16
I.7.3 Transport.....	17
I.7.4 Stockage.....	17
I.7.5 Installations de collecte et de traitement.....	17
I.7.6 Valorisation des déchets .....	18
I.8 Les avantages et les inconvénients des déchets .....	20
I.8.1 Les avantages .....	20

---

I.8.2	Les inconvénients.....	20
I.9	Participation citoyenne à la gestion responsable des déchets .....	21
<b>chapitre II: Recyclage.....</b>		<b>24</b>
II.1	Introduction .....	24
II.2	Définition du recyclage .....	24
II.3	Principe du recyclage.....	24
II.4	Histoire du recyclage.....	25
II.5	Type de recyclage.....	25
II.6	Les avantages et les inconvénients du recyclage.....	25
II.7	Indication du recyclage.....	26
II.8	Impacts du recyclage sur l'environnement.....	27
II.9	Statistiques sur le recyclage.....	27
II.10	TYPE DE DECHETS RECYCLE.....	28
II.10.1	Le papier et le carton.....	28
II.10.2	LE VERRE.....	29
II.10.3	Le plastique.....	30
II.10.4	Les métaux.....	31
II.10.5	Les déchets organiques .....	31
II.10.6	Les déchets électroniques .....	32
II.11	Différentes méthodes de recyclage.....	32
II.11.1	Recyclage primaire ou le recyclage mécanique.....	33
II.11.2	Recyclage secondaire.....	33
II.11.3	Recyclage tertiaire .....	33
II.11.4	Recyclage quaternaire .....	34
<b>chapitreIII: Carton ET Le polystyrene.....</b>		<b>36</b>
III.1	Carton .....	36
III.1.1	Introduction.....	36
III.1.2	Définition de carton .....	36
III.1.3	L'histoire du carton .....	37
III.1.4	Les produits en papier-carton .....	37
III.1.5	Les avantages et inconvénients du carton papier.....	40
III.1.6	Les différentes utilisations du carton.....	40

---

III.1.7 Les formes de carton.....	42
III.1.8 Les propriétés de carton.....	44
III.1.9 Processus d’obtention du papier et les produits en papier carton.....	45
III.2 Le polystyrène.....	46
III.2.1 Introduction.....	46
III.2.2 Le polystyrène.....	47
III.2.3 Historique.....	48
III.2.4 Origine.....	48
III.2.5 Formes de polystyrène.....	49
III.2.6 Avantages et inconvénients du polystyrène expansé.....	52
III.2.7 Utilisation du polystyrène.....	53
III.2.8 Quelques propriétés du polystyrène.....	55
III.2.9 Procédés de fabrication des polystyrènes.....	56
III.2.10 -Collecte et recyclage du polystyrène.....	57
<b>chapitre IV: Techniques expérimentales et préparation des échantillons.....</b>	<b>59</b>
IV.1 INTRODUCTION.....	59
IV.2 MATÉRIAUX ET MÉTHODES.....	60
IV.2.1 MATÉRIAUX.....	60
IV.3 Elaboration des composites.....	63
IV.4 Préparation des éprouvettes.....	64
IV.5 Techniques de caractérisation des matériaux élaborés.....	65
IV.5.1 Tests mécaniques.....	65
<b>chapitre V: Résultats et discussion.....</b>	<b>67</b>
Conclusion générale.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Références bibliographiques.....	75
Résumé	

## Liste des figures

Figure I-1- Déchets inertes .....	9
Figure I-2- Les déchets organiques .....	10
Figure I-3- Les déchets banals .....	10
Figure I-4 -Déchets dangereux (déchets spéciaux) .....	11
Figure I-5-Déchets ultimes .....	11
Figure I-6 -Les déchets industriels .....	12
Figure I-7-Les déchets agricoles .....	12
Figure I-8-Les déchets industriels inertes .....	13
Figure I-9- Déchets hospitaliers (DH), Déchets d'activités de soins (DAS) et déchets infectieux.....	13
Figure I-10Les déchets radioactifs .....	14
Figure I-11 - Les déchets ménagers et assimilés (DMA).....	15
Figure II.1. Logo de recyclage de Möbius.....	24
Figure II-2 les matériaux plastiques recyclables sont codés de 1 à 7.....	27
Figure II-3-Le papier et le carton .....	29
Figure II-4- LE VERRE .....	29
Figure II-5 -Le plastique .....	30
Figure II-6 -Les métaux.....	31
Figure II-7- Les déchets organiques.....	31
Figure II-8-Les déchets électroniques .....	32
Figure III-1 carton .....	36
Figure III-2-Papiers pour onduler .....	37
Figure III-3- Cartons plats.....	38
Figure III-4 Papiers d'emballage .....	38
Figure III-5- Papiers d'impression-écriture .....	39
Figure III-6- Papier journal .....	39
Figure III-7-Papiers à usages sanitaires et domestiques.....	39
Figure III-8- carton emballage .....	40

Figure III-9- carton Display et publicité .....	41
Figure III-10- carton Meubles et décoration .....	41
Figure 0-11-carton Protection.....	41
Figure III-12- carton Isolation.....	42
Figure III-13 -Carton ondulé .....	42
Figure III-14- Carton compact .....	43
Figure III-15- Carton nid d'abeille .....	43
Figure III-16- Carton alvéolaire .....	43
Figure III-17-Carton plume .....	44
Figure III-18 Le polystyrène .....	47
Figure III-19 Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène. [34] .....	49
Figure III-20 Code d'identification du polystyrène [32].....	49
Figure III-21-Polystyrène standard .....	50
Figure III-22-Polystyrène choc .....	51
Figure III-23-Le polystyrène expansé (PSE) .....	51
Figure III-24-polystyrène expansé extrudé .....	52
Figure IV-1-le polystyrène sous forme plaque .....	61
Figure IV-2-le polystyrène sous forme de granules.....	61
Figure IV-3-Géométrie du carton ondulé.....	62
Figure IV-4-les différent processus du traitement de carton.....	62
Figure IV-5-Malaxeur de mélange.....	63
Figure IV-6-carton / polystyrène dans un moule .....	64
Figure IV-7-Presses à chaud utilisées. ....	64
Figure IV-8-Les plaques composites carton /polystyrène.....	64
Figure IV-9-Equipement pour la préparation des éprouvettes et des éprouvettes obtenus.....	65

**Liste des Tableaux**

Table II.4.1-Durée de vie de certains déchets. ....	6
Table II.6.1 tableau indique les avantages et les inconvénients du recyclage.....	25
Table IV.2.1 Caractéristiques du carton ondulé.....	62

## **Glossaire**

- CD:** Compact Disc
- CET:** Centres d'enfouissement technique
- CFC:** chlorofluorocarbones
- CO:** oxyde de carbone
- CSDB:** centres de stockage de déchets industriels banals
- CSDI:** centres de stockage de déchets inertes
- CSDU:** centres de stockage de déchets ultimes
- DAS:** Déchets d'activités de soins
- DASRI:** Déchets d'activités de soins à risque infectieux
- DBE:** déchets banals d'entreprises
- DH:** Déchets hospitaliers
- DIB:** déchets industriels banals
- DID:** déchets industriels dangereux
- DIND:** déchets industriels non dangereux
- DIS:** déchets industriels spéciaux
- DM:** déchets municipaux
- DMA:** déchets ménagers et assimilés
- DVD:** Digital Versatile Disc
- EPS:** Polystyrène expansé
- GPPS:** General Purpose Polystyrène
- OM:** ordures ménagères
- PS:** polystyrène
- PSE:** Polystyrène expansé
- PSR:** polystyrène rigide
- SPI:** Plastic Industrie
- XPS:** polystyrène extrudé

# **Introduction générale**

## *Introduction générale*

Le développement de nouveaux matériaux composites offre une approche novatrice pour répondre aux besoins des utilisateurs en termes de performance, d'économie et de durabilité. En combinant stratégiquement différents composants, les chercheurs peuvent créer des matériaux qui surpassent les propriétés des matériaux conventionnels, ouvrant ainsi de nouvelles opportunités dans divers domaines, de l'emballage à la construction en passant par l'automobile. Ces avancées contribuent à faire progresser la science des matériaux tout en apportant des solutions aux problèmes environnementaux actuels.

Le papier carton est un matériau léger et résistant utilisé pour la fabrication d'emballages tels que des boîtes, des cartons et des plateaux. Il est composé de plusieurs couches de papier superposées et collées ensemble. Le papier carton présente de nombreux avantages, notamment sa légèreté qui facilite son transport et sa manipulation, son coût économique par rapport à d'autres matériaux d'emballage, ainsi que sa recyclabilité et sa biodégradabilité, en faisant un choix respectueux de l'environnement.

Le polystyrène, dérivé du styrène, est un polymère largement utilisé dans divers produits de la vie quotidienne, tels que les emballages alimentaires, les gobelets jetables, les boîtes de rangement et les jouets en plastique. Le polystyrène est apprécié pour sa légèreté, sa résistance et sa malléabilité, lui permettant d'être moulé dans différentes formes et tailles.

Cette étude vise à explorer la possibilité de créer un nouveau matériau composite en utilisant des déchets de carton et de polystyrène. L'objectif principal est de développer un matériau composite innovant et d'étudier ses propriétés. Cette recherche offre un aperçu des domaines d'application potentiels de ce matériau composite, tout en contribuant à la conversion de ces déchets en une ressource précieuse et à la réduction de la dépendance aux matières premières vierges.

Il semble que vous avez décrit la structure et l'organisation générale d'un mémoire ou d'une étude sur le développement d'un matériau composite à partir de déchets de carton et de polystyrène. Voici un résumé des chapitres que vous avez mentionnés :

**Chapitre 1 :** Ce chapitre offre une introduction générale sur les déchets en général et aborde les différents modes de traitement des déchets. Il explique les principes de gestion des déchets et met l'accent sur le tri sélectif et la collecte sélective.

**Chapitre 2 :** Ce chapitre se concentre sur le recyclage en général. Il fournit des informations supplémentaires sur les processus de recyclage et les avantages environnementaux associés à cette pratique.

**Chapitre 3 :** Ce chapitre est divisé en deux parties. La première partie donne un aperçu général du carton, tandis que la deuxième partie aborde spécifiquement le polystyrène. Ces sections fournissent des informations sur les caractéristiques, les propriétés et les utilisations de chaque matériau.

**Chapitre 4 :** Ce chapitre décrit les matériaux utilisés dans l'étude, notamment les déchets de carton et de polystyrène. Il explique également les techniques expérimentales utilisées pour créer le matériau composite et procéder aux tests.

**Chapitre 5 :** Ce chapitre présente une discussion des résultats obtenus à partir des différents tests effectués sur le matériau composite. Il peut inclure des analyses des propriétés mécaniques.

**Conclusion générale:** Ce dernier chapitre résume les principales conclusions de l'étude et met en évidence les perspectives d'avenir. Il peut également aborder les avantages potentiels de l'utilisation du matériau composite carton/polystyrène, ainsi que les recommandations pour des recherches futures.

**Références bibliographiques :** À la fin du mémoire, il est courant d'inclure une liste des références bibliographiques utilisées pour soutenir et étayer les informations présentées tout au long de l'étude.

# **Chapitre I**

## **Généralité sur les déchets**

---

## ***Chapitre I: Généralité sur les déchets***

### **I.1 Introduction**

Avec le développement technologique et les changements dans les modes de production et de consommation, les populations urbaines ont connu une forte croissance. Cette croissance a entraîné une augmentation massive de la quantité de déchets produits, provenant de diverses sources telles que les ménages, les industries, les hôpitaux et l'agriculture. Cependant, dans de nombreux pays en développement, il existe un manque de moyens humains, techniques et financiers pour gérer efficacement ces déchets. En l'absence de plan de gestion des déchets, les déchets peuvent constituer un défi majeur pour les communautés qui doivent les éliminer correctement. Les déchets peuvent causer des problèmes environnementaux, sanitaires et économiques s'ils ne sont pas correctement gérés. En plus d'être encombrants, les déchets peuvent également être toxiques et causer de graves problèmes pour l'environnement et la santé publique [1].

### **I.2 Définition du déchet**

#### **I.2.1 Juridique**

La loi N°01-19 du 15/07/1983 en Algérie définit officiellement les déchets comme suit : « Tous résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, ainsi que toute substance, produit ou bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer » [1].

#### **I.2.2 Economique**

Cette définition est incomplète et peut être améliorée. En effet, un déchet peut être défini comme un produit ou un matériau dont le propriétaire ou le détenteur n'a plus l'utilité et qui est destiné à être éliminé ou traité pour être réutilisé ou recyclé. Cela peut inclure des matériaux solides, liquides ou gazeux issus de processus de production, de transformation ou d'utilisation. Il est important de noter que la valeur d'un déchet peut être subjective et dépendante de plusieurs facteurs tels que le contexte économique, environnemental et social. Ainsi, certains déchets considérés comme sans valeur peuvent être récupérés et recyclés pour leur potentiel économique ou leur impact positif sur l'environnement [2].

#### **I.2.3 Environnemental**

Les déchets peuvent causer des nuisances lorsqu'ils ne sont pas traités de manière adéquate pour les rendre inoffensifs. Les effets de ces nuisances peuvent être directs, tels que la dégradation du paysage, les émissions de fumées nocives lors de la combustion ou la contamination des sols et des eaux par percolation. Les effets peuvent également être indirects, tels que les risques associés au transport et au traitement des déchets [3].

## **I.2.4 Sanitaire**

Les déchets peuvent présenter un risque sanitaire en raison de leur nature toxique ou de leur mode de gestion, comme les rejets des installations de traitement. Ces risques peuvent se manifester par des accidents ou des troubles de santé. Les déchets sont généralement caractérisés en fonction de deux critères : leur origine et leur nature [3].

## **I.3 Histoires des déchets**

"Au Moyen Âge, les habitants jetaient leurs déchets par les fenêtres et les portes, ce qui posait déjà des problèmes de salubrité. Avec l'augmentation de la taille des villes, les déchets urbains étaient jetés dans les rues ou dans les rivières. Au XIXe siècle, la révolution industrielle a entraîné une croissance rapide de la production de biens, ce qui a conduit à une production diversifiée de déchets liée à la révolution technologique du XXe siècle. Cette croissance économique a entraîné une augmentation importante des volumes de déchets produits dans les zones urbaines, entraînant des nuisances importantes pour les habitants et des conséquences néfastes pour l'environnement en raison des rejets incontrôlés. Les décharges sauvages et l'utilisation inconsidérée des ressources naturelles ont contribué à la dégradation de l'environnement, faisant de la gestion des déchets une problématique nouvelle et importante à prendre en compte [5]."

## **I.4 Durée de vie de certains déchets**

Jeter des déchets dans la nature a des conséquences néfastes et durables. Les déchets peuvent persister pendant de nombreuses années, voire des siècles, dans l'environnement. Un simple objet jeté négligemment peut continuer à polluer longtemps après que la personne qui l'a jeté ne soit plus présente. Il est donc crucial de prendre en compte les conséquences environnementales de nos actions et de gérer les déchets de manière responsable pour protéger notre planète et les générations futures (Tableau I.4.1).

## **I.5 Impact des déchets**

Une mauvaise gestion des ressources naturelles constitue un défi majeur pour l'environnement, la santé humaine, l'économie, la production alimentaire, le tourisme, ainsi que pour la flore et la faune. Les conséquences de cette mauvaise gestion peuvent être graves, allant de la dégradation de l'environnement à la perte de biodiversité, en passant par la diminution de la qualité de l'air et de l'eau, ainsi que des impacts sur la santé humaine. Par conséquent, il est essentiel de prendre des mesures pour gérer les ressources naturelles de manière durable et responsable afin de préserver notre environnement et de protéger notre avenir [3].

### **I.5.1 Sur l'environnement**

L'environnement se compose d'un ensemble d'éléments physiques tels que l'eau, la terre, l'air, les ressources naturelles, la faune et la flore, ainsi que des interrelations entre ces éléments et l'humanité. Cependant, la mauvaise gestion des déchets peut entraîner une contamination de l'air, de l'eau et du sol,

qui sont des composantes essentielles de l'environnement. Ces contaminations peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'environnement et la santé humaine. Il est donc important de mettre en place des stratégies de gestion des déchets efficaces pour minimiser leur impact négatif sur l'environnement et les êtres vivants. [3]

**Table I.5.1-Durée de vie de certains déchets.[11]**

Produit	Temps de dégradation
Marceaux de coton	1 à 5 mois
Papier	2 à 5 mois
Corde	3 à 14 mois
Pelures d'orange ou trognon de pomme	1 mois
Mégot de cigarette	1 à 12ans
Brique de laft plastique carton	5 ans
Chewing –gum	5 ans
Chaussures en cuir	25 à 40 ans
Tissu en nylon	30 à 40 ans
Boite de conserve	30 à 40 ans
Canette en aluminium	50 à 100 ans
Sac plastique	200 ans
Emballage plastique d'un pack de 6 bouteilles	400 ans
Bouteilles en plastique	400 ans
Bouteilles verre	4000 ans

### **I.5.1.1 Niveau de l'air**

La gestion des déchets a des impacts importants sur la qualité de l'air. Les fumées générées lors de la combustion des déchets, qui sont souvent humides, contiennent des substances toxiques telles que le monoxyde de carbone, les dioxines, les chlorofluorocarbones (CFC) et le dioxyde de carbone. Certains de ces composés ont des effets sur la couche d'ozone et contribuent à l'effet de serre. De plus, le stockage des déchets peut entraîner des émissions d'odeurs désagréables pour les populations avoisinantes. Il est donc crucial de choisir des sites de stockage et de traitement appropriés pour minimiser les impacts négatifs sur la qualité de l'air dans les zones peuplées. Il convient de souligner que les décharges à ciel ouvert peuvent causer d'énormes désagréments pour les populations en raison des odeurs nauséabondes qu'elles émettent.

### **I.5.1.2 Impact sur l'eau**

Lorsque les déchets sont directement rejetés dans les eaux de surface telles que les rivières, les lacs et les étangs, ou encore éliminés dans une fosse qui n'est pas isolée ou qui est trop proche des sources d'eau, cela peut contaminer l'eau. Les villes sont à l'origine de rejets domestiques et industriels importants et localisés, auxquels s'ajoutent les eaux de ruissellement chargées d'hydrocarbures et très importantes en quantité. Les infiltrations, qui ont pour origine essentiellement le ruissellement des eaux de pluie, entraînent vers les nappes phréatiques tous les produits tombés ou ajoutés sur le sol : huile de vidange, acides de batteries, métaux lourds (piles, échappement) et autres produits chimiques. Ces substances peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement en général. Il est donc important de mettre en place des mesures de prévention et de traitement efficaces pour réduire les impacts négatifs de ces rejets sur les écosystèmes aquatiques [3].

### **I.5.1.3 Impact sur le sol**

La canalisation des eaux usées contenant des déchets chimiques ou radioactifs peut causer une contamination chimique des sols. Ces produits peuvent être assimilés par les plantes et se retrouver dans l'organisme humain ou animal, perturbant leur métabolisme et engendrant des maladies chroniques telles que le cancer. Les décharges constituent une source importante de pollution des sols par divers métaux lourds et de nombreux composés toxiques, ce qui altère la physico-chimie des végétaux et des animaux, perturbant ainsi l'équilibre chimique des sols. Si les déchets sont éliminés dans une fosse non isolée ou trop proche des sources d'eau, l'eau peut être contaminée. Les milieux urbains peuvent également être touchés par des problèmes de pollution du sol, souvent localisés et causés par d'anciennes activités industrielles ou des décharges abandonnées, ainsi que des installations en cours d'exploitation ou d'utilisation, comme des fuites dans des réservoirs d'hydrocarbures. [3]

## **I.5.2 Sur la santé**

Les déchets générés par les décharges peuvent avoir des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé. Les fumées produites par la décharge peuvent endommager certaines espèces végétales sensibles et favoriser la croissance des rongeurs et des insectes nuisibles tels que les moustiques et les mouches, qui peuvent transmettre des maladies graves telles que la rage, la leptospirose, l'hépatite virale, le kyste hydatique du foie, le trachome et le choléra.

En outre, les activités de soins peuvent également être à l'origine de maladies graves pour le personnel médical, le personnel chargé de l'élimination des déchets, les patients et la population en général. Certains déchets sont considérés comme dangereux en raison de leurs propriétés et peuvent causer des dommages directs à la santé humaine. Selon Ramade (1992)

### **I.5.2.1 Mutagènes**

Certains déchets présentent un risque de défauts héréditaires. En outre, certains d'entre eux sont qualifiés de dangereux en raison de leur capacité à causer des dommages indirects à la santé, tels que la

libération de gaz toxiques lorsqu'ils entrent en contact avec la peau ou l'eau, ou la création de substances dangereuses après leur élimination. Ces substances peuvent ensuite présenter des caractéristiques similaires à celles des déchets dangereux, ce qui augmente leur potentiel nocif pour la santé humaine [6].

#### **I.5.2.2 Nocifs**

Certains déchets sont dangereux car ils peuvent causer des risques pour la santé par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée [6].

#### **I.5.2.3 Toxiques**

Certains déchets peuvent présenter des risques graves, voire mortels, tels que des risques d'asphyxie, d'incendie ou d'explosion. D'autres peuvent être cancérigènes en raison de leur capacité à affaiblir le système immunitaire [6].

#### **I.5.2.4 Corrosifs**

Certains déchets peuvent exercer une action destructrice sur les tissus vivants, tandis que d'autres sont infectieux et contiennent des micro-organismes viables ou leurs toxines, causant de maladies infectieuses chez l'homme. Certains peuvent également entraîner de graves risques, aigus pouvant aller jusqu'à la mort, ou produire le cancer en diminuant les défenses immunitaires [6].

### **I.5.3 Sur l'économie**

Le processus de production, qui comprend l'extraction de matières premières, la fabrication de produits et l'élimination des déchets, repose souvent sur une grande quantité de matériaux et d'énergie bon marché et facilement accessibles. Cela a entraîné des pertes économiques et un gaspillage des ressources naturelles (par exemple, les matières plastiques sont principalement produites à partir de la pétrochimie, qui nécessite des matières premières telles que le pétrole brut). La mauvaise gestion des déchets peut avoir un impact sur l'environnement, entraînant une diminution de la production alimentaire, une menace pour la santé humaine et animale et une réduction du potentiel touristique.

L'utilisation inefficace des ressources peut également avoir des conséquences sur l'économie de plusieurs façons, notamment une diminution de l'efficacité économique et la capacité à produire des denrées alimentaires et des produits de consommation nécessaires pour répondre aux besoins de populations en croissance permanente. En bref, le plastique est un exemple de gâchis, car une tonne de ces matériaux est énergétiquement équivalente à deux tonnes de pétrole [3].

## **I.6 Classification des déchets**

Les pays industrialisés ont traditionnellement utilisé cinq approches principales pour classer les déchets. Ces approches sont complémentaires et se basent sur :

Le danger présumé du déchet, déterminé par sa toxicité ou son absence de danger.

L'origine du déchet, qui peut être identifiée à travers le secteur industriel ou l'activité génératrice du déchet, le produit associé, ou l'opération unitaire qui l'a produit.

Les caractéristiques physiques du déchet, telles que son pouvoir combustible ou sa capacité à fermenter, qui sont souvent liées à une ou plusieurs filières de traitement possibles.

La nature ou le contenu du déchet, qui peut être spécifié en termes de matière (par exemple, déchets de matières plastiques ou de peinture contenant de l'arsenic).

La fonction du produit avant sa "fin de vie" pour les déchets de consommation, tels que les piles, les solvants ou les emballages [2].

### **I.6.1 Par leur nature**

#### **I.6.1.1 Déchets inertes**

Les déchets dits "inertes" font partie de la catégorie des déchets non dangereux, mais ils sont classés séparément en se basant sur une définition négative : ils ne présentent pas les caractéristiques de combustion, de décomposition, de réactions chimiques ou physiques, de biodégradabilité, ni de détérioration des matériaux avec lesquels ils entrent en contact, pouvant ainsi nuire à l'environnement ou à la santé humaine. Ces déchets sont principalement d'origine minérale et proviennent essentiellement du secteur de la construction et des travaux publics. Cependant, il est important de noter que tous les minéraux ne sont pas considérés comme inertes, ce qui signifie que tous les déchets non dangereux ne sont pas nécessairement inertes [3].



**Figure I-1- Déchets inertes**

#### **I.6.1.2 Les déchets organiques**

Les déchets organiques sont constitués de matière organique qui contient du carbone provenant d'organismes vivants tels que les plantes et les animaux. Ces déchets sont susceptibles de se dégrader naturellement par le processus de biodégradabilité. Ils sont donc sujets à une évolution au fil du temps. Les déchets organiques proviennent de différentes sources telles que les déchets alimentaires et les déchets issus des espaces verts. Par exemple, les déchets ménagers contiennent généralement une fraction organique fermentescible qui représente environ 30% de leur poids total [4].



Figure 0-2- Déchets organiques

### I.6.1.3 Les déchets banals

Les déchets courants, appelés également déchets banals, englobent les déchets municipaux dans leur ensemble, ainsi que les déchets courants produits par les entreprises. Ces déchets peuvent être potentiellement valorisés par des processus de recyclage, de fermentation ou d'incinération avec récupération, sans présenter de caractère toxique ou dangereux [4].



Figure 0-3- Les déchets banals

### I.6.1.4 Déchets dangereux (déchets spéciaux)

Les déchets dangereux sont caractérisés par la présence variable d'éléments toxiques pour la santé humaine et/ou l'environnement. Ces déchets peuvent avoir différentes origines, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles [3]. Parmi ces déchets, on trouve des restes de peinture et de colles, des piles, des résidus de produits d'entretien, des déchets chimiques et des huiles de vidange, principalement générés en petites quantités par les ménages, estimées à environ 2 kg par an et par habitant [5].



(déchets spéciaux)

### I.6.1.5 Déchets ultimes

Les déchets non valorisables, tant sur le plan du recyclage que de la valorisation énergétique, sont désignés comme des déchets ultimes. Conformément à la réglementation, ils sont les seuls à être autorisés à être stockés, c'est-à-dire enfouis, dans un centre de stockage des déchets ultimes (CSDU) [4].



Figure 0-5-Déchets ultimes

## I.6.2 Par leur origine

### I.6.2.1 Les déchets industriels

Les entreprises industrielles, commerciales et artisanales sont responsables de l'élimination de leurs propres déchets. Ces déchets englobent une variété de matériaux tels que les déchets de fabrication, les emballages vides, les sous-produits de production, les rebuts, les produits obsolètes, les résidus de nettoyage solides ou liquides, etc. [4]. Chaque année, ces déchets représentent environ 160 millions de tonnes, dont les deux tiers sont des déchets inertes tels que les déblais et les gravats. Une autre part importante correspond aux déchets assimilables aux ordures ménagères, appelés déchets industriels banals (DIB) ou déchets banals d'entreprises (DBE), également connus sous le nom de déchets industriels non dangereux (DIND) [6].

Les DIB sont générés par les industries et les commerces, présentant des caractéristiques similaires à celles des ordures ménagères. Ils regroupent principalement les plastiques, les papiers-cartons, les textiles, le bois non traité, les métaux, les verres et les matières organiques. Ces déchets sont souvent produits sous forme de mélange. Ils peuvent être éliminés avec les ordures ménagères ou dans des installations spécifiques, car les municipalités ne sont pas tenues de traiter les DIB [4].

Le reste des déchets industriels, soit environ 18 millions de tonnes, constitue les déchets industriels spéciaux (DIS) ou déchets industriels dangereux (DID). Il s'agit d'éléments polluants qui nécessitent des traitements spéciaux [6].



Figure 0-6 -Les déchets industriels

### I.6.2.2 Les déchets agricoles

Les déchets d'origine naturelle sont généralement utilisés sur place ou destinés à un usage extérieur à l'exploitation. Les autres types de déchets concernent les emballages, les produits de traitement et les équipements [7].

Le secteur de l'agriculture, avec une production annuelle de 400 millions de tonnes de déchets, se distingue par sa grande quantité de déchets fermentescibles, dont une partie est réutilisée directement par le secteur lui-même (par exemple, épandage des fumiers). Les éleveurs représentent les principaux producteurs de déchets, avec une moyenne de 280 millions de tonnes par an [6].



Figure 0-7-Déchets agricoles

### I.6.2.3 Les déchets industriels inertes

Les déchets industriels inertes se réfèrent aux résidus provenant des activités extractives, des déblais et des produits de démolition tels que la terre, les gravats et les sables. En général, ces déchets sont composés d'éléments minéraux stables ou inertes du point de vue de leur "éco-compatibilité" avec l'environnement. Cela signifie qu'en cas de stockage, ils ne subissent pas de modifications physiques, chimiques ou biologiques significatives. Par conséquent, ils ne présentent aucun risque de pollution des sols et des eaux [4].



Figure 0-8-Les déchets industriels inertes

### I.6.2.4 Déchets hospitaliers (DH), Déchets d'activités de soins (DAS) et déchets infectieux

Les déchets hospitaliers sont des déchets de nature diverse, mais ils ont en commun d'être potentiellement contaminés (tels que les seringues, les aiguilles et autres dispositifs médicaux à usage unique, les compresses, les cotons, les divers équipements de soins, les liquides et les déchets d'autopsie, les déchets anatomiques, etc.) ou toxiques (tels que les produits chimiques de désinfection, les résidus de médicaments cytotoxiques ou cytostatiques, etc.). Ce sont donc des déchets dangereux qui nécessitent des mesures spécifiques, tant pour leur collecte que pour leur traitement. L'objectif est de les éliminer de manière efficace tout en garantissant une sécurité sanitaire maximale, tant pour l'environnement que pour le personnel manipulant ces déchets. Les déchets provenant des cabinets médicaux libéraux sont soumis à des contraintes de traitement similaires [6].



Figure 0-9- Déchets hospitaliers (DH), Déchets d'activités de soins (DAS) et déchets infectieux

### I.6.2.5 Déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI)

Les déchets dangereux sont classés comme tels et leur production annuelle est estimée à environ 150 000 tonnes. Conformément au décret du 6 novembre 1997 (19), il incombe au producteur d'éliminer ce type de déchets. Une convention écrite est établie entre le producteur et le prestataire chargé de l'élimination des déchets, et des documents sont créés pour assurer la traçabilité des opérations de collecte et de traitement [7].

### I.6.2.6 Les déchets radioactifs

Les déchets radioactifs provenant des centres de radiothérapie et de médecine nucléaire sont dirigés vers des circuits spécifiques de décontamination, où le risque radioactif prévaut sur le risque infectieux. Ces déchets peuvent être solides ou liquides et proviennent des activités d'analyse radioactive ainsi que des produits physiologiques utilisés lors des traitements thérapeutiques ou des explorations in vivo.

L'élimination de ces déchets est prévue dans les plans d'élimination régionaux et est soumise à une réglementation stricte en ce qui concerne leur stockage, leur transport et leur élimination. L'incinération est le seul mode de traitement autorisé. Dans le cas où le risque de contamination est élevé, notamment en présence d'agents transmissibles non conventionnels, le recours à un centre spécialisé est obligatoire[4].



• Figure 0-10-Les déchets radioactifs

### I.6.2.7 Les déchets ménagers et assimilés (DMA)

Les déchets assimilables aux déchets ménagers comprennent tous les déchets provenant des ménages, des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres, qui présentent une nature et une composition similaires aux déchets ménagers. Cela inclut les déchets de cuisine, les emballages, etc. [5]. Cette catégorie englobe les ordures ménagères (OM) qui sont fermentescibles ou putrescibles, ainsi que les déchets organiques biodégradables, tels que les déchets de cuisine, les fleurs, etc., qui sont récupérés lors de collectes sélectives visant à les séparer des autres composants non putrescibles. Les déchets verts

provenant des jardins des particuliers sont souvent collectés avec cette fraction. Les déchets des marchés entrent également dans cette catégorie. On y retrouve également les déchets municipaux (DM) ou urbains, les résidus urbains (déchets issus du nettoyage) et les déchets occasionnels (déchets encombrants et autres) [7].

Les déchets encombrants sont quant à eux des déchets provenant des ménages qui ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés en raison de leur taille volumineuse. Cela inclut des articles tels que les meubles, les pneus, les appareils électroménagers et les



**Figure 0-11 - Les déchets ménagers et assimilés (DMA)**

emballages en polystyrène expansé [5].

## **I.7 Gestion des déchets**

La loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, publiée dans le JO de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 15 décembre 2001, définit la gestion des déchets comme étant l'ensemble des opérations liées à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations. Cette loi établit ainsi un cadre légal pour la gestion des déchets en Algérie, en précisant les différentes étapes et opérations nécessaires à une gestion efficace et sûre des déchets. En outre, elle souligne l'importance du contrôle de ces opérations, afin d'assurer une gestion responsable et durable des déchets, dans le respect de l'environnement et de la santé publique [5].

### **I.7.1 Tri sélectif**

Selon Desachy (2001), le tri des déchets peut être réalisé à différents niveaux de la filière d'élimination, soit :

- Au niveau de la source, lorsque le tri est effectué par le ménage lui-même ;

- Dans un centre de tri, lorsque les déchets ont été collectés en mélange.

Pour réaliser un tri à la source, plusieurs poubelles ou conteneurs différents doivent être mis à la disposition de l'utilisateur, et une collecte sélective doit être mise en place en parallèle avec la collecte traditionnelle. Celle-ci peut être effectuée en deux catégories (une destinée à la valorisation et l'autre à traiter), ou en plusieurs catégories selon la nature des déchets [5].

### **I.7.2 Collecte des déchets**

Selon la loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, parue dans le JO de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 15 décembre 2001 relative à la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets, stipule dans son article 3 que « la collecte, est le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transport vers un lieu de traitement ». On distingue plusieurs types de collecte qui sont [5].

#### **I.7.2.1 Collecte en mélange « porte à porte »**

La collecte traditionnelle consiste en la collecte des déchets non triés dans des sacs plastiques ou autres récipients tels que des poubelles en forme de lessiveuse, des cartons, des petits containers, etc. Ces déchets sont déposés devant les maisons et sont ramassés à jours fixes [5].

#### **I.7.2.2 Collecte sélective par apport volontaire**

La collecte traditionnelle consiste en la collecte des déchets non triés dans des sacs plastiques ou autres récipients tels que des poubelles en forme de lessiveuse, des cartons, des petits containers, etc. Ces déchets sont déposés devant les maisons et sont ramassés à jours fixes [5].

#### **I.7.2.3 Collecte sélective « porte à porte »**

Ce mode de collecte, appelé collecte sélective, permet de séparer les déchets en fonction de leur nature ou de leur matériau avant leur collecte. Les déchets triés sont ainsi disposés dans des conteneurs spécifiques tels que des bacs, des sacs ou des colonnes à verre, à papier ou à emballages. Cette collecte sélective permet ensuite de collecter séparément une partie des déchets pour les acheminer vers un centre de tri, de traitement ou de stockage spécifique en vue de leur valorisation ou de leur élimination appropriée [5].

#### **I.7.2.4 Collecte par points de regroupement**

La collecte par points de regroupement est une méthode de collecte des déchets qui consiste à mettre à disposition du public des lieux de réception convenablement choisis, tels que des bacs roulants ou des conteneurs, qui sont vidés ou enlevés périodiquement. Les usagers doivent apporter eux-mêmes leurs déchets aux lieux de réception, qui peuvent également inclure une aire de regroupement pour les sacs perdus. Cette méthode de collecte permet de collecter séparément une partie des déchets pour leur traitement ultérieur [11].

### **I.7.3 Transport**

Les déchets collectés sont ensuite transportés vers les centres de traitement et de stockage en utilisant une variété de véhicules de collecte, avec différentes options d'équipement de transport. Les camions de collecte peuvent être équipés de bennes tasseuses, de carrosseries fermées avec compression des déchets, d'équipements hydrauliques de chargement et de compression, ou encore de grue pour l'enlèvement de conteneurs spécialisés dans le cas de la collecte sélective [7].

### **I.7.4 Stockage**

Le stockage des déchets consiste à les entreposer sur un site spécifique pour une période de temps plus ou moins longue avant leur élimination définitive ou leur valorisation. Le stockage peut se faire sous différentes formes, tels que les centres de stockage de déchets ultimes (CSDU) pour les déchets non dangereux, les centres de stockage de déchets dangereux (CSD) pour les déchets toxiques ou dangereux, les centres de stockage de déchets inertes (CSDI) pour les déchets ne présentant pas de risque de pollution et enfin les centres de stockage de déchets industriels banals (CSDB) pour les déchets industriels non dangereux [7].

### **I.7.5 Installations de collecte et de traitement**

Il existe plusieurs installations de collecte et de traitement

#### **I.7.5.1 Station de transit (centre de transfert)**

Une station de transit ou centre de transfert permet de regrouper les déchets collectés par les véhicules de collecte avant leur transport vers un centre de traitement. Cette installation intermédiaire peut inclure une fosse ou des aires de stockage pour les déchets, ainsi que des conteneurs de grande capacité. Les déchets peuvent être compactés avant d'être transférés vers le centre de traitement, soit par camions gros porteurs, chemin de fer ou péniche. Cette étape permet de réduire le nombre de trajets nécessaires pour transporter les déchets, ce qui réduit les coûts et les émissions de gaz à effet de serre liées au transport[7].

#### **I.7.5.2 Centre de tri**

Un centre de tri est un lieu où les déchets sont triés en fonction de leur type de matériau avant d'être valorisés, traités ou éliminés. Les déchets sont réceptionnés, contrôlés pour leur radioactivité et leur origine, puis stockés dans la zone de stockage. Ils sont ensuite acheminés par un tapis roulant jusqu'aux premiers postes de pré-tri, où les refus et les cartons d'emballages sont retirés au fur et à mesure. Les matériaux recyclables sont triés en partie mécaniquement par détection optique ou par magnétisme, et en partie manuellement. Chaque type de déchet est séparé et stocké provisoirement dans des bennes. Les refus de tri sont évacués vers les centres d'enfouissement techniques ou les installations d'incinération

### **I.7.5.3 Centres d'enfouissement technique (CET)**

Les centres d'enfouissement technique, également appelés décharges contrôlées, sont des sites de stockage des déchets qui possèdent des qualités géologiques appropriées. Les déchets sont disposés en couches minces, recouvertes de terre ou compactées par des engins spéciaux. Toutefois, cette pratique peut entraîner la production de gaz et d'un liquide appelé lixiviat qui nécessitent un traitement spécialisé. Selon Balet (2008), il existe trois types de CET qui diffèrent selon la nature des déchets qu'ils accueillent

La classe 1 est réservée aux déchets industriels spéciaux ou toxiques.

La classe 2 est réservée aux déchets ménagers et assimilés.

La classe 3 est réservée aux déchets inertes.[9]

### **I.7.5.4 Déchetteries**

Les déchetteries sont des espaces aménagés et clôturés, sous surveillance, permettant aux particuliers de déposer leurs déchets encombrants, toxiques ou dangereux dans des bennes spécifiques. Elles ont pour objectif principal de limiter les dépôts sauvages et d'orienter les déchets vers les centres de traitement appropriés. Elles doivent être suffisamment grandes pour permettre l'accueil des usagers et leur localisation doit être adaptée aux besoins des populations qu'elles desservent (Duval, 2004).

## **I.7.6 Valorisation des déchets**

La valorisation des déchets est un processus qui consiste à donner une nouvelle vie aux déchets en les transformant en matériaux réutilisables ou en énergie. IL existe cinq types de valorisation :

### **I.7.6.1 Compostage**

Le compostage est une méthode de valorisation des déchets organiques, qui consiste en leur transformation biologique en compost, un produit riche en nutriments pour les sols. Ce processus est réalisé de manière contrôlée et aérobie, en présence d'oxygène, afin de favoriser la décomposition des matières organiques et d'éviter la formation de gaz à effet de serre tels que le méthane. Le compost ainsi produit peut-être utilisé comme fertilisant naturel pour les cultures ou pour l'amélioration des sols[7].

### **I.7.6.2 Méthanisation**

La méthanisation, également appelée digestion, est un processus biologique anaérobie contrôlé qui permet de dégrader la matière organique et de la transformer en biogaz, composé principalement de méthane et de dioxyde de carbone. Ce processus est réalisé grâce à une flore microbienne spécifique et complexe [9].

### **I.7.6.3 Incinération**

L'incinération est un procédé de traitement thermique des déchets qui se fait en présence d'oxygène de l'air. Elle implique une oxydation des déchets à haute température dans des fours

---

spécialement conçus pour les caractéristiques des déchets. Ce processus permet de produire deux tonnes de vapeur par tonne de déchets, qui peuvent être transformées en eau chaude et injectées dans un réseau de chauffage ou une turbine pour produire de l'électricité [9].

#### **I.7.6.4 Thermolyse (Pyrolyse)**

La thermolyse, également appelée pyrolyse, est un procédé de traitement des déchets qui se déroule en l'absence d'oxygène. Il nécessite un apport de chaleur et est donc une réaction endothermique. La chaleur est généralement produite par la combustion d'une fraction des sous-produits carbonés de la dégradation thermique. La pyrolyse est destinée aux déchets organiques qui présentent des difficultés lors de l'incinération, telles que la corrosion du four, le colmatage de la grille et la formation de cendres trop importantes[7].

#### **I.7.6.5 Recyclage**

Selon Moletta (2009), le recyclage est un procédé permettant de réutiliser la ou les différentes matières qui entrent dans la composition d'un déchet, ce qui permet d'économiser des matières premières et de l'énergie. Les principaux matériaux recyclables sont le plastique, l'aluminium, l'acier, le verre, le papier et le carton. Cependant, la mise en place d'une filière de recyclage nécessite une collecte sélective et un tri des matériaux en fonction de leur nature. Par conséquent, tous les matériaux ne sont pas recyclables, car il faut que la filière de recyclage puisse être rentabilisée. Les matériaux collectés sélectivement subissent ensuite des transformations pour concevoir de nouveaux produits. Par exemple, les pots de yaourt ou de fromage blanc ne sont généralement pas acceptés par la collecte sélective, car il n'y a pas suffisamment de matières à récupérer pour rentabiliser le recyclage.

**Production d'énergie :** Les déchets peuvent être utilisés pour produire de l'énergie, notamment par incinération ou méthanisation. Cette production d'énergie peut contribuer à la production d'énergie renouvelable.

**Récupération de matières premières :** Les déchets peuvent contenir des matières premières qui peuvent être récupérées et recyclées pour produire de nouveaux produits. Cela peut aider à réduire la quantité de ressources naturelles utilisées dans la production.

**Création d'emplois :** La gestion des déchets peut créer des emplois dans l'industrie de la collecte, du tri et du recyclage des déchets[11].

---

## **I.8 Les avantages et les inconvénients des déchets**

### **I.8.1 Les avantages**

Production d'énergie : Les déchets peuvent être utilisés pour produire de l'énergie, notamment par incinération ou méthanisation. Cette production d'énergie peut contribuer à la production d'énergie renouvelable.

Récupération de matières premières : Les déchets peuvent contenir des matières premières qui peuvent être récupérées et recyclées pour produire de nouveaux produits. Cela peut aider à réduire la quantité de ressources naturelles utilisées dans la production.

Création d'emplois : La gestion des déchets peut créer des emplois dans l'industrie de la collecte, du tri et du recyclage des déchets.

Réduction de la pollution : La gestion efficace des déchets peut aider à réduire la pollution de l'environnement, notamment la pollution de l'eau, de l'air et des sols.

Éducation à la durabilité : La gestion des déchets peut aider à éduquer les gens sur la durabilité et l'importance de réduire les déchets.

Réduction des coûts de production : La récupération et le recyclage des matériaux peuvent réduire les coûts de production en diminuant la nécessité d'acheter de nouvelles matières premières.

Réduction des émissions de gaz à effet de serre : La production d'énergie à partir des déchets peut réduire les émissions de gaz à effet de serre en évitant l'utilisation de combustibles fossiles.

Valorisation énergétique des déchets : La valorisation énergétique des déchets peut contribuer à la sécurité énergétique en réduisant la dépendance aux importations de combustibles fossiles.

Réduction de l'espace nécessaire pour les décharges : La récupération et le recyclage des déchets peuvent réduire la quantité de déchets nécessitant d'être stockés en décharge.

Réduction de la consommation d'eau : La production de matières premières nécessite souvent une grande quantité d'eau. La récupération et le recyclage des matériaux peuvent donc aider à réduire la consommation d'eau dans la production. [9]

### **I.8.2 Les inconvénients**

- Pollution environnementale :

L'accumulation de déchets dans l'environnement peut polluer les sols, les cours d'eau, les océans et l'air, causant des dommages aux écosystèmes naturels et aux espèces animales.

- Risques pour la santé publique :

Les déchets peuvent contenir des substances toxiques, des matières infectieuses ou des contaminants qui peuvent nuire à la santé humaine, notamment en provoquant des maladies respiratoires ou des infections.

- Émissions de gaz à effet de serre :

La gestion des déchets peut produire des émissions de gaz à effet de serre, notamment lorsqu'elle implique la combustion des déchets. Ces émissions contribuent au changement climatique.

- Coûts économiques élevés :

La gestion des déchets peut être coûteuse, notamment lorsqu'elle implique la collecte, le traitement et l'élimination des déchets. Ces coûts peuvent peser sur les budgets des gouvernements et des entreprises.

- Épuisement des ressources naturelles :

La production et l'élimination des déchets peuvent contribuer à l'épuisement des ressources naturelles, notamment lorsqu'elle implique l'utilisation de matières premières non renouvelables pour la production de biens jetables. [9]

## **I.9 Participation citoyenne à la gestion responsable des déchets**

Impliquer les citoyens dans la gestion responsable des déchets est un élément clé pour améliorer la gestion des déchets et réduire leur impact environnemental. Voici quelques idées pour impliquer les citoyens dans la gestion responsable des déchets.

- Sensibilisation et éducation : Sensibiliser les citoyens à l'importance de la gestion responsable des déchets et leur donner les moyens de comprendre comment trier et éliminer correctement leurs déchets. Les campagnes de sensibilisation, les programmes éducatifs dans les écoles et les médias sociaux sont des outils efficaces pour atteindre les citoyens.
- Participation communautaire : Impliquer les citoyens dans la planification et la mise en œuvre des programmes de gestion des déchets locaux. Les groupes de quartier, les associations communautaires et les organisations de défense de l'environnement peuvent être des partenaires clés pour mobiliser la communauté et promouvoir la participation.
- Récompenses pour les comportements responsables : Offrir des récompenses pour les comportements responsables, tels que le tri des déchets, le compostage et la réduction des déchets. Les récompenses peuvent être sous forme de réductions fiscales, de cadeaux ou d'autres avantages.
- Amélioration de la collecte des déchets : Améliorer la collecte des déchets en fournissant des bacs de tri sélectif et des installations de compostage dans les quartiers résidentiels. Les citoyens sont plus susceptibles de participer si les moyens de tri et d'élimination des déchets sont facilement accessibles.
- Collaboration avec les entreprises locales : Collaborer avec les entreprises locales pour promouvoir la réduction des déchets et le recyclage. Les entreprises peuvent être incitées à

adopter des pratiques plus durables en échange de publicité positive et de la satisfaction de la clientèle.

- En impliquant les citoyens dans la gestion responsable des déchets, les communautés peuvent non seulement améliorer la qualité de leur environnement, mais également renforcer la cohésion sociale et la résilience communautaire. [11]

# **Chapitre II**

## **Recyclage**

## Chapitre II: Recyclage

### II.1 Introduction

L'évolution de la population et la progression du rythme de vie et rendent les déchets ménagers très nombreux, en un impact direct sur notre environnement.

En effet, la crise énergétique et la pollution ont développé une prise de conscience contre les déchets. On valorise de plus en plus différentes catégories de déchets.

Le présent chapitre vise à donner un aperçu général sur le recyclage. Cette fonction permet de réaliser des économies des ressources, d'énergies et de la manière de récupérer et de transformer les objets qui peuvent être réutilisables. Nous verrons les moyens et les méthodes de recyclage du plastique et papier qui sont fabriqués à base de pétrole et qui ne sont pas biodégradables.

### II.2 Définition du recyclage

Le recyclage est un processus qui permet de transformer des produits en fin de vie en ressources réutilisables pour la même industrie ou pour d'autres secteurs d'activité. Il implique le traitement des déchets, qu'ils soient ménagers ou industriels, afin de les transformer en matière première prête à être réintroduite sur le marché. Le recyclage permet ainsi de limiter la pollution et la consommation des ressources nécessaires à la fabrication de nouveaux produits.

Pour réutiliser des produits naturels ou des biens ayant déjà été utilisés, voire plusieurs fois, le recyclage nécessite des opérations préalables de récupération et de transformation des déchets. Cela permet de les réinsérer dans le circuit de production sous forme de nouvelles matières premières ou de produits finis. [11].



Figure II.1. Logo de recyclage de Möbius. [13]

### II.3 Principe du recyclage

Le recyclage est une pratique qui permet de prévenir le gaspillage des ressources naturelles et d'énergie, de sécuriser l'approvisionnement de l'industrie en matières premières et de réduire ses impacts environnementaux. L'utilisation de matières premières de recyclage (MPR) vierges présente de

nombreux avantages, tels que la réduction de la consommation d'énergie et d'eau, ainsi que des émissions de CO<sub>2</sub>.

Depuis les années 2000, le recyclage est devenu une réponse concrète face à la production industrielle, grâce à des politiques de gestion des déchets, des objectifs de recyclage et des filières à responsabilité élargie du producteur (REP). Cette pratique répond également à la demande croissante de matières premières et aux contraintes environnementales et économiques.

L'industrialisation du recyclage, telle que nous la connaissons aujourd'hui, est le fruit d'une dynamique impulsée par l'économie circulaire. [12].

## II.4 Histoire du recyclage

Le recyclage est une pratique qui a une longue histoire, remontant même à plusieurs siècles, avec l'utilisation de vieux chiffons pour produire du papier en Chine dès le 1er siècle. Au Moyen Âge, la gestion des déchets posait déjà un problème et des paniers ont été utilisés pour collecter les ordures. Au 19e siècle, l'interdiction de jeter des déchets dans les rues et l'obligation de les stocker dans des poubelles individuelles ont été instaurées. Les guerres ont permis l'apparition des premiers centres de recyclage au début du 20e siècle pour la fabrication d'armes ou de chemins de fer. Dans les années 70, les entreprises de recyclage ont commencé à se développer et le tri et le recyclage professionnels ont été accélérés. Depuis, le recyclage n'a cessé de se perfectionner, et le logo du recyclage, le ruban de Möbius, a été créé à cette époque. En Europe, les premières tentatives de récupération de ressources précieuses à partir de déchets municipaux mélangés par traitement physique ont eu lieu dans les années 1970 [14].

## II.5 Type de recyclage

Le recyclage est devenu une solution indispensable pour renforcer l'indépendance nationale en matière d'approvisionnement en matières premières, dans un contexte où leur coût et leur rareté augmentent de manière significative. Toutefois, il est nécessaire de continuer à innover pour améliorer les techniques de tri et de séparation des matériaux, en conservant leur pureté et leurs caractéristiques initiales. Des chercheurs suggèrent d'explorer de nouveaux processus de séparation à l'échelle moléculaire, voire atomique, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives d'innovation. Actuellement, il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : le recyclage chimique, qui utilise des réactions chimiques pour traiter les déchets ; le recyclage mécanique, qui transforme les déchets à l'aide de machines, telles que des broyeurs ou des séparateurs par courants de Foucault ; et le recyclage organique, qui consiste à produire des engrais ou du carburant, tels que le biogaz, après compostage ou fermentation [15].

## II.6 Les avantages et les inconvénients du recyclage

Ce tableau indique les avantages et les inconvénients du recyclage. Ils sont comme suit :

Table II.6.1 tableau indique les avantages et les inconvénients du recyclage.[16]

Table II.6.2 tableau indique les avantages et les inconvénients du recyclage.[16]

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Réduction du volume des déchets. Produire sans utiliser les nouvelles matières premières (conserver les ressources Naturelles). Création d'emploi.	Coût de la main-d'œuvre. Obligation de trier. Insuffisant actuellement. Manque de filières de recyclage S'inscrit dans une approche plus large.

## II.7 Indication du recyclage

L'anneau de Möbius est un symbole universel qui a été mis en place en 1970 pour identifier les matériaux plastiques recyclables. Ce logo indique que le matériau peut être valorisé, soit en étant recyclé, soit en étant incinéré pour produire de l'énergie. Dans certains cas, un pourcentage peut être indiqué sur le triangle présent sur le logo, ce qui signifie que le produit ou l'emballage contient un certain pourcentage de matières recyclées. Cependant, il est important de noter que la présence du logo ne garantit pas nécessairement que le matériau soit effectivement recyclé ou valorisé, car cela dépendra du système de gestion des déchets en place dans la région.

Les emballages en plastique comportent un système de marquage permettant d'identifier le type de matériau plastique et de déterminer s'il peut être valorisé. Ce système de marquage se compose d'une abréviation et d'un numéro associé, qui indiquent le type de plastique utilisé pour l'emballage. Ce code d'identification se présente sous la forme d'un triangle formé de flèches entrecroisées, avec le numéro et l'abréviation du matériau à l'intérieur.

En théorie, tous les types de plastiques sont recyclables, mais dans la pratique, seuls certains types peuvent être facilement recyclés, tels que le PET, le PP, le PS, le PVC, le PEHD et le PEBD. C'est pourquoi les codes d'identification sont importants pour faciliter le tri et le recyclage de ces catégories de déchets. En identifiant les différents types de plastiques, il est possible de les séparer et de les envoyer vers les centres de recyclage appropriés, où ils pourront être transformés en nouveaux produits en plastique. Cependant, il est important de noter que la capacité de recyclage dépend également de la qualité et de la propreté des matériaux plastiques, ainsi que de la disponibilité et de l'efficacité des infrastructures de recyclage dans une région donnée. [17]

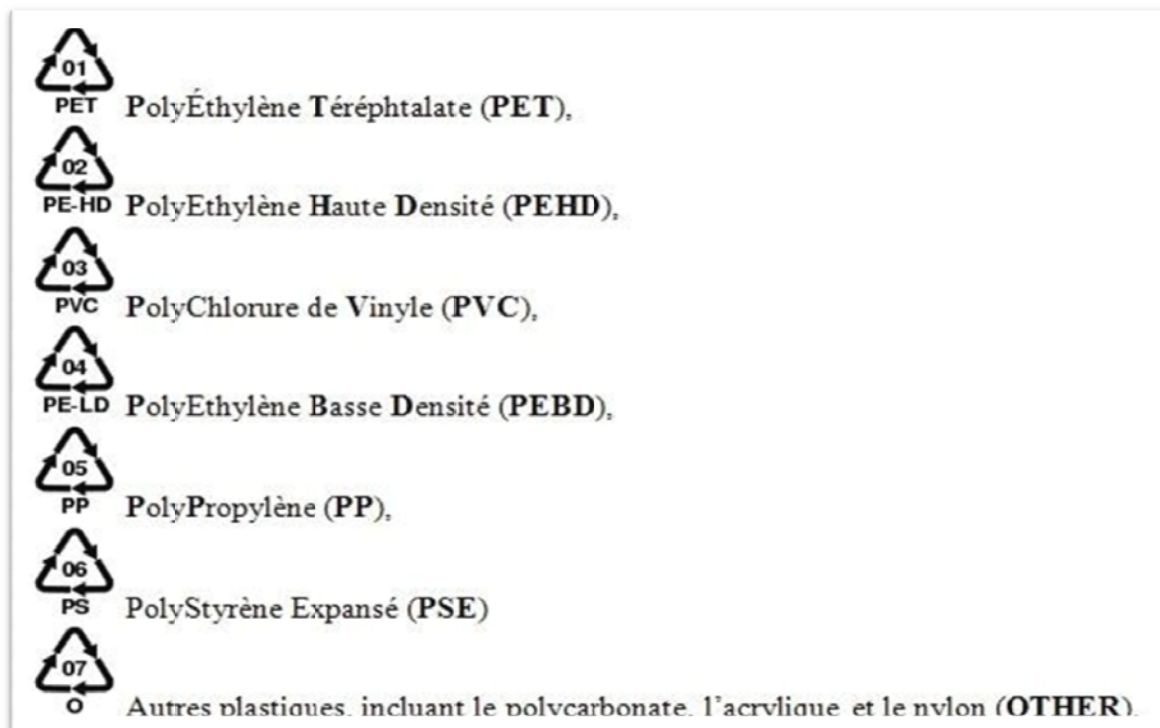


Figure 0-2 les matériaux plastiques recyclables sont codés de 1 à 7

## II.8 Impacts du recyclage sur l'environnement

Les avantages économiques et environnementaux du recyclage sont significatifs. Il permet de protéger les ressources naturelles, de réduire les déchets, de créer des emplois, de préserver la biodiversité et de sauvegarder les matières premières. Le recyclage réduit l'extraction de matières premières, par exemple, l'utilisation d'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer, et le recyclage de chaque tonne de matière plastique permet d'économiser 700 kg de pétrole brut. En outre, le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité. Il est important de noter que l'aluminium est recyclable à 100%, ce qui signifie que 1 kg d'aluminium recyclé peut donner 1 kg d'aluminium après avoir été fondu. Chaque tonne de carton recyclé peut économiser 2,5 tonnes de bois, tandis que chaque feuille de papier recyclé peut économiser 11 litres d'eau et 2,5 watts d'électricité. [20]

## II.9 Statistiques sur le recyclage

Les résines synthétiques les plus couramment recyclées de manière directe en Amérique du Nord sont le polyéthylène, le polypropylène et le PET, mais leur taux de réutilisation est relativement faible, plafonnant à 30 % pour les applications d'emballage. Les autres types de résines sont généralement enfouis, incinérés ou exportés vers des pays d'Asie. Les plastiques sont loin d'être en tête de liste en matière de recyclage, avec un taux de recyclage de seulement 21 % en 2007, arrivant en cinquième

position après l'acier (100 %), le verre (75 %), le papier-carton (56 %) et l'aluminium (28 %). Les pays développés, comme l'Allemagne, ont des pourcentages de recyclage relativement élevés, allant jusqu'à inclure des éléments tels que les pots de yaourt, les barquettes et les films en plastique. Dans les pays en développement tels que l'Algérie, le recyclage et la récupération du plastique sont souvent gérés par le secteur informel, en dehors des circuits officiels de collecte et de traitement, hormis la récupération interne. [19]

## **II.10 Type De Déchets Recycle**

### **II.10.1. Le papier et le carton**

Le papier et le carton sont des matériaux couramment recyclés dans de nombreux pays. Le recyclage de ces matériaux permet de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge et de préserver les ressources naturelles.

Le processus de recyclage du papier et du carton commence par la collecte et le tri des matériaux. Le papier et le carton sont ensuite acheminés vers une usine de recyclage où ils sont triés par qualité et par couleur, puis broyés en fibres. Les fibres sont ensuite mélangées à de l'eau pour créer une pâte à papier qui est mise en feuilles. Ces feuilles sont pressées et séchées pour créer du papier recyclé ou du carton recyclé.

Le papier et le carton recyclés sont utilisés pour produire une grande variété de produits, tels que des emballages, du papier pour photocopieurs, du papier toilette, des cartons d'emballage, etc.

Le recyclage du papier et du carton permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de préserver les forêts en limitant la demande de fibres vierges. Il est important de noter que pour que le recyclage soit efficace, il est nécessaire de trier correctement les déchets à la source et d'éviter de contaminer les matériaux recyclables avec d'autres types de déchets. Les matériaux couramment recyclés dans de nombreux pays. Le recyclage de ces matériaux permet de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge et de préserver les ressources naturelles.

Le processus de recyclage du papier et du carton commence par la collecte et le tri des matériaux. Le papier et le carton sont ensuite acheminés vers une usine de recyclage où ils sont triés par qualité et par couleur, puis broyés en fibres. Les fibres sont ensuite mélangées à de l'eau pour créer une pâte à papier qui est mise en feuilles. Ces feuilles sont pressées et séchées pour créer du papier recyclé ou du carton recyclé.

Le papier et le carton recyclés sont utilisés pour produire une grande variété de produits, tels que des emballages, du papier pour photocopieurs, du papier toilette, des cartons d'emballage, etc.

Le recyclage du papier et du carton permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de préserver les forêts en limitant la demande de fibres vierges. Il est important de noter que pour que le recyclage soit efficace, il est nécessaire de trier correctement les déchets à la source et d'éviter de contaminer les matériaux recyclables avec d'autres types de déchets.



**Figure 0-3-Le papier et le carton**

### **II.10.2. Le Verre**

Le verre est un matériau largement recyclé dans de nombreux pays. Le recyclage du verre permet de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge et de préserver les ressources naturelles.

Le processus de recyclage du verre commence par la collecte et le tri des matériaux. Le verre est ensuite transporté vers une usine de recyclage où il est trié par couleur, puis nettoyé et broyé en petits morceaux. Les morceaux de verre sont ensuite fondus à haute température pour créer de nouvelles bouteilles, de nouveaux pots, ou d'autres produits en verre.

Le verre peut être recyclé à l'infini sans perdre ses propriétés, ce qui en fait un matériau très durable. Le recyclage du verre permet également de réduire les émissions de gaz à effet de serre, car la production de verre à partir de matières premières vierges nécessite plus d'énergie et émet plus de gaz à effet de serre que la production à partir de verre recyclé.

Il est important de noter que pour que le recyclage soit efficace, il est nécessaire de trier correctement les déchets à la source et d'éviter de contaminer les matériaux recyclables avec d'autres types de déchets.



**Figure II -4- LE VERRE**

### II.10.3. Le plastique

Le plastique est également un matériau couramment recyclé dans de nombreux pays. Cependant, le recyclage du plastique peut être plus complexe que celui d'autres matériaux en raison de la grande variété de plastiques utilisés dans les produits de consommation, chacun nécessitant un traitement spécifique.

Le processus de recyclage du plastique commence également par la collecte et le tri des matériaux. Les plastiques sont ensuite transportés vers une usine de recyclage où ils sont nettoyés et triés par type de résine. Le plastique est ensuite broyé en petits morceaux, lavé et fondu pour créer de nouveaux produits en plastique.

Cependant, tous les types de plastiques ne sont pas recyclables, et même ceux qui le sont ne sont pas toujours recyclés efficacement. Certains types de plastiques sont plus faciles à recycler que d'autres, et le recyclage peut être plus difficile ou plus coûteux en fonction de la qualité et de la quantité de plastique à recycler.

En outre, le recyclage du plastique peut avoir des limites en termes de durabilité. Le plastique recyclé peut perdre certaines de ses propriétés physiques et chimiques au fil des cycles de recyclage, ce qui peut limiter son utilisation dans certains produits.

Enfin, il est important de noter que le recyclage du plastique ne résout pas le problème de la pollution plastique, qui peut être causée par le rejet de plastique dans l'environnement, la mauvaise gestion des déchets et le manque d'infrastructures de recyclage adéquates. Pour réduire la pollution plastique, il est important de réduire la consommation de plastique à la source et de promouvoir des pratiques de gestion des déchets durables.



Figure 0-5 -Le plastique

#### II.10.4. Les métaux

Les métaux sont également recyclables et font partie des matériaux les plus couramment recyclés dans le monde. Les métaux tels que l'aluminium, l'acier et le cuivre peuvent être recyclés à l'infini sans perdre leurs propriétés physiques ou chimiques.

Le processus de recyclage des métaux commence par la collecte des déchets métalliques, qui sont ensuite triés par type de métal et nettoyés pour éliminer toute contamination. Les métaux sont ensuite broyés en petits morceaux et fondus pour créer de nouveaux produits en métal.

Le recyclage des métaux présente de nombreux avantages, notamment la réduction de la consommation de ressources naturelles, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la réduction des déchets envoyés en décharge. Le recyclage des métaux peut également être rentable, car les métaux ont une valeur marchande élevée.

Cependant, certains métaux peuvent être plus difficiles à recycler que d'autres en raison de leur composition chimique ou de la présence de contaminants. De plus, le recyclage des métaux peut nécessiter une grande quantité d'énergie, ce qui peut avoir des impacts environnementaux si l'énergie est produite à partir de sources non renouvelables.

En résumé, le recyclage des métaux est une pratique importante pour réduire les impacts environnementaux de la production de nouveaux métaux et pour promouvoir une économie circulaire. Cependant, il est important de prendre en compte les coûts énergétiques et environnementaux associés au recyclage des métaux et de mettre en place des pratiques de recyclage durables et efficaces.



Figure II -6 -Les métaux

#### II.10.5. Les déchets organiques

Les déchets organiques sont les déchets issus de la matière organique, c'est-à-dire les déchets d'origine végétale ou animale. Les exemples courants de déchets organiques comprennent les restes de nourriture, les déchets de jardin, les feuilles, les brindilles et les déchets d'origine animale tels que les plumes et les poils. Ces déchets peuvent être recyclés et transformés en compost, qui peut être utilisé pour fertiliser les sols et les plantes. Le compostage des déchets organiques est une méthode efficace et écologique pour réduire la quantité de déchets envoyés dans les décharges et réduire les émissions de gaz à effet de serre.



Figure 0-7 -Les déchets organiques

### II.10.6. Les déchets électroniques

Les déchets électroniques, également appelés "e-déchets" ou "DEEE" (déchets d'équipements électriques et électroniques), sont les déchets provenant d'appareils électriques et électroniques en fin de vie, tels que les téléphones portables, les ordinateurs, les téléviseurs, les réfrigérateurs, les machines à laver, les lecteurs DVD, etc. Ces déchets peuvent contenir des substances dangereuses telles que des métaux lourds, des plastiques ignifuges et des gaz à effet de serre, qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine et l'environnement s'ils ne sont pas correctement traités. Les déchets électroniques peuvent être recyclés ou réutilisés de différentes manières pour récupérer des matériaux précieux, réduire la quantité de déchets envoyés dans les décharges et réduire les émissions de gaz à effet de serre.



Figure 0-8-Les déchets électroniques

## II.11 Différentes méthodes de recyclage

Pour recycler les déchets, il est nécessaire de les collecter et de les trier en fonction de leur matière, tels que le carton, le papier, le verre et le plastique. Le processus de recyclage commence par la collecte des déchets à travers le tri sélectif, puis leur envoi dans un centre de tri où ils sont triés selon leur matière. Une fois triés, les déchets sont pris en charge par des usines de transformation. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à être réutilisée pour la production de nouveaux produits. Le recyclage permet ainsi de réduire l'utilisation de matières

premières et d'économiser de l'énergie tout en réduisant la quantité de déchets qui finissent dans les décharges et les océans. C'est pourquoi la collecte sélective et le tri des déchets sont essentiels pour garantir le succès du processus de recyclage.

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

Le produit sera utilisé tel quel dans la même ou différente application. [21]

### **II.11.1. Recyclage primaire ou le recyclage mécanique**

Le recyclage primaire désigne la mise en œuvre du matériau dans la même forme et de même valeur industrielle. Cela concerne les déchets d'usine lors de la fabrication des produits ainsi que le recyclage en cercle fermé dans lequel un même produit est collecté et recyclé dans le même produit, tel quel ou après modification chimique. Un exemple de cela est les caisses de batterie en polypropylène, qui ont été largement utilisées ces dernières décennies. Le recyclage primaire apparaît de loin comme la meilleure solution pour le traitement des déchets solides, car il n'est pas de nature destructive et permet une économie de matières premières. En effet, le recyclage primaire permet de réduire la quantité de déchets qui finissent dans les décharges et de limiter l'impact environnemental de l'activité humaine en préservant les ressources naturelles. C'est pourquoi il est important de mettre en place des stratégies de recyclage efficaces pour encourager le recyclage primaire des déchets solides. [21]

### **II.11.2. Recyclage secondaire**

Le recyclage secondaire consiste à réutiliser le matériau d'un produit en créant un autre produit de moindre valeur industrielle. Par exemple, les sacs poubelles et les poubelles fabriquées à partir de matériau recyclé sont des exemples courants de recyclage secondaire. Cette pratique est souvent considérée comme moins efficace que le recyclage primaire car elle nécessite une transformation supplémentaire du matériau pour en créer un nouveau produit. Cependant, elle reste une option importante pour la gestion des déchets, car elle permet de réduire la quantité de déchets envoyés dans les sites d'enfouissement et d'incinération. [21]

### **II.11.3. Recyclage tertiaire**

Le recyclage tertiaire est un processus de traitement chimique des déchets, qui permet de les décomposer en éléments basiques tels que le monomère, l'oligomère ou le combustible, qui peuvent être réutilisés dans différents domaines tels que la pétrochimie, la raffinerie ou la production de nouveaux matériaux plastiques. Cette technique de recyclage est plus complexe et coûteuse que les autres types de recyclage, mais elle permet de valoriser des déchets qui seraient autrement considérés comme non recyclables. Le recyclage tertiaire est donc une solution intéressante pour les déchets plastiques qui ne peuvent pas être recyclés par les méthodes traditionnelles. Cependant, il est important de noter que ce type de recyclage nécessite une grande quantité d'énergie et peut également produire des déchets toxiques ou dangereux pour l'environnement s'ils ne sont pas correctement gérés. [21]

On distingue trois méthodes:

### **II.11.3.1.La pyrolyse**

La décomposition des molécules par chauffage sous vide est un procédé appelé la pyrolyse. Ce procédé permet la transformation des déchets plastiques en hydrocarbures liquides ou gazeux utilisables ultérieurement dans les raffineries. La pyrolyse est une forme de recyclage tertiaire qui permet de récupérer des matières premières à partir de déchets plastiques qui ne peuvent pas être recyclés mécaniquement. La pyrolyse est également considérée comme une alternative intéressante à l'enfouissement ou l'incinération des déchets plastiques, car elle permet de valoriser ces déchets tout en réduisant leur impact sur l'environnement. Cependant, la pyrolyse présente également des défis environnementaux et économiques, notamment en termes de coûts et d'émissions de gaz à effet de serre. [21]

### **II.11.3.2.L'hydrogénation**

Le traitement par hydrogénation thermique est une méthode de recyclage tertiaire qui consiste en la décomposition des macromolécules par réaction avec de l'hydrogène sous haute pression et température. Cette réaction produit des huiles carbonées, qui peuvent être utilisées dans les raffineries ou les usines de produits chimiques pour la production de nouveaux plastiques ou d'autres produits. Le recyclage tertiaire est une étape importante dans la gestion des déchets plastiques car il permet de récupérer des matières qui ne sont pas recyclables par d'autres méthodes et de les réutiliser de manière efficace. [21]

### **II.11.3.3.La gazéification**

La gazéification est un processus de traitement des déchets plastiques qui consiste à chauffer le matériau en l'absence d'oxygène pour produire du gaz de synthèse. Ce gaz est ensuite traité pour produire des produits chimiques de valeur tels que le méthanol, l'ammoniac ou des combustibles comme le gaz naturel de synthèse. La gazéification est une technique efficace pour traiter les déchets plastiques et peut contribuer à réduire la dépendance aux combustibles fossiles. [21]

### **II.11.4.Recyclage quaternaire**

Appelé aussi la valorisation énergétique, ce procédé de recyclage des déchets plastiques désigne l'incinération (combustion totale) des matériaux pour la production de chaleur ou d'électricité. Les déchets plastiques constituent un apport calorifique non négligeable qui peut être valorisé par la récupération de la chaleur produite, utilisable sous forme d'énergie électrique ou thermique. Toutefois, ce procédé est considéré comme moins écologique que le recyclage car il génère des émissions de gaz à effet de serre et peut également produire des cendres toxiques. Il est donc souvent utilisé en dernier recours, lorsque le recyclage n'est pas possible ou viable. [21]

# **Chapitre III**

## **Carton et Polystyrène**

## ***Chapitre III: Carton et polystyrène***

### **III.1 Carton**

#### **III.1.1 Introduction**

Le carton papier est un matériau largement utilisé dans l'emballage et la fabrication de produits tels que les boîtes, les enveloppes et les présentoirs. Sa popularité s'explique par sa robustesse, sa légèreté et son coût relativement bas par rapport à d'autres matériaux d'emballage. Cependant, la production et la gestion des déchets de carton papier peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement, ce qui rend la recherche de méthodes durables de fabrication et de recyclage du carton papier d'une grande importance. Dans ce projet de fin d'études, nous allons examiner les caractéristiques du carton papier, ses utilisations, ainsi que les défis liés à sa production et à sa gestion des déchets. Nous explorerons également les technologies émergentes pour la fabrication de carton papier durable et les initiatives de recyclage pour une utilisation plus responsable des ressources.

#### **III.1.2 Définition de carton**

Le carton papier est un matériau constitué de plusieurs couches de papier collées ensemble pour former une structure rigide et résistante. Il est souvent utilisé dans l'emballage de produits pour protéger contre les dommages lors du transport et de la manipulation. Le carton papier est généralement fabriqué à partir de pâte de bois, de papier recyclé ou d'une combinaison des deux. Il peut également être traité avec des revêtements pour améliorer ses propriétés, tels que l'imperméabilité à l'eau ou la résistance aux déchirures. Le carton papier est un matériau polyvalent et économique qui est utilisé dans une variété d'applications, allant des boîtes d'emballage aux présentoirs de point de vente. [22]



**Figure 0-1 carton**

### III.1.3 L'histoire du carton

L'histoire du carton papier remonte à l'Antiquité, lorsque les Égyptiens ont commencé à fabriquer du papier à partir de fibres végétales. Cependant, le carton papier tel que nous le connaissons aujourd'hui a été inventé au 19ème siècle en Europe.

En 1817, le britannique Sir Malcolm Thornhill a breveté une machine pour la production de papier ondulé. Cependant, il a fallu attendre les années 1850 pour que la production de carton papier commence à se développer en Europe et en Amérique du Nord.

En 1871, l'américain Albert L. Jones a breveté la première machine à papier ondulé continue, qui a permis la production en série de carton ondulé. Cette invention a révolutionné l'industrie de l'emballage en permettant la production rapide et économique de carton papier.

Au fil des décennies, les technologies de production de carton papier ont continué à évoluer, permettant la fabrication de cartons plus solides, plus légers et plus résistants à l'eau. Aujourd'hui, le carton papier est l'un des matériaux d'emballage les plus couramment utilisés dans le monde, avec une production mondiale annuelle de plusieurs millions de tonnes. [23]

### III.1.4 Les produits en papier-carton

Différents types de papier-carton peuvent être distingués en fonction de leur utilisation :

- **Papiers pour onduler** : Ils sont fabriqués à partir de fibres de récupération et sont utilisés principalement dans l'industrie de l'emballage pour la fabrication de cartons ondulés, tels que les emballages de transport.



Figure 0-2-Papiers pour onduler

- **Cartons plats** : Ils peuvent être blanchis, couchés ou gris, et sont produits à partir de fibres neuves ou de récupération. Les cartons plats sont utilisés dans diverses applications, y



Figure0-3- Cartons plats

compris les emballages de luxe, les présentoirs, les panneaux publicitaires, etc.

- **Papiers d'emballage** : Ils sont fabriqués à partir de pâte à papier, comprenant des fibres vierges et/ou recyclées. Parmi eux, on trouve le kraft écru ou blanchi utilisé pour les sacs



Figure 0-4 Papiers d'emballage

industriels, les inters krafts, les papiers calandrés, les papiers couchés, etc.

- **Papiers d'impression-écriture** : Ils sont spécialement conçus pour l'impression et l'écriture, offrant une surface lisse et une bonne opacité. Ces papiers peuvent être utilisés pour les livres, les magazines, les brochures, les documents administratifs, etc.



Figure III -5- Papiers d'impression-écriture

- **Papier journal** : Il s'agit d'un type spécifique de papier à usage graphique utilisé pour l'impression des journaux. Il est généralement fabriqué à partir de fibres recyclées.



- **Papiers à usages sanitaires et domestiques** : Ces papiers comprennent les mouchoirs, les serviettes, les essuie-mains, le papier hygiénique, etc. Ils peuvent être fabriqués à partir de fibres vierges ou recyclées, en fonction des exigences du produit final.



Figure III -7-Papiers à usages sanitaires et domestiques

Chaque type de papier-carton est adapté à des utilisations spécifiques en fonction de ses caractéristiques de résistance, de texture, d'absorption, d'opacité, etc. [31]

### III.1.5 Les avantages et inconvénients du carton papier

Les avantages du carton papier sont nombreux. Tout d'abord, c'est un matériau durable et renouvelable, fabriqué à partir de fibres de bois ou de papier recyclé. Il est également léger et résistant, ce qui le rend facile à manipuler et à transporter tout en offrant une bonne protection aux produits qu'il contient. Le carton papier est également polyvalent, car il peut être utilisé dans une grande variété d'applications d'emballage, des boîtes de rangement aux boîtes de transport en passant par les présentoirs de point de vente.

Cependant, il existe également des inconvénients liés à l'utilisation du carton papier. Tout d'abord, sa production nécessite une quantité importante d'eau et d'énergie, ce qui peut avoir un impact sur l'environnement. De plus, le transport du carton papier peut également être coûteux et émettre des gaz à effet de serre, surtout si les matériaux doivent être transportés sur de longues distances.

Un autre inconvénient est la gestion des déchets de carton papier. Bien que le carton papier soit recyclable, de nombreux matériaux d'emballage en carton papier ne sont pas correctement recyclés, ce qui peut entraîner une accumulation de déchets dans les décharges. Enfin, le carton papier peut être sensible à l'humidité et à d'autres conditions environnementales, ce qui peut affecter sa durée de vie et sa qualité.

En conclusion, bien que le carton papier présente de nombreux avantages en tant que matériau d'emballage durable et polyvalent, il est important de considérer les inconvénients liés à sa production et à sa gestion des déchets. Des efforts sont nécessaires pour améliorer la durabilité de la production de carton papier et pour encourager une meilleure gestion des déchets afin de minimiser les impacts environnementaux. [24]

### III.1.6 Les différentes utilisations du carton

Le carton papier est un matériau très polyvalent qui peut être utilisé dans de nombreuses applications différentes. Voici quelques exemples d'utilisation courante du carton papier :

- **Emballage** : le carton papier est largement utilisé pour la fabrication de boîtes d'emballage pour des produits tels que les aliments, les boissons, les produits pharmaceutiques, les jouets, les vêtements, les appareils électroniques, etc.



Figure 0-8- carton emballage

- **Display et publicité** : le carton papier est également utilisé pour la fabrication de présentoirs, de panneaux publicitaires et d'affiches publicitaires pour les magasins, les expositions et les événements.



Figure III -9- carton Display et publicité

- **Meubles et décoration** : le carton papier peut être utilisé pour la fabrication de meubles, de bibliothèques, de présentoirs, de luminaires, de boîtes de rangement, etc. Il peut également être utilisé pour la fabrication de décorations de fête, de décors de théâtre, de maquettes et d'objets d'art.



Figure 0-10- carton Meubles et décoration

- **Protection** : le carton papier est utilisé pour la fabrication de matériaux de protection tels que les coins, les intercalaires, les séparateurs, les mousses de calage et les enveloppes matelassées.



Figure 0-11-carton Protection

- **Isolation** : le carton papier peut être utilisé pour l'isolation thermique et acoustique des bâtiments.



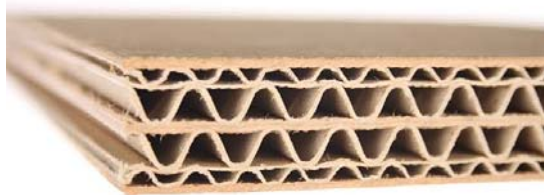
Figure 0-12- carton Isolation

En somme, le carton papier est un matériau très polyvalent qui est largement utilisé dans de nombreux domaines différents en

### III.1.7 Les formes de carton

Le carton est disponible dans une variété de formes et de types différents, chacun étant conçu pour des utilisations et des applications spécifiques. Voici quelques formes courantes de carton:

- **Carton ondulé** : le carton ondulé est le type de carton le plus couramment utilisé pour les boîtes d'emballage. Il est composé de deux couches de papier kraft ondulé avec une couche de papier lisse collée à chaque face.



- **Carton compact** : également connu sous le nom de carton plat, le carton compact est utilisé pour les boîtes pliantes, les boîtes de céréales, les boîtes de médicaments et d'autres produits similaires. Il est composé de plusieurs couches de papier kraft pressées ensemble.



Figure 0-12- Carton compact

- **Carton nid d'abeille** : le carton nid d'abeille est un type de carton utilisé pour les intercalaires de protection, les palettes et les panneaux de porte. Il est composé de deux feuilles de carton plates avec une couche de matériau nid d'abeille entre les deux. [26]



Figure 0-13- Carton nid d'abeille

- **Carton alvéolaire** : le carton alvéolaire est un type de carton utilisé pour les panneaux de porte, les planches à dessin, les tableaux d'affichage et d'autres applications similaires. Il est composé d'un noyau alvéolaire avec des couches de papier kraft de chaque côté.



Figure 0-14- Carton alvéolaire

- **Carton plume** : le carton plume est un type de carton léger utilisé pour les panneaux de signalisation, les enseignes et les affiches. Il est composé d'une feuille de mousse de polystyrène sandwichée entre deux couches de papier cartonné.



Ces formes de carton sont souvent utilisées dans des applications d'emballage, de protection et de décoration, mais peuvent également être utilisées dans d'autres domaines tels que la construction et les arts et métiers. [5]

### III.1.8 Les propriétés de carton

Le carton papier possède plusieurs propriétés qui en font un matériau de choix pour de nombreuses applications. Voici quelques-unes de ces propriétés:

- **Légèreté** : Le carton papier est un matériau très léger, ce qui le rend facile à manipuler, à transporter et à utiliser.
- **Rigidité** : Le carton papier est également très rigide, ce qui le rend capable de supporter des charges importantes sans se déformer ou se plier.
- **Résistance à la compression** : Le carton papier a une bonne résistance à la compression, ce qui le rend capable de protéger les produits qu'il contient contre les chocs et les impacts.
- **Isolation thermique et acoustique** : Le carton papier a des propriétés d'isolation thermique et acoustique, ce qui le rend utile pour l'isolation des bâtiments.
- **Éco-responsabilité** : Le carton papier est un matériau recyclable et biodégradable, ce qui en fait une option respectueuse de l'environnement.
- **Personnalisable** : Le carton papier peut être facilement imprimé, découpé et façonné en différentes formes et tailles, ce qui le rend facilement personnalisable pour les besoins spécifiques de chaque application.

Ces propriétés font du carton papier un matériau populaire pour les emballages, les présentoirs, les meubles et de nombreuses autres applications. [27]

### **III.1.9 Processus d'obtention du papier et les produits en papier carton**

#### **III.1.9.1.Fabrication de la pâte à papier**

##### **III.1.9.1.1.Les pâtes à papier à base de fibres vierges**

Les pâtes à papier sont fabriquées à partir de diverses sources de fibres végétales, telles que le bois, le bambou, l'alfa ou les bagasses. Les plantes contiennent des fibres cellulosiques, de l'hémicellulose, de la lignine et d'autres composés tels que des résines et des sels minéraux. La lignine agit comme un liant pour les fibres cellulosiques et confère sa solidité à l'ensemble de la structure végétale. Pour produire la pâte à papier, qui consiste à extraire les fibres cellulosiques, il est nécessaire de rompre les liaisons entre les fibres.

Il existe deux principales méthodes pour obtenir la pâte à papier :

**Pâte mécanique :** Dans ce processus, les fibres sont séparées mécaniquement par le cisaillement du bois ou d'autres sources végétales. Cela peut se faire par broyage, défibrage ou raffinage mécanique. Le cisaillement mécanique permet de séparer les fibres les unes des autres. La pâte mécanique conserve une plus grande partie de la lignine, ce qui lui confère une couleur plus foncée. Elle est généralement utilisée pour la fabrication de papiers tels que les journaux, les emballages ou le carton recyclé.

**Pâte chimique :** Dans ce procédé, la lignine est chimiquement dissoute pour extraire les fibres cellulosiques. Il existe plusieurs types de pâtes chimiques, notamment la pâte kraft et la pâte sulfite. La pâte kraft est obtenue en traitant la matière première avec une solution de soude caustique (hydroxyde de sodium) et de sulfure de sodium. La pâte sulfite est produite en utilisant une solution de sulfite métallique, généralement du sulfite de calcium ou du sulfite de magnésium. Les pâtes chimiques permettent d'obtenir des fibres plus blanches et plus résistantes, adaptées à la fabrication de papiers tels que ceux utilisés pour l'impression, l'écriture ou les emballages alimentaires.

Ces méthodes de production de pâte à papier sont utilisées en fonction des caractéristiques souhaitées pour le produit final, en termes de couleur, de résistance et d'applications spécifiques. [30]

##### **III.1.9.1.2.Les pâtes à papier à base de fibres de récupération**

Traditionnellement, l'industrie a toujours utilisé des papiers et cartons recyclés, également appelés "fibres cellulosiques de récupération", comme matière première secondaire pour la fabrication de la pâte à papier. Cette expression fait référence à un ensemble varié de papiers et cartons qui ont déjà été utilisés, ainsi que les déchets provenant de la transformation industrielle, à l'exclusion des défauts de fabrication. Cette matière première "secondaire" est ensuite recyclée et transformée pour produire de nouveaux papiers et cartons. [30]

### III.1.9.2. La fabrication de carton papier

La fabrication de carton papier est un processus complexe qui implique plusieurs étapes. Voici un aperçu des principales étapes de fabrication du carton papier :

**Préparation de la pâte à papier :** La première étape de la fabrication du carton papier est la préparation de la pâte à papier. Cela peut se faire à partir de bois, de pâte recyclée ou d'autres matières premières. La pâte est mélangée avec de l'eau pour former une suspension.

**Formation de la feuille de papier :** La suspension de pâte est ensuite déversée sur une machine à papier. La machine à papier utilise des rouleaux pour presser et sécher la pâte, formant ainsi une feuille de papier.

**Préparation du carton :** La feuille de papier est ensuite recouverte de colle et de papier kraft pour former des couches de carton. La quantité de couches dépend de l'application spécifique du carton.

**Pressage et séchage :** Les couches de carton sont ensuite pressées ensemble pour former une seule feuille de carton. Cette feuille est ensuite séchée pour enlever toute l'humidité.

**Découpe et finition :** La feuille de carton est ensuite découpée en feuilles de différentes tailles pour être utilisée dans des applications spécifiques. Le carton peut également être imprimé, plié et façonné en différentes formes pour répondre aux besoins de chaque application.

Le processus de fabrication du carton papier peut varier selon le type de carton produit et les méthodes de fabrication utilisées par chaque fabricant. Cependant, les étapes de base restent généralement les mêmes. [28]

## III.2 Le polystyrène

### III.2.1 Introduction

Le polystyrène choc présente une résistance accrue aux chocs par rapport au polystyrène standard, ce qui le rend plus adapté aux applications nécessitant une plus grande résistance. Le polystyrène expansé, également connu sous le nom de "Styrofoam", est une forme de polystyrène qui est produite en faisant mousser le matériau, ce qui crée une structure alvéolaire légère et isolante.

La gestion des déchets de polystyrène pose un défi en raison de sa difficulté à être recyclé efficacement. Dans de nombreux pays, le polystyrène n'est pas collecté dans les systèmes de collecte sélective, ce qui signifie qu'il finit souvent dans les décharges. Cependant, il existe des installations de recyclage spéciales qui sont capables de traiter le polystyrène et de le transformer en granulés réutilisables pour la fabrication de nouveaux produits en polystyrène. Le recyclage du polystyrène

nécessite un tri minutieux, car les différents types de polystyrène ne peuvent pas être mélangés lors du processus de recyclage.

En raison de ses impacts environnementaux et de ses difficultés de recyclage, de nombreux pays et municipalités ont mis en place des interdictions ou des restrictions sur l'utilisation du polystyrène dans certains produits, en particulier les emballages alimentaires. Ces interdictions visent à promouvoir des alternatives plus écologiques, telles que les emballages en papier, les bioplastiques ou les matériaux compostables.

En conclusion, le polystyrène est un matériau largement utilisé, mais il présente des défis en termes de gestion des déchets et d'impact environnemental. La collecte et le recyclage efficaces du polystyrène sont des domaines qui nécessitent des efforts supplémentaires pour réduire son impact sur l'environnement. Parallèlement, la promotion et l'utilisation de matériaux de remplacement plus durables et respectueux de l'environnement sont essentielles pour une gestion plus responsable des déchets et une réduction de la dépendance au polystyrène.

### III.2.2 Le polystyrène

Le polystyrène est un polymère- $\text{CH}_2\text{-CH}_n$ , obtenu à partir du monomère styrène  $\text{CH}_2=\text{CH-Ph}$ , le polystyrène est solide à  $20^\circ\text{C}$  et pâteux à  $120^\circ\text{C}$ , la fusion se faisant entre et  $170^\circ\text{C}$ .

Le polystyrène est généralement inflammable et combustible, se dégradant à partir de  $350^\circ\text{C}$  et s'enflammant spontanément vers  $490^\circ\text{C}$ .

Avec une densité réelle de 1,03 à 1,05, le polystyrène est soluble dans les hydrocarbures chlorés et aromatiques. [32]



Figure 0-16 Le polystyrène

### III.2.3 Historique

La découverte du polystyrène remonte à 1839, mais sa fabrication à grande échelle a véritablement débuté dans les années 1930, en Allemagne et aux États-Unis. La première fabrication industrielle du polystyrène a eu lieu en 1933, utilisant un processus intermittent.

À partir des années 1940, différents procédés de polymérisation en masse, qu'ils soient continus ou discontinus, ont été développés. Cependant, c'est le procédé de polymérisation en masse continue qui a connu le plus de succès dans les années 1960. Les avancées technologiques de l'époque ont permis l'évacuation plus efficace de la chaleur générée pendant la polymérisation, favorisant ainsi l'adoption du procédé en masse continue.

En ce qui concerne le polystyrène expansé, il a été inventé en 1944 par un chimiste du nom de McIntire, alors qu'il travaillait pour Dow Chemicals sur des recherches liées au caoutchouc souple. La découverte du polystyrène expansé s'est produite par hasard lorsqu'il tentait de copolymériser sous pression le styrène et l'isobutène. Le styrène était le seul composant à polymériser, tandis que l'isobutène s'évaporait, créant ainsi des interférences dans la matrice polymère et formant des pores.

Ces pores ont donné naissance à la structure alvéolaire caractéristique du polystyrène expansé, également connu sous le nom de mousse de polystyrène. Cette découverte fortuite a ouvert la voie à l'utilisation du polystyrène expansé dans de nombreux domaines, notamment l'isolation thermique et l'emballage de protection. [32]

### III.2.4 Origine

Le polystyrène (PS) est un matériau largement utilisé qui est obtenu par la polymérisation du styrène, un composé dérivé de la pétrochimie. Le styrène est produit en grande partie à partir de l'éthylbenzène, et plus de 90 % de sa production est réalisée par déshydrogénation de l'éthylbenzène provenant de l'éthylène.

La formule chimique du polystyrène est  $(C_8H_8)_n$ , ce qui signifie qu'il est composé uniquement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Cette formule représente la structure répétée du polystyrène, dans laquelle de nombreuses unités de styrène sont liées entre elles pour former une chaîne polymère.

Le polystyrène est un matériau polymère thermoplastique qui présente des propriétés intéressantes telles que la légèreté, la rigidité et l'isolation thermique. Il est largement utilisé dans de nombreux domaines, notamment l'emballage, la construction, l'industrie automobile et l'électronique.

Cependant, il convient de noter que le polystyrène est dérivé de ressources pétrolières non renouvelables et qu'il a un impact environnemental significatif. Sa décomposition est lente, et il peut persister dans l'environnement pendant de nombreuses années. De plus, sa combustion peut libérer des substances toxiques.

Face à ces préoccupations environnementales, des efforts sont déployés pour développer des alternatives plus durables au polystyrène, telles que des matériaux biosourcés, biodégradables ou recyclables. Ces alternatives visent à réduire l'empreinte écologique associée à l'utilisation du polystyrène et à promouvoir une économie plus circulaire et respectueuse de l'environnement.[33]

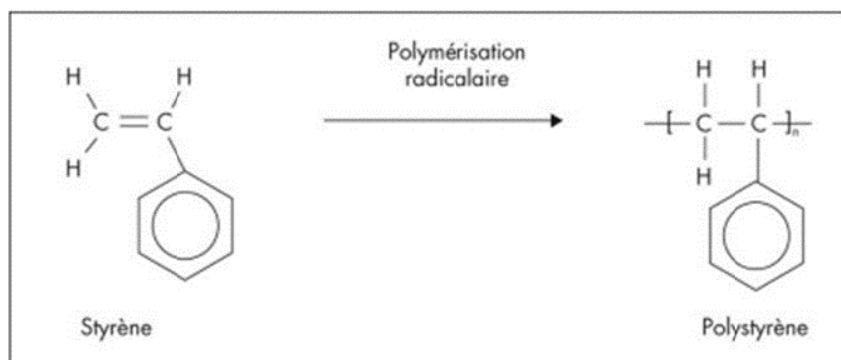


Figure 0-17 Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène. [34]

Les produits commerciaux sont fabriqués à partir du PS atactique caractérisé par un arrangement irrégulier des atomes ; il est amorphe et ne peut cristalliser. Deux procédés de polymérisation sont actuellement utilisés pour la fabrication du PS : la polymérisation radicalaire en suspension et la polymérisation radicalaire en masse. Pour empêcher la polymérisation à basse température, lors du stockage et du transport du styrène liquide, le monomère est stabilisé avec des inhibiteurs tels que le 4-tert-butylcatéchol. [35]

### III.2.5 Formes de polystyrène

Les plastiques recyclables utilisés pour fabriquer des contenants alimentaires possèdent un code d'identification placé au centre d'un ruban Moebius pour symboliser le recyclage. Celui du PS EST le numéro 6. L'utilisation de ce système de codification développé par la Society of the Plastic Industrie (SPI) pour différencier les diverses résines de plastique n'est pas obligatoire, mais volontaire.



Figure 0-18 Code d'identification du polystyrène [32].

Il peut se présenter sous différentes formes (Cristal, Choc, Expansé etc.). Le polystyrène de base, appelé PS cristal, est une matière dure et cassante, pouvant être transparente ou colorée. Ses propriétés mécaniques et thermiques peuvent être modifiées par l'ajout de plastifiants ou de butadiène (caoutchouc) pour en faire un polystyrène dit choc. C'est un matériau très facile à transformer, par injection ou extrusion par exemple [32].

### III.2.5.1. Polystyrène standard (cristal)

Ce PS est également appelé le polystyrène d'utilisation général (General Purpose Polystyrène (GPPS)) ou bien le polystyrène rigide (PSR). C'est un polymère amorphe, transparent, brillant, rigide, cassant et pouvant être coloré. Il est souvent appelé PS cristal à cause de son aspect transparent. C'est le premier PS obtenu suite à la polymérisation. Toutes les autres formes du PS sont obtenues par modification de celui-ci.

Le PS cristal peut également être façonné par injection et des pièces moulées, comme des gobelets transparents ou des boîtiers de Digital Versatile Disc (DVD), sont obtenues. Dans ce cas, il porte le nom de PS injecté. [3]



Figure 0-19- Polystyrène standard

### III.2.5.2. Polystyrène choc

Ce matériau résulte de la polymérisation du styrène en présence d'un élastomère renforçant. Généralement, le polybutadiène y est inséré à cette fin. Le PS choc est également un polymère amorphe constitué de deux phases distinctes : l'une continue, composée de PS, appelée matrice et l'autre discontinue comprenant des nodules de polybutadiène dispersés dans la matrice. La couleur du PS choc va de translucide à opaque, car les deux phases n'ont pas le même indice de réfraction. Sa résistance au choc est aussi une conséquence de cette structure à deux phases. Le niveau de résistance est lié à la teneur en polybutadiène. Les PS chocs supportent des impacts plus importants que le PS normal. [36] [37]



Figure 0-20- Polystyrène choc

### III.2.5.3. Polystyrène expansé

Terminologie : on utilisera les abréviations :

- PSE : (polystyrène expansé) pour les mousses de polystyrène en général.
- PSE-M : (polystyrène expansé moulé) pour celles obtenues par le procédé d'expansion-moulage à partir de perles de polystyrène expansible.
- PSE-E : (polystyrène expansé extrudé) pour celles.
  - Le polystyrène expansé (PSE) est un matériau alvéolaire rigide, peu dense, dont les principales utilisations sont l'isolation thermique des bâtiments et l'emballage des produits industriels ou alimentaires. Il existe deux types de polystyrène expansé :



Figure 0-21- Le polystyrène expansé (PSE)

- Le PSE-M : est obtenu à partir d'un polystyrène cristal auquel on a ajouté en cours de polymérisation, un agent d'expansion (le pentane,  $C_5H_{12}$ ).
- Le PSE-E : est quant à lui obtenu lors de l'extrusion par injection sous pression d'un gaz d'expansion (le pentane) dans le polymère cristal fondu. Les propriétés les plus remarquables du polystyrène expansé sont :
  - Sa faible masse volumique ;

- Son pouvoir isolant thermique ;
- Ses excellentes propriétés mécaniques (résistance en compression, capacité d'amortissement des chocs)
- Son insensibilité à l'eau ;
- Sa facilité de mise en forme (moulage, découpage) ;
- Sa recyclabilité.



Figure 0-22-polystyrène expansé extrudé

Enfin, la production de styrène à grande échelle et la facilité de polymérisation de ce monomère conduisent à un compromis propriétés/prix particulièrement intéressant pour les deux marchés principaux du polystyrène expansé.

### III.2.6 Avantages et inconvénients du polystyrène expansé

Le polystyrène expansé est un produit de très grande diffusion, offrant un vaste champ d'application, outre son utilité dans le secteur de l'emballage, il est utilisé depuis plusieurs

Décennies dans le milieu du bâtiment comme coffrage mais aussi et surtout pour les panneaux d'isolation. En effet le polystyrène expansé offre de nombreux et inconvénients :

#### III.2.6.1. Avantages

- une bonne réflexion thermique grâce à leur couleur blanche naturelle
- une faible conductivité thermique, ils tolèrent une large gamme de températures.
- une bonne résistance à la compression. Ils absorbent assez bien les vibrations.
- un faible coefficient de dilatation.
- une bonne résistance au vieillissement, en effet ils ne pourrissent pas et ne subissent pas de prolifération bactérienne,
- un faible coût de production et un poids plume

- ils sont recyclables car le polystyrène est un matériau facilement transformable.: [38]

### III.2.6.2. Inconvénients

Même si ce matériau est recyclable, il ne peut quand même pas être considéré comme un matériau vert car le polystyrène étant à la base d'un plastique. Il dérive du pétrole et émet du CO<sub>2</sub> lors de sa fabrication. De plus :

- Les panneaux de PSE sont parfois insuffisants et doivent donc être accompagné d'autres matériaux d'isolation.
- Les billes expansées qui les composent ont tendance à se décoller quand il y a présence d'eau en trop grande quantité, et ils ne permettent pas une bonne isolation phonique. [38]

### III.2.7 Utilisation du polystyrène

Les propriétés du PS et son faible coût d'achat permettent son utilisation dans de nombreuses applications et dans différents secteurs. Le PSE présente certaines caractéristiques qui favorisent son utilisation dans diverses applications : il est léger, composé de 98 % d'air et de 2 % de matière solide, ce qui limite d'autant l'impact sur le poids. Il est moins dispendieux que d'autres types d'emballages et confère une protection aux produits fragiles emballés. Ses propriétés d'isolant thermique permettent de garder les aliments chauds ou froids. Le PSE est abondamment utilisé et très prisé pour des emballages alimentaires, des contenants, des plateaux, etc. Il est également utilisé pour la fabrication de vaisselles à usage unique.

Sa constitution d'alvéoles remplies d'air procure au PSE d'exceptionnelles propriétés d'amortissement aux chocs. De ce fait, il est utilisé dans les emballages protecteurs pour l'expédition de matériel électronique et autres articles fragiles, pour l'emballage d'équipements électroniques comme les téléviseurs, les ordinateurs et les équipements stéréo.

Les propriétés de stabilité, de durabilité et d'insensibilité à l'action de l'humidité du PSE favorisent sa large utilisation dans l'isolation thermique, dans le secteur du bâtiment, de la construction et du froid (camions frigorifiques, glaciers et chambres frigorifiques). Il est également utilisé en milieu agricole (contenants de semis et bacs à fleurs) pour le peu de développement des bactéries et moisissures qu'il permet. Le PS standard est utilisé pour des applications où la transparence et la rigidité sont nécessaires. Il est utilisé dans des produits tels que des couverts, des tasses, des récipients de yogourt, de boulangerie et de fruits et légumes. Les boîtes de Pétri et autres contenants de laboratoire tels que tubes à essai microplaques sont également faits à base de PS.

Le PSE est très utilisé dans les jouets, les équipements récréatifs et les articles ménagers. Il est utilisé dans le domaine de l'audio vidéo : boîtiers de Compact Disc (CD) et de DVD, parties de téléviseurs, parties de chaîne stéréo. Le polystyrène expansé est utilisé comme matériau d'emballage. L'application la plus connue du grand public est le polystyrène expansé ou PSE (parfois app

élé "frigo-lite"), mousse blanche compacte qui sert à emballer les appareils sensibles aux chocs (électroménager, chaîne Hi-Fi.). Les propriétés de ces plastiques industriels sont utilisées dans de nombreux domaines. [39]

Articles de décoration ou matériel de bureau en PS Cristal injecté: double-décimètres, équerres et rapporteurs d'écolier. Ceci est un résumé de ce qui a été déjà mentionné:

- **Logistique** : Calages en PSE: transport de produits fragiles (électroménager, lave-linge, ordinateur, sèche-linge, réfrigérateur, four etc.).
- **(maquette)** : Pièces moulées de PSE à peindre, 'carte plastique' en PS choc.
- Maison de disques: PS Cristal : Boîtiers CD.
- **Isolant thermique** :-Bâtiment/constructions - Panneaux et blocs en PSE : cloisons isolantes - plancher (isolation sous dalle, isolation sous chape, entrevous) - toitures - coffrages (ils permettent d'ériger des murs en béton armé isolés en une seule opération). -Froid - Parois en PSE : camions frigorifiques, glaciers, chambres frigorifiques.
- **Résistance à la compression** : Emballage en PSE: barquettes alimentaires de produits frais, caisses marées et cales. Travaux publics et génie civil - Blocs en PSE: Remblayage de routes et autoroutes - Talus - Murs -anti-bruit - Culées de ponts -Protection é conduits enterrés- Pontons.
- **Alimentaire** : Emballage (pots de yaourt, crème fraîche...) et vaisselle à usage unique (gobelets, couverts) en PS choc blanc thermoformé - Vaisselle à usage unique en PS Cristal injecté (gobelets, verrines...).
- **Hématologie** : Matériel en PS Cristal (Plaques de laboratoire, flacon)
- **Densité** : Très faible absorption de l'eau : Ouvrages flottants sur blocs en PSE : Pontons- Jardins- Maisons (Pays-Bas)
- **Nautisme**: Flotteurs en PSE (balises, ligne d'eau).
- **Logistique** : Réduire le poids des emballages (Feuille allégée en XPS). De 16 à 1060 kg/m<sup>3</sup>, écart dû à l'addition de divers matériaux comme le béton armé
- **Médecine** : Traitement des hyperkaliémies par résine échangeuse de cations en polystyrène de sodium ou Kayexalate.
- **Utilisations militaires** : Le polystyrène est un des composants d'un napalm moderne (« napalm-B »), où il sert de gélifiant. Il entre également dans la constitution de la bombe à hydrogène : il maintient en suspension les éléments de la bombe avant son utilisation, et se transforme en plasma au moment de la mise à feu. Illustré différents produits selon le type de PS utilisé [1]

## **III.2.8 Quelques propriétés du polystyrène**

### **III.2.8.1. Propriétés électriques et thermiques**

Les polymères styréniques possèdent de bonnes propriétés d'isolation électrique. Ils peuvent recevoir des additifs pour devenir antistatiques ou conducteurs. Ils conduisent faiblement la chaleur.

### **III.2.8.2. Comportement au feu**

Les polymères styréniques sont facilement combustibles et dégagent une odeur sucrée. Lors d'une combustion, ils se décomposent vers 300 °C en formant du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de la vapeur d'eau, mais les combustions incomplètes ajoutent de l'oxyde de carbone (CO). Puisque toutes les combustions ouvertes utilisent l'air contenant 78 % d'azote en plus de l'oxygène, des oxydes d'azote sont toujours présents.

Pour améliorer leur tenue au feu, des additifs ignifugeants sont ajoutés pour certaines applications (Heim et autres, 2002). La combustion ajoutera alors les produits de décomposition de ces ignifugeants.

### **III.2.8.3. Vieillessement**

Une exposition prolongée à l'extérieur provoque l'oxydation des polymères styréniques. La couche superficielle des objets devient jaunâtre et s'effrite. L'incorporation d'agents protecteurs ou la coloration permet d'améliorer la résistance au vieillissement (Heim et autres, 2002). Des produits de décomposition complémentaires résulteront de la combustion

### **III.2.8.4. Résistance aux produits chimiques – Corrosion :**

Les PS sont facilement attaqués par de nombreux solvants organiques. Leur résistance aux produits inorganiques (comme des solutions aqueuses) et aux produits alimentaires est bonne. Ils ont une bonne résistance aux acides, bases, aux agents oxydants et réducteurs. Les PS gonflent ou se dissolvent au contact des acides concentrés et des hydrocarbures. Leur stabilité dimensionnelle (capacité à maintenir ses dimensions face aux variations de température, d'humidité et à certaines charges physiques) est excellente (Heim et autres, 2012 et Carraher, 2011).

### **III.2.8.5. Autres propriétés**

Le PS possède un pouvoir calorifique élevé compris entre 31 700 et 41 200 kJ/kg. Ce matériau est imperméable, et il a une très faible absorption d'eau. Comme tous les polymères basés sur une chaîne d'hydrocarbure, le PS est classé comme non biodégradable dans un horizon séculaire. [1]

### III.2.9 Procédés de fabrication des polystyrènes

Le polystyrène est un polymère thermoplastique qui est principalement fabriqué à partir de styrène, un monomère dérivé du pétrole. Il existe deux principaux procédés de fabrication du polystyrène : le polystyrène expansé (EPS) et le polystyrène extrudé (XPS).

#### III.2.9.1. Polystyrène expansé (EPS) :

Polymérisation du styrène : Le styrène est polymérisé pour former des chaînes de polystyrène sous l'effet d'un initiateur chimique et de la chaleur.

Expansion : Les granulés de polystyrène obtenus sont ensuite chauffés et mélangés à un agent d'expansion, généralement du pentane. La pression élevée générée provoque l'expansion des granulés, formant des perles de polystyrène expansé.

Moulage : Les perles de polystyrène expansé sont ensuite moulées dans des moules préformés à la taille et à la forme désirées. La chaleur induit la fusion partielle des perles, qui se lient entre elles pour former la structure finale du produit.

Refroidissement et stabilisation : Les produits moulés sont ensuite refroidis pour durcir et stabiliser leur forme.

#### III.2.9.2. Polystyrène extrudé (XPS) :

Polymérisation du styrène : Le styrène est également polymérisé pour former des chaînes de polystyrène.

Extrusion : Le polystyrène fondu est extrudé à travers une filière, formant une feuille continue de polystyrène.

Expansion contrôlée : Un agent d'expansion, comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), est ajouté à la feuille de polystyrène en fusion pendant le processus d'extrusion. La pression contrôlée permet d'obtenir une expansion contrôlée de la feuille.

Refroidissement et découpe : La feuille de polystyrène expansé est ensuite refroidie, et des lames de coupe la découpent en panneaux de taille souhaitée.

Il est important de noter que le polystyrène est souvent fabriqué à partir de matières premières issues du pétrole, ce qui en fait un matériau dérivé de ressources non renouvelables. Cependant, des recherches sont en cours pour développer des alternatives plus durables, telles que le polystyrène biosourcé à base de matériaux d'origine végétale. [41]

### III.2.10 Collecte et recyclage du polystyrène

Le recyclage est un procédé pour traiter les déchets qui permet de les fabriquer sous une autre forme. Le recyclage et le réemploi permettent d'économiser une grande quantité d'énergie primaire, notamment du pétrole, qui est la principale matière première de la plupart des matières plastiques y compris le polystyrène.

On estime aujourd'hui que 4 % du gisement retrouvera une seconde utilisation en tant qu'emballage. Lorsque la taille des gisements de polystyrène expansé usagé est trop faible ou lorsque les déchets de polystyrène expansé sont souillés, il ne semble pas y avoir de filière de valorisation viable économiquement.

À l'échelle individuelle du consommateur ce déchet fait environ 300 g/an par habitant.

Pour ces déchets ménagers :

En France, ce déchet entre peu dans la liste des matériaux collectés lors du tri sélectif en raison de son caractère diffus, son élimination est assez souvent réalisée par incinération. Son pouvoir calorifique intéresse les centrales thermiques. Concernant les déchets industriels :

Des fabricants d'emballages de PSE français se sont regroupés au sein d'ECO-PSE en 1993 afin, notamment, d'organiser et de développer des filières de recyclage d'emballages professionnels.

En 2010, en France, plus de 12 000 tonnes d'emballages de PSE ont été recyclées, pour une consommation nationale évaluée à 40 200 tonnes, soit un taux de recyclage proche de 30 %. 85 % du PSE collecté est recyclé, après compactage et extrusion, en granulés de polystyrène qui serviront à la fabrication de produits manufacturés en PS (cintres, boîtiers de CD, etc.). Les 15 % restants permettent de recycler le PSE sous sa forme expansée (emballages, blocs et plaques PSE, allègement de sols et de bétons).

Chez les transformateurs de PSE, toutes les chutes de polystyrène expansé sont récupérées et réintroduites, telles quelles, dans le cycle de fabrication du polystyrène expansé. Par ailleurs, propres, dépoussiérés et broyés, les déchets issus des filières de récupération sont mélangés, à hauteur maximum de 30 %, avec des billes neuves de PSE et permettent d'obtenir de nouveaux produits destinés au bâtiment ou à l'emballage (hors alimentaire). [40]

# **Chapitre IV**

## **Techniques expérimentales et préparation des échantillons.**

## **Chapitre IV: Techniques expérimentales et préparation des échantillons**

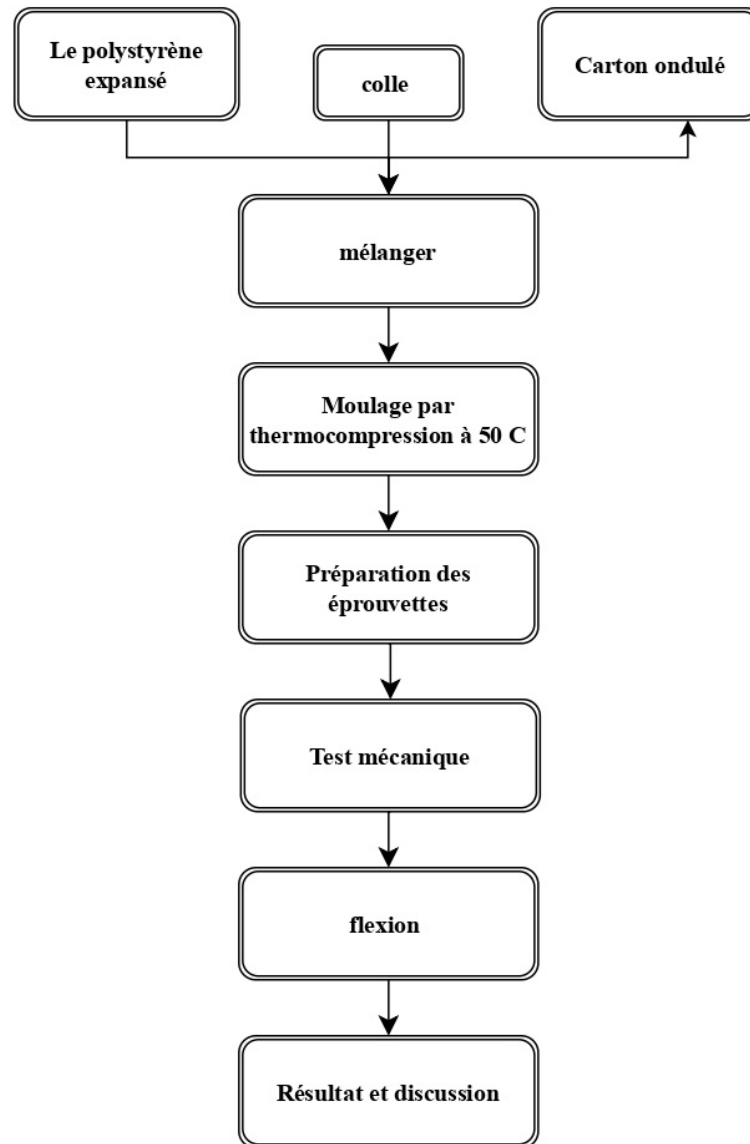
### **IV.1 Introduction**

La prise de conscience croissante des enjeux écologiques et du développement durable a suscité des recherches visant à développer des matériaux composites respectueux de l'environnement. Dans cette optique, notre travail vise à contribuer à la réduction des impacts environnementaux en créant des composites à partir de matériaux recyclables, adaptés à diverses applications.

Dans cette étude, nous avons spécifiquement centré nos efforts sur l'utilisation de déchets de cartons et de polystyrène pour le développement de ces matériaux composites. Nous avons entrepris des recherches approfondies pour formuler, fabriquer et caractériser ces composites afin de garantir leurs performances et leur viabilité. Le présent chapitre résume les travaux effectués dans le laboratoire de moulage au hall technologique (Université Mohamed Boudiaf de M'sila). Afin d'étudier l'effet du traitement et la quantité de charges sur les propriétés mécaniques des composites de POLYSTRENE et CARTON.

La préparation des matériaux passe par les étapes illustrées dans le schéma présenté ci-dessous qui explique l'ordre logique dans lequel se déroulent ces étapes, les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude et la description détaillée de chacune de ces étapes sont expliquées dans ce chapitre.

Les étapes de ce travail sont résumées dans l'organigramme suivant.



## IV.2 Matériaux Et Méthodes

### IV.2.1 Matériaux

Nous utilisons le polystyrène sous forme de base sans recyclage, car nous savons qu'il est également utilisé dans les magasins qui trouvent différents types de polystyrène. Cependant, il est important de souligner que l'absence de recyclage.

Nous utilisons du carton ondulé, que nous avons récupéré auprès du centre de collecte des déchets de papier de notre université. Ce carton ondulé est un matériau largement disponible et recyclable, ce qui en fait un choix idéal pour notre recherche sur les matériaux composites respectueux de l'environnement.

### **IV.2.1.1 Le polystyrène expansé**

Le polystyrène expansé est obtenu par polymérisation du produit de base qui est le STYRENE (granulé translucide).

Ces granulats se présente sous forme de billes sphériques de petit diamètre (1 à 2 mm), contenant 98% d'air et peu de consommateur de matière première, le polystyrène ne contient ni gaz CFC, ni HFC, ni HCFC.

- La densité : la masse volumique apparente  $\rho_{app} = 20 \text{ Kg/m}^3$  et la masse volumique absolue  $\rho_{abs} = 30 \text{ Kg/m}^3$ .
- Absorption d'eau par immersion : en raison de sa structure à cellules fermées, le Polystyrène est caractérisé par sa faible absorption de l'eau.
- Tenue à la chaleur : le polystyrène expansé se ramollit à partir d'une Température  $90^\circ\text{C}$ .



**Figure 0-1 le polystyrène sous forme plaque**



**Figure 0-2 le polystyrène sous forme de granules**

### **IV.2.1.2 Carton ondulé**

Le carton ondulé est un matériau d'emballage composé de plusieurs couches de papier, avec une couche ondulée (appelée "ondulation") prise en sandwich entre deux couches extérieures planes. Cette structure en couches multiples confère au carton ondulé sa rigidité et sa résistance, en lui permettant de supporter des charges plus importantes que le papier ou le carton simple.

Le carton ondulé est apprécié pour sa légèreté, sa résistance, sa flexibilité et sa capacité d'absorption des chocs. Il est couramment utilisé dans l'industrie de l'emballage pour fabriquer des boîtes, des plateaux

de protection, des séparateurs, des cales, etc. Sa structure ondulée lui confère une bonne capacité d'amortissement des chocs, ce qui en fait un matériau populaire pour le transport et la protection des marchandises.

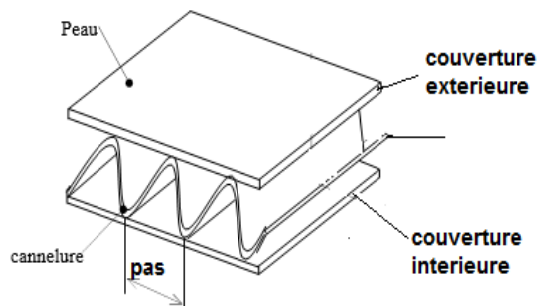


Figure 0-3 Géométrie du carton ondulé

Table IV.2.1 Caractéristiques du carton ondulé

propriétés	Unité	Valeurs
Densité	g/cm <sup>3</sup>	0.035
Point d'auto inflammation	°C	233
Module élasticité	MPa	600
Limite d'élasticité	MPa	14
Déformation à la rupture	(%)	50



(a) Carton en état normal



(b) Découpage de carton



(c) carton mouillé



(d) broyage de carton



(f) Etuvage 70°C/10heures



(g) carton séché

Figure 0-4 les différent processus du traitement de carton.

### **IV.3 Elaboration des composites**

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'étude d'un mélange de carton et de polystyrène afin de développer un matériau composite. Pour réaliser ce mélange, nous avons utilisé une technique spécifique.

La mise en œuvre du matériau est effectuée au sein du laboratoire du moulage au hall technologique (Université Mohamed Boudiaf de M'sila), en utilisant le procédé de moulage par compression à chaud.

En suivant les proportions indiquées dans le tableau suivant :

<b>Proportion</b>	<b>Carton (%)</b>	<b>Polystyrène (%)</b>
Mélange 1	100	0
Mélange 2	95	5
Mélange 3	90	10
Mélange 4	85	15

Chaque échantillon a été préparé en mélangeant de carton avec des granules de polystyrène dans les proportions indiquées.

Pour former les compound, on utilise une presse à chaud constituée de deux panneaux dont la température est contrôlée par un régulateur et ajustée.



Figure IV -5 Malaxeur de mélange

Après avoir mélangé carton et polystyrène en ajoutant 150 g de colle à bois, on met le mélange à l'intérieur d'un moule. La plaque supérieure est ensuite lentement abaissée jusqu'à fermeture et maintenue sous une pression de 40 bars à 50°C pendant 24 heures.



Figure 0-6 carton / polystyrène dans un moule

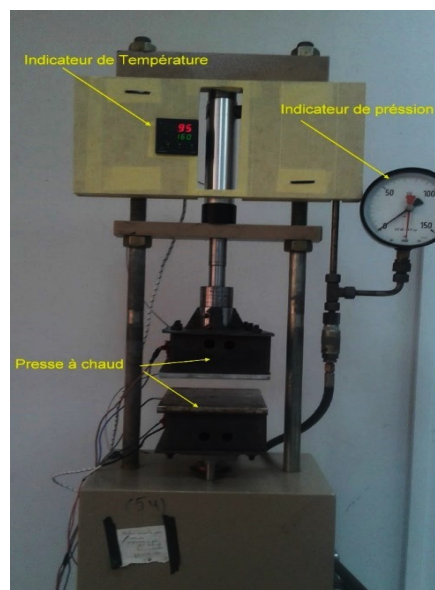


Figure 0-23 Presse à chaud utilisée.

#### IV.4 Préparation des éprouvettes

Pour la réalisation des tests des mélanges Carton ondulé / Le polystyrène expansé, il est nécessaire de préparer des éprouvettes normalisées, qui correspondent au test approprié (flexion). La préparation des éprouvettes se fait selon des critères et des normes (dimension, forme, . . .) à l'aide des appareils (trancheuse a table).



Figure 0-8) Les plaques composites carton / polystyrène

L'appareil que vous décrivez est L'appareil que vous décrivez est une trancheuse à table à découper spécifiquement conçue pour découper des plaques en éprouvettes de dimensions (155x34x20 mm) conformément à la norme ASTM D638-72. Cette norme spécifie les dimensions et les propriétés des éprouvettes utilisées pour réaliser des tests de flexion.



(a) tronçonneuse à table



(b) Découpage des échantillons



(c) Échantillons carton / polystyrène.

Figure 0-9 Equipement pour la préparation des échantillons et des échantillons obtenus.

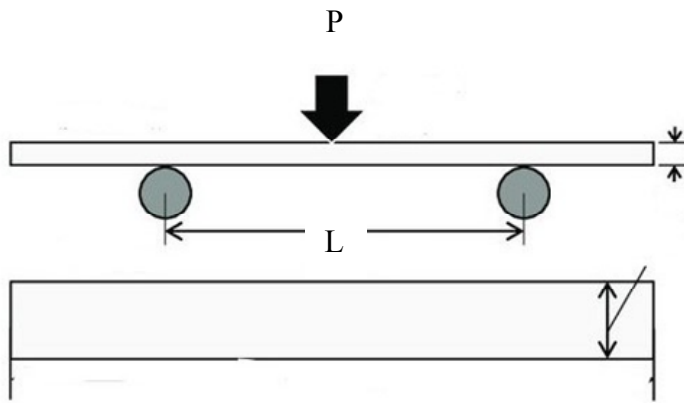
## **IV.5 Techniques de caractérisation des matériaux élaborés.**

### **IV.5.1 Tests mécaniques**

Cette partie décrit les différentes techniques utilisées pour la caractérisation, physique, mécanique et thermique des matériaux élaborés.

#### **IV.5.1.1 Flexion**

Un essai de flexion trois points a également été effectué avec la même machine selon la norme ASTM D 790-03 à une vitesse de 0,5 mm/min.



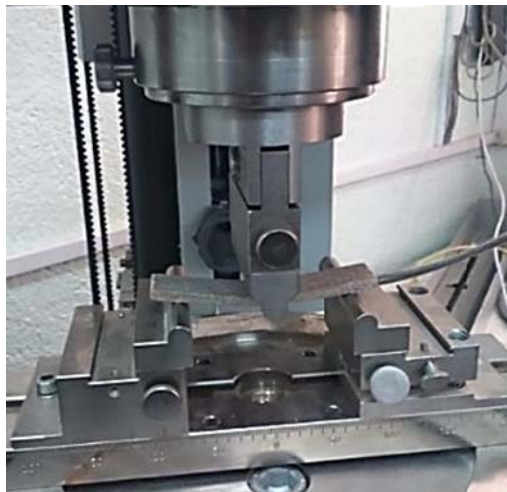
La résistance à la flexion ( $\sigma_f$ ) a été calculée en utilisant:

$$\sigma = \frac{3 P L}{2 b h^2}$$

Où P est la charge (N), L est la longueur de la portée du support (mm), b est la largeur de l'échantillon (mm), et h est l'épaisseur de l'échantillon (mm). Le module de flexion ( $E_f$ ) a été calculé en utilisant:

$$\varepsilon_f = \frac{6 y h}{L^2}$$

y: est le déplacement (mm).



## **Chapitre V: Résultats et discussion**

Dans ce chapitre nous présentés les résultats de tests portant sur le comportement à la flexion de différents échantillons testés de composite de carton et polystyrène.

### V.1. Analyse des propriétés Mécanique

Cette partie de l'étude vise à évaluer les performances mécaniques des composites en Carton/Polystyrène. Les différents matériaux en Carton/Polystyrène, soumis en flexion trois points, ont été contrôlés par l'enregistrement de la courbe charge-déplacement associée ( $P - \delta$ ) à l'aide de machines d'essai universelles/2 kN avec une vitesse de traverse de 0,5 mm/min.

La **Figure V.1** représenté les courbes charge en fonction de la flèche de 3 éprouvettes de composite carton avec 5% de polystyrène. À partir de la superposition de ses courbes, on constate que les échantillons présentent un comportement mécanique similaire .

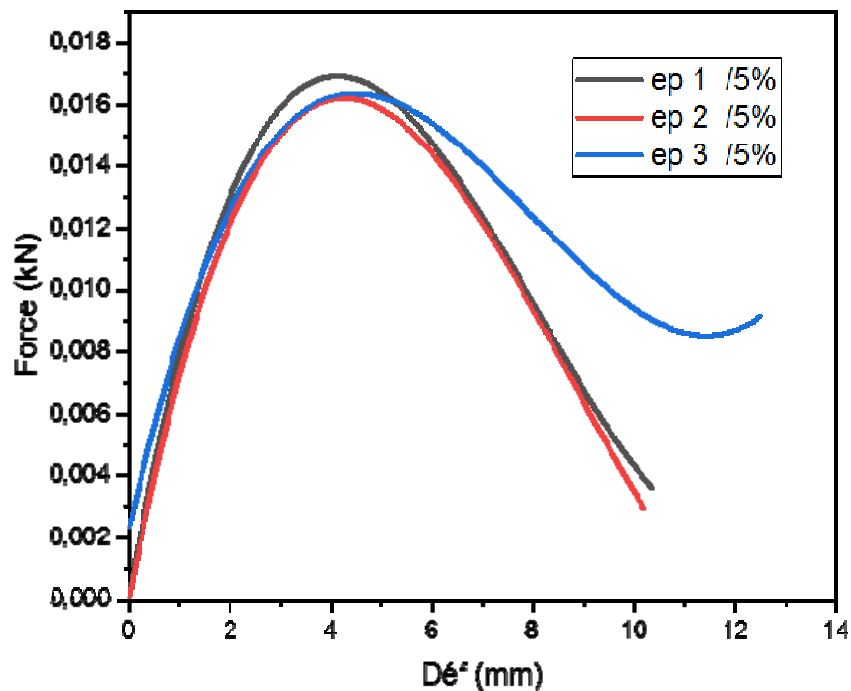


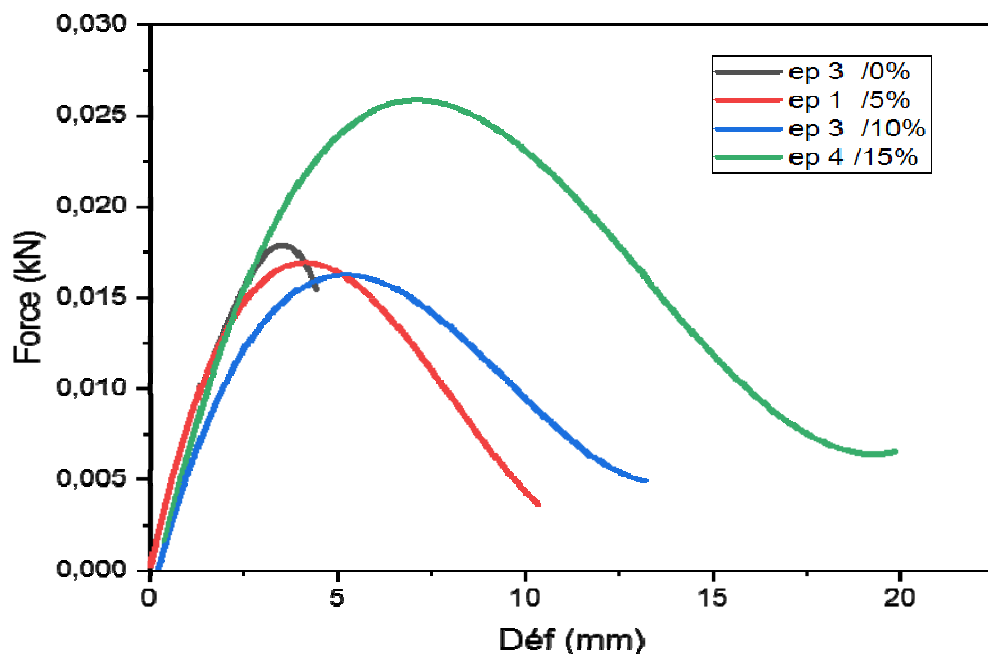
Figure. V. 1. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche

Les courbes de la **Figure V.1** présentaient un comportement contrôlé. Les éprouvettes montrent le même comportement, ce dernier peut s'expliquer par l'homogénéité du mélange en termes de répartition des composés dans les échantillons.

La reproductibilité des expériences est essentielle lors de la validation des résultats. C'est une partie essentielle de la méthode scientifique et un élément très important à justifier la crédibilité des résultats. Ainsi, dans notre travail, la reproductibilité des expériences peut servir de mesure fiable des propriétés de la flexion. Les courbes de la **Figure V.1** ont montré que le comportement charge-déplacement était bien reproduit.

La même reproductibilité a été observée pour d'autres classes de matériaux (0 %, 10 % et 15 %) durant les essais de flexion. Ces résultats suggèrent une bonne reproductibilité.

La **Figure V.2** montre la superposition de la charge appliquée en fonction de la flèche des échantillons des composites Carton /Polystyrène.

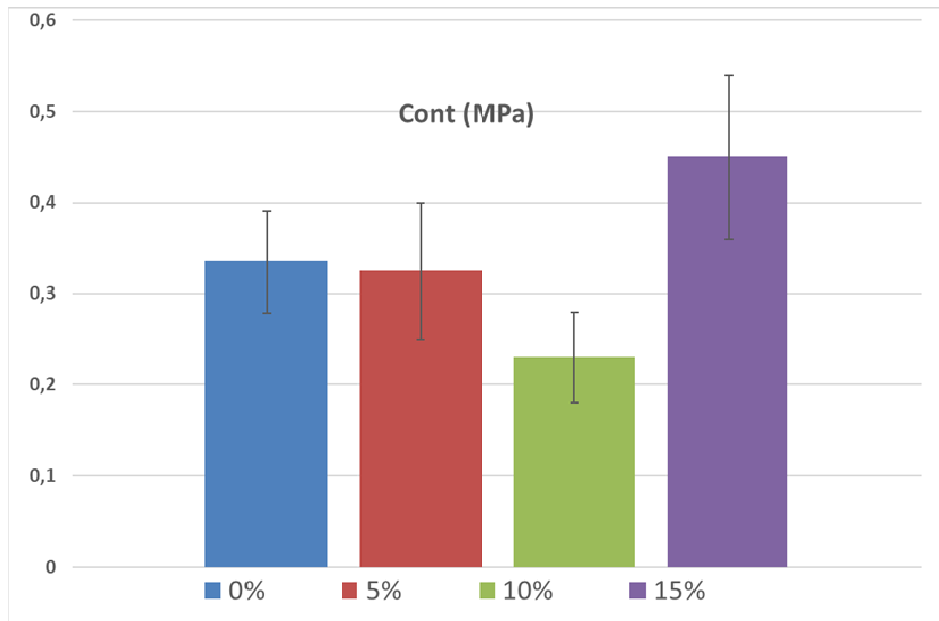


**Figure. V. 2.** Courbes charge en fonction de la flèche de différents échantillons.

Pour des éprouvettes supposées de même dimensions, et selon la superposition des courbes de la **Figure. V. 2**, les constatations suivantes sont enregistrées :

- Les éprouvettes Cartons/Polystyrène ont un comportement similaires ;
- Les éprouvettes en Cartons illustrent un comportement fragile ;
- Les éprouvettes en cartons seul, semble refléter un comportement fragile associé à une flèche très réduite ;
- Au fur et à mesure que le pourcentage du Polystyrène augmente, le déplacement à la rupture en flexion augmente ;
- Cette dernière remarque est fortement liée à la nature de polystyrène qui est susceptible au déformation ;
- Au fur et à mesure que le pourcentage du polystyrène augmente, le charge à la rupture en flexion augmente ;
- Le matériau Cartons/Polystyrène à 15% enregistre les valeurs optimales en flexion trois points ;
- Des déformations jusqu'au 20mm et plus sont enregistrées ;

L'histogramme de la **Figure. V. 3** présente l'évolution de la contrainte à la rupture en flexion des Cartons/Polystyrène. La contrainte à la rupture du matériau Cartons/Polystyrène 15 % de polystyrène atteint une valeur maximale de l'ordre de  $\sigma=0.45\text{MPa}$ . Les trois autres matériaux à 10% et 5% et 0% de Polystyrène sont significativement plus faibles ( $\sigma=0.230\text{MPa}$ ,  $\sigma=0.315\text{MPa}$  et  $\sigma=0.320\text{MPa}$  respectivement).



**Figure V.3.** Évolution des contraintes pour les composites.

## V.2. Analyse des Faciès de rupture

Des photos sont prises après rupture des différentes éprouvettes pour analyse des faciès de rupture (**Figure V.4**).

- Une bonne adhésion entre le polystyrene et les morceaux de papiers par l'intermédiaire de la colle ;
- La répartition des constituant est reussi suite à l'observation des différents photos ;
- Les bulles de polystyrene concervent toujours leur forme sphérique après le processus d'elaboration, cela semble améliorer le caractère de déformation du produit ;



**Figure V.4.** Analyse des faciès de rupture : a) Matériau à 0% , b)Matériau à 5% ,  
c) Matériau à 10% et e) Matériau à 15%

# **Conclusion général**

## *Conclusion générale*

A travers cette étude, les déchets de carton et de polystyrène ont été mis en lumière afin d'être recyclés et de contribuer à une solution environnementale et durable pour réduire les déchets et la consommation de ces ressources. Ces deux éléments ont permis de développer un nouveau composé et d'étudier certaines de ses propriétés mécaniques, leur permettant d'être utilisés dans différentes applications selon les besoins.

L'étude de l'essai de flexion pour obtenir des résultats liés aux propriétés mécaniques des échantillons nous a permis d'atteindre les résultats suivants :

- Les éprouvettes en Cartons illustrent un comportement fragile ;
- Les éprouvettes en cartons seul, semble refléter un comportement fragile ;
- Au fur et à mesure que le pourcentage du Polystyrène augmente, le déplacement à la rupture en flexion augmente ;
- Cette dernière remarque est fortement liée à la nature de polystyrène qui est susceptible au déformation ;
- Le matériau Cartons/Polystyrène à 15% enregistre les valeurs optimales en flexion trois points ;

En ce qui concerne les côtés montrés par les résultats, la contrainte de l'échantillon 15% de polystyrène a atteint une valeur maximale comprise entre  $= 0,45$  MPa, et quant à la valeur de flexion, elle a été estimée à environ 20 mm pour les échantillons qui contenaient 15% de polystyrène.

En perspective, une étude thermique du produit Cartons/Polystyrène peut être envisagée afin d'utiliser ce produit dans le domaine d'isolation des constructions en Génie Civil.

# **Références bibliographiques**

*Références bibliographiques*

- [1] AFNOR (2012) Caractérisation du déchet-Essai de lixiviation d'un déchet solide.
- [2] MOHAMED Z. Étude de l'adsorption dans un système liquide-solide : Solution d'ion Dicyanoaurate-charbon actif. Article disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel00845070/document>, 04/04/2021.
- [3] Balet, J.-M., Gestion des déchets-5e éd2016: Dunned.
- [4] Moletta, R., Le traitement des déchets2009: Lavoisier.
- [5] Djemaci, Analyse et prospective et éléments d'efficacité. These de doctorat, 2012.B., La gestion des déchets municipaux en Algérie. Université de Rouen, France,
- [6] REDJAL OMAR. Phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de Réserve de l'écosystème- Exemple de Constantine - ». Mémoire de magistère. Université de Mentouri.2005.
- [7] [www.epa.gov/recycle/benefits-recycling](http://www.epa.gov/recycle/benefits-recycling).
- [8] "Waste Management Problèmes and Prospects" publié dans le journal "Environmental Science and Pollution Research" (<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1715-5>).
- [9] (<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.014>).
- [10] Direction de l'environnement, service de l'environnement urbain et urbain et industriel bureau de promotion des activités de collecte récupération et traitement des déchets ménagers, assimilés et inertes de Bejaia, 2014.
- [11] Virolle Jean-Bernard. (2018, Déc.) metalblog. [Online].
- [12] <https://metalblog.ctif.com/2018/12/10/les-technologies-de-tri-et-de-recyclage-des-metaux>.
- [13] Logo de recyclage de Möbius.
- [14] CHEKROUN Mehdi. Développement d'une application de détection automatique des objets pour Un système de recyclage (30/ 06/2022).
- [15] Miri Mohammed Riad. Etude d'une ligne de recyclage du plastique (Bac horizontal et extrudeuse).2017.
- [16] OorekaMAISON. [Online]. BEMMAMI Kamel-Eddine. Conception et Réalisation d'une Unité de Recyclage –Plastique. 2016 – 2017.
- [17] Site web [www.fostplus.be](http://www.fostplus.be).

- [18] J. Bourgois, B. Derby, V. Laforest, Traitements chimiques et physico-chimiques des déchets, Les techniques de l'Ingénieur Vol., article 2070, 2000.
- [19] <http://recuperation-fer-metaux.com/impacts-du-recyclage-sur-lenvironnement/>.
- [20] N, Cherfa. Résistance à l'impact d'un polypropylène recyclé, Thèse Magister, Université M'hamedBougara de Boumerdès, 2007.
- [21] sur <https://www.techno-science.net/glossairedefinition/Papiercarton.html>.
- [22] MAAMRIA Kholoud. Devenir des déchets papiers et carton dans la wilaya de Guelma. Juin 2022.
- [23] <https://sites.google.com/site/jeanrostandtechnologie/matieres-premieres-etmateriaux/proprietes-des-materiaux/proprietes-du-carton>.
- [24] J.L. Multon et G. Bureau jeudi 8 novembre 2012.
- [25] A Martin - Vie des Arts, 2010. Marcel Baribeau : jubilation des surfaces entrecroisées.
- [26] Guide Pratique d'Utilisation du carton | IGGESUND PAPERBOARD.
- [27] C Lomba - Anne Marie Arborio et al, 2008 - academia.edu. Avant que les papiers ne rentrent dans les cartons : usages ethnographiques des documents d'entreprises.
- [28] J Viguié, PJJ Dumont, SR du Roscoat, P Vacher... - Revue ATIP, 2011 - researchgate.net.
- [29] B. Philipp, D. Klemm, T. Heinze, U. Heinze et W. Wagenknecht, Comprehensive Cellulose Chemistry éditions Wiley-VCH 1998.
- [30] Tatrai E, Adamis Z, Bohm U et al – Role of cellulose in wood dust-induced. fibrosing alveo-bronchiolitis in rat.J, Appl. Toxicol. 1995 ; 15(1) : 45-48.
- [31] MAHIOUT Soraya, Mettre en valeur ou bannir le polystyrène-Approche dans un cadre de développement durable, thèse de doctorat, université SHERBOCK, 2014.
- [32] Sfeir, J-M. et Vignes J-L. (2008). Éthylbenzène C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>, Styrène C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>. Société Chimique de France. Mis à jour, en septembre 2008.
- [33] Technique de l'Ingénieur (s. d.). PS : élaboration et propriétés. Généralités sur le polystyrène. <http://www.techniques-ingenieur.fr/fiche-pratique/materiaux-th11/abc-plastiques-dt50/ps-e>.
- [34] Maul, J., Frushour, B. G., Kontoff, J. R., Eichenauer, R., Orr, K. H., Schade C. (2012). Polystyrene and styrenecopolymers. Ullmann'sencyclopedia of industrialchemistry. Vol. 29, p. 475- 522.laboration-et-proprietes-0728/ (Page consultée le 14 October 2013).

- [35] Heim, P. Vuilleman, B., Machon, J-P., Seguela, B., Wirth R. et Verney, V. (2012). Polymères styréniques. In Carrega, M. et Verney, V. et coll. Matière plastique. Propriété, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères (Chap. 8, p. 191-209). 3ème Édition.
- [36] Heim P., Linarès, O. et Hym, L. (2002). Polystyrène et copolymère de styrène. Technique de l'Ingénieur. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/matieres/thermoplastiques-monographies-42147210/polystyrene-et-copolymeres-de-styrene-am3340/> (Page consultée le 14 octobre 2013).
- [37] NOVA CHEMICAL®, le stockage et la manutention du polystyrène expansé, guide de sécurité, France, 2005.
- [38] HEIM Philippe, LINARÈS Olivier, HYM Laure, polystyrène et copolymères de styrène, techniques de l'ingénieur, Atofina du groupe Total, France, 2002, référence internet AM3340.
- [39] CSEMP, emballages de matières plastiques, chambre syndicale des emballages des matières plastique, France, 2002.
- [40] .P, Arlie. Les thermoplastiques de grand tonnage, pp27-34, 2ième édition, Editions Technip, 1987.

## Résumé

L'étude réalisée démontre avec succès la possibilité de créer un matériau composite durable et respectueux de l'environnement à partir de déchets de cartons et de polystyrène, deux matériaux largement utilisés mais qui posent des problèmes en matière de gestion des déchets. Les résultats obtenus révèlent que ce matériau composite présente des performances prometteuses en termes de durabilité et de résistance mécanique, ce qui lui confère une grande polyvalence pour de nombreuses applications industrielles. De plus, son utilisation permettrait de réduire les déchets tout en favorisant des pratiques plus durables sur le plan environnemental. Néanmoins, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les proportions de mélange et explorer d'autres propriétés spécifiques de ce matériau composite.

## Abstract:

The study successfully demonstrates the feasibility of developing a durable and environmentally-friendly composite material from cardboard and polystyrene waste, two commonly used materials that pose challenges in waste management. The results obtained reveal that this composite material exhibits promising performance in terms of durability and mechanical strength, making it highly versatile for numerous industrial applications. Furthermore, its utilization would contribute to waste reduction and promote more sustainable practices in environmental management. However, further research is needed to optimize the mixing ratios and explore other specific properties of this composite material.

## ملخص

توضح الدراسة إمكانية تطوير مادة مركبة متينة وصديقة للبيئة من نفايات الكرتون والبوليسترين، وهما مادتان يتم استخدامهما على نطاق واسع وتواجهان تحديات في إدارة النفايات. تكشف النتائج المحصل عليها أن هذه المادة المركبة تظهر أداءً واعدًا من حيث المتانة والقوة الميكانيكية، مما يجعلها متعددة الاستخدامات في العديد من التطبيقات الصناعية. علاوة على ذلك، سيسهم استخدامها في تقليل النفايات وتعزيز ممارسات أكثر استدامة في إدارة البيئة. ومع ذلك، يتطلب الأمر إجراء مزيد من البحوث لتحسين نسب الخلط واستكشاف خصائص أخرى محددة لهذه المادة المركبة.