



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie des matériaux

Présenté par :

Bouaya Dhiya El Islam & Ladjal Mohammed El Amine

Theme

*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
MOUSSAOUI Nafissa	MCA	Président
ROKBI Mansour	Professeur	Encadreur
MEKIDECHE Salih	Doctorant	Co-Ecadreur
ZEGGANE Hawari	MCB	Examineur

Dédicaces

Ce projet fin d'étude est dédié à mes chers parents et qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études. Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet fin d'étude représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace. C'est un moment de plaisir de dédier cet œuvre, à mes belles sœurs, de reconnaissance et de gratitude pour le dévouement et les sacrifices dont vous avez fait toujours preuve à mon égard Et finalement, à mes ami(e)s qui n'ont jamais cessé(e) de me soutenir .

Bouaya Dhiya El Islam

Je saisis cette opportunité pour consacrer ce modeste travail :

À ma chère amie qui m'a apporté de nombreuses leçons.

À Ma mère celui qui m'a enseigné à faire face à la vie en arborant un sourire. Mes parents ; mes frères ; Au nom de ma sœur.

À tous mes proches et ma famille.

À tous mes amis en leur nom propre.

À tous ceux qui m'ont soutenu de près, de loin ou de loin.

Ladjal Mohammed El Amine

Remerciements

On exprime notre gratitude envers Dieu le tout-puissant pour nous avoir accordé la santé et la volonté de commencer et de conclure ce mémoire. A la fin de ce travail, nous souhaitons exprimer notre gratitude et à remercier.

Nous remercions notre encadreur, Mr ROKBI Mansour, et notre Co-encadreur, Mr MEKIDACHE Salih, pour avoir accepté de superviser ce mémoire et pour leur soutien, leurs conseils précieux et leurs orientations qu'ils nous ont prodigués tout au long de la journée.

Pendant la période de réalisation de ce travail, nous vous sommes extrêmement reconnaissantes de vous intéresser à ce projet.

Nous parents nous exprimant notre gratitude pour leur soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers tous les membres du personnel du hall d'entrée de l'Université de M'sila, notamment KHALIDOUN Abdelraouf.

Nous souhaitons également exprimer notre respect et notre gratitude envers tous les enseignants qui ont apporté leur contribution à notre éducation, depuis le primaire jusqu'à l'université.

Nous souhaitons aussi exprimer notre gratitude envers tous les professeurs qui ont apporté leur contribution à notre formation et à notre éducation tout au long de nos années de première année.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont apporté leur contribution, qu'elle soit directe ou indirecte.

Tout près ou loin de ce travail.

Table des matières

Dédicaces	
Remerciements	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I :.....	4
Généralité sur les déchets	4
I.1.Introduction.....	5
I.2. Définition du déchet.....	5
I.2.1. Scientifiquement.....	5
I.2.2. Economique.....	5
I.2.3. Environnemental	6
I.2.4. Sanitaire.....	6
I.3. Histoires des déchets.....	6
I.4. Classification des déchets	6
I.4.1. Déchets municipaux	7
I.4.2. Déchets dangereux	7
I.4.3. Déchets non dangereux	8
I.4.4. Déchets de construction et de démolition	8
I.4.5. Déchets d'Activités Économiques	9
I.4.6. déchets organiques	9
I.5. Collecte des déchets	10
I.6. Avantages et Inconvénients des déchets	10
I.7.Inconvénients des déchets	10
I.7.1. Pollution de l'environnement.....	10
Chapitre II :	12
Recyclage.....	12
II.1. Introduction	13
II.2. Définition du recyclage	13
II.3. Principe du recyclage.....	13
II.4. Histoire du recyclage	14

II.5. Principe du recyclage Principe du recyclage	14
II.6. Type de recyclage	15
II.6.1. Recyclage chimique.....	15
II.6.2. Recyclage mécanique	15
II.6.3. Recyclage organique.....	15
II.7. A avantages et inconvénients du recyclage	15
II.7.1. Avantages	15
II.7.2. Inconvénients	16
II.8. Indication du recyclage.....	17
II.9. Impacts du recyclage sur l'environnement	17
II.10. Statistiques sur le recyclage.....	18
II.11. Type De Déchets Recycle.....	19
II.11.1. Recyclage des plastiques	19
II.11.2. Recyclage des verres	19
II.11.3. Recyclage des papiers.....	20
II.11.4. Recyclage du bois	21
I.11.5. Recyclage des métaux.....	22
II.1.1.6. Recyclage de l'acier.....	23
Chapitre III.....	23
Carton et Polystyrène.....	24
III.1 Carton	25
III.1.1 Introduction	25
III.1.2 Définition de carton.....	25
III.1.3 L'histoire du carton.....	25
III.1.5. Avantages et inconvénients du carton papier	26
III.1.5.1. Avantages	26
III.1.5.1.1. Principaux avantages du matériau carton	26
III.1.5.1.2. Avantages du carton dans le milieu agroalimentaire	26
III.1.5.1.3. Avantages du carton dans la construction	27
III.1.5.1.4. Inconvénients.....	27
III.1.8. Propriétés de carton.....	28
III.1.9. Processus d'obtention du papier et les produits en papier carton	28
III.2. Polystyrène	28

III.2.1. Introduction	28
III.2.2. polystyrène	29
Chapitre IV Techniques expérimentales et préparation_Des échantillons.....	34
IV.1. Introduction	35
IV.2. Matériaux Et Méthodes IV.2.1. Matériaux	35
IV.2.1.1. Polystyrène expansé	36
IV.2.1.2. Carton en forme d'ondulation.....	37
IV.3. Elaboration des composites.....	39
IV.4. Préparation des éprouvettes	41
IV.5. Techniques de caractérisation des matériaux élaborés.....	44
IV.5.1. Tests mécaniques.....	44
IV.5.1.1 Flexion	44
Chapitre V	46
Résultats et discussions	46
V.1.Analyse des propriétés mécanique	47
V.1.1. Effet de l'ajout des grains polystyrène	48
V.1.2. Effet de pourcentage des grains polystyrène.....	49
V.1.3. Effet de taille des grains sur le comportement des plaques.....	50
V.2. Analyse du comportement mécanique des matériaux.....	51
Conclusions générales	55
Références bibliographiques.....	58
Résumé	59

Liste des figures

Figure.I.1. Déchets municipaux.	7
Figure.I.2-Déchets dangereux.	7
Figure.I.3. Déchets non dangereux.....	8
Figure I.4. Déchets de construction et de démolition.....	8
Figure I.5.Déchets d'Activités Économiques.	9
Figure.I.6. déchets organiques.....	9
Figure II.1. Logo de recyclage.	13
Figure.II.2. Recyclage des plastiques.....	19
Figure.II.3. Recyclage des verres.	20
Figure.II.4. Recyclage des papiers.	21
Figure.II.5. Recyclage du bois.	21
Figure.II.6. Recyclage des métaux.....	22
Figure.II.7. Recyclage de l'acier.	23
Figure.III.1. Carton.....	25
Figure III.2. Polystyrène.....	29
Figure III.03. Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène.	30
Figure.III.04. Étapes du recyclage du polyester.	33
Figure.IV.01. Déchets de polystyrène	37
Figure.IV.02. Le polystyrène sous forme de granules.	37
Figure IV.03. Géométrie du carton ondulé	38
Figure IV.04. Les différents processus du traitement de carton.	40
Figure IV.05 Malaxeur <i>de mélange</i>	41
Figure IV.06. Presse à chaud utilisée	41
Figure IV.07.-Plaques composites d'étude :.....	42
Figure IV.08. Dimensions de l'éprouvette de flexion.....	43
Figure IV.09. Tronçonneuse à table.	43
Figure IV.10. Equipement pour la préparation des éprouvettes et des éprouvettes obtenus....	43
Figure.11. IV. Schéma de l'éprouvette de flexion	44
Figure.12. IV. Dispositif pour la flexion trois points.	45
Figure.V.01. Types de rupture :.....	47

Figure.V.2. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche :	47
Figure.V.3. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche :	48
Figure.4. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche :	49
Figure.5. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche :	50
Figure.6. Représentation de l'effet de remplissage.	51
Figure V.7. Analyse des faciès de rupture :.....	53

Liste des Tableaux

Tableau II.1. : Indication du recyclage.....	Erreur ! Signet non défini.
Table.IV.01. Caractéristiques du carton ondulé.	Erreur ! Signet non défini.
Table.IV.02 proportions (carton et de polystyrène).	Erreur ! Signet non défini.
Tableau V.1 : comparaison des propriétés mécaniques en flexion.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction générale

Introduction générale

Le développement de nouveaux matériaux composites présente une stratégie révolutionnaire pour répondre aux besoins des utilisateurs en termes d'efficacité, de rentabilité et de longévité.

En fusionnant habilement divers composants, les scientifiques ont la capacité de créer des matériaux qui dépassent les qualités des substances conventionnelles, introduisant ainsi de nouvelles possibilités dans un large éventail d'industries, notamment l'emballage, la construction et l'automobile.

En réalisant des progrès significatifs dans le domaine de la science des matériaux, ces avancées contribuent non seulement au progrès de la discipline, mais offrent également des solutions efficaces aux problèmes environnementaux urgents.

Le carton-pâte, une substance durable et légère, trouve de nombreuses applications dans la production de matériaux d'emballage tels que des boîtes, des cartons et des plateaux.

Le carton est composé de plusieurs couches de papier empilées et collées ensemble. Ce matériau d'emballage offre de nombreux avantages, notamment sa légèreté qui simplifie le transport et la manipulation.

De plus, le carton est une option rentable par rapport aux matériaux d'emballage alternatifs. De plus, il est respectueux de l'environnement grâce à sa recyclabilité et sa biodégradabilité, ce qui en fait un choix durable pour l'environnement.

Le polystyrène, un polymère dérivé du styrène, est un matériau polyvalent présent dans de nombreux articles courants tels que les emballages alimentaires, les gobelets jetables, les contenants de stockage et les jouets en plastique.

Sa légèreté, sa durabilité et sa flexibilité le rendent très recherché, car il peut être moulé sous différentes formes et tailles.

Chapitre 1 : Ce premier chapitre présente une brève introduction au sujet des déchets en général et aborde les fondements de la gestion des déchets. Il traite des principes de gestion des déchets en insistant sur l'importance du tri sélectif et de la collecte différenciée.

Chapitre 2 : Ce chapitre traite du recyclage général. Contient des informations sur les avantages environnementaux du procédé de recyclage.

Chapitre 3 : Ce chapitre se divise en deux parties. La première partie expose l'ensemble du carton, tandis que la deuxième partie se concentre spécifiquement sur le polystyrène. Il y a des détails sur les caractéristiques, les propriétés et les utilisations de chaque matériau dans ces sections.

Chapitre 4 : Ce chapitre explique les matériaux employés dans l'étude, incluant les déchets de carton et de polystyrène. Il expose également les méthodes expérimentales employées pour fabriquer le matériau composite et réaliser les essais.

Chapitre 5 : Ce chapitre traite des résultats des différents essais effectués sur le matériau composite. Il est possible d'inclure des études sur les propriétés mécaniques.

Conclusion générale : Ce dernier chapitre résume les principales conclusions de l'étude. Il peut également mettre en évidence les avantages potentiels de l'utilisation du composite. Des recommandations pour de futures recherches sont disponibles sur les panneaux composites/polystyrène.

Chapitre I :

Généralité sur les déchets

I.1.Introduction

Les déchets visent à créer une économie circulaire qui favorise la conservation des ressources et réduit l'impact environnemental. En optimisant l'efficacité des matières premières et en maximisant les taux de recyclage, l'accent est mis sur l'élimination des déchets résiduels qui ne peuvent plus être utilisés.

Cette approche prévoit un cycle de matières fermé dans lequel les déchets sont convertis en ressources précieuses.

L'agriculture urbaine est une stratégie de planification urbaine durable pour aborder les questions de ressources telles que l'efficacité physique et la production alimentaire.

Grâce à des initiatives telles que l'agriculture urbaine et la récupération des ressources, des efforts sont déployés pour gérer efficacement les déchets, promouvoir les nutriments du sol et soutenir la biodiversité.

I.2. Définition du déchet

I.2.1. Scientifiquement

En termes scientifiques, on peut définir les déchets comme des substances ou des objets qui sont abandonnés ou rejetés car ils ne sont plus directement utilisés par leurs propriétaires ou leurs producteurs. Cette définition couvre un large éventail de matériaux, qu'il s'agisse de déchets organiques ou de déchets industriels et électroniques.

La gestion des déchets, aussi désignée sous le nom de science des déchets, se concentre sur les méthodes de production, de collecte, de traitement, de transport et d'élimination des déchets. On peut classer les déchets en différentes catégories en fonction de leur origine, de leur composition et de leur dangerosité [1].

I.2.2. Economique

Dans le contexte de l'économie circulaire, on peut saisir la définition économique des déchets en mettant l'accent sur la minimisation des déchets et la valorisation des ressources. Dans ce cadre, les déchets sont souvent considérés comme des "ressources non utilisées" ou des "intrants non exploités". Une source courante pour cette perspective est la littérature académique sur l'économie circulaire et la gestion des déchets. Déchets dans le contexte d'une économie circulaire et met en avant l'idée que les déchets peuvent être considérés comme des opportunités économiques plutôt que des charges. Il propose une vision économique dans laquelle les déchets sont minimisés grâce à des pratiques de conception innovantes, à la réutilisation des produits et à la récupération des matériaux [2].

I.2.3. Environnemental

Du point de vue environnemental, les déchets peuvent être définis comme des substances, des matériaux ou des objets dont la mauvaise gestion peut avoir des effets négatifs sur l'environnement, la santé humaine ou les écosystèmes. Un point de référence important dans ce contexte est la hiérarchie des déchets, un concept fréquemment utilisé dans la gestion environnementale [3].

I.2.4. Sanitaire

Les déchets sanitaires sont tous des déchets provenant d'activités médicales. Cela comprend un large éventail de substances, telles que des injections et des aiguilles usagées, des produits chimiques, des médicaments périmés, du matériel médical périmé, des tissus et des organes, des cultures microbiennes, des produits sanguins, des objets tranchants et des objets contaminés par du sang [4].

I.3. Histoires des déchets

Longtemps les hommes ont confié à la nature le soin de digérer leurs déchets. Ce qui ne pouvait être utilisé pour nourrir les animaux de basse-cour et les porcs était enfoui, brûlé ou servait à faire de l'engrais. Mais, avec le développement de l'urbanisation, le cycle naturel a été rompu.

Et, pendant près de 1 000 ans les hommes ont vécu dans des villes dont la propreté et l'hygiène étaient proches de celle d'une porcherie. Les ordures de chacun étaient tout si amplement jetées ou entassées sur la voie publique.

Il faut attendre le siècle dernier pour que l'hygiène publique devienne une véritable préoccupation. Les réseaux d'eau potable et de tout-à-l'égout font alors, peu à peu, leur apparition. Dans le même temps, la quantité de déchets difficilement biodégradables augmente. Elle est liée à la fabrication de produits de synthèse faisant appel à des matières chimiques.

Les grandes agglomérations se sont organisées pour lutter contre la prolifération des détritits. On en trouve trace dès le Moyen Age, avec la publication de décrets royaux demandant aux habitants des villes de transporter les immondices hors des enceintes de la Cité [5].

I.4. Classification des déchets

La classification des déchets est souvent déterminée par leur origine, leur composition et leur dangerosité. Les références les plus couramment utilisées pour la classification des déchets proviennent de documents émis par des organisations gouvernementales ou internationales. La classification peut varier d'un pays à l'autre en fonction des réglementations locales [3].

I.4.1. Déchets municipaux

Déchets provenant des ménages et des entreprises qui sont similaires à ceux des ménages, Les déchets municipaux (**Fig.I.1**), également appelés déchets ménagers, sont les déchets générés par les ménages et les activités similaires. Ces déchets proviennent généralement des foyers, des écoles, des bureaux, des restaurants et d'autres établissements non industriels. Les déchets municipaux comprennent une variété de matériaux, tels que les déchets alimentaires, les emballages, les papiers, les plastiques, les textiles, les déchets de jardin, et d'autres articles jetés dans la vie quotidienne [3].



Figure.I.1. Déchets municipaux.

I.4.2. Déchets dangereux

Déchets qui présentent des propriétés dangereuses (**fig.I.2**), en raison de leur toxicité, de leur inflammabilité, de leur corrosivité ou de leur pouvoir infectieux [3].

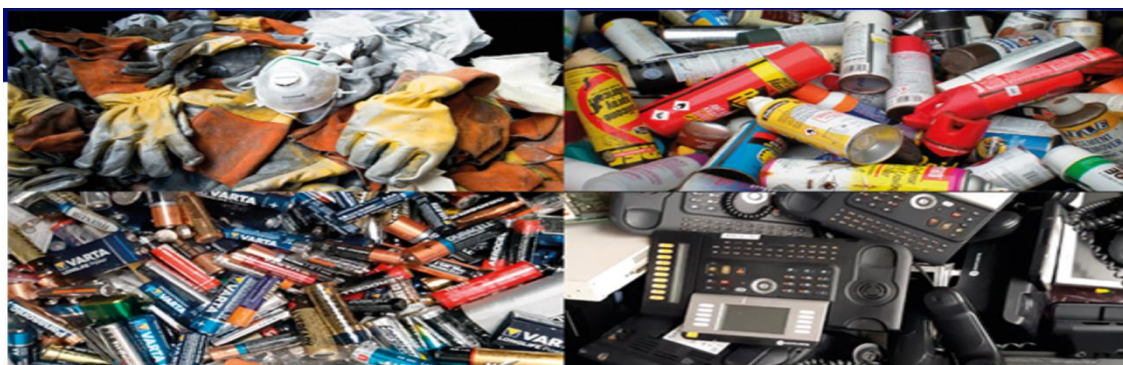


Figure.I.2-Déchets dangereux.

I.4.4. Déchets de construction et de démolition

Les déchets de construction et de démolition (**fig.I.4**), font référence aux matériaux générés lors de la construction, de la rénovation, de la démolition et de la déconstruction de bâtiments et d'infrastructures. Ces déchets peuvent inclure une variété de matériaux, tels que le béton, le bois, les métaux, les plastiques, les tuiles, les briques, etc. [3].



Figure I.4. Déchets de construction et de démolition.

I.4.5. Déchets d'Activités Économiques

Produits par des entités non ménagères, la responsabilité de leur gestion incombe au producteur initial. Ce dernier peut conclure des contrats avec des prestataires privés pour l'enlèvement et la gestion des déchets, conformément aux exigences réglementaires sur le tri des déchets des professionnels.

En règle générale, les déchets des activités économiques (**fig.I.5**), ne relèvent pas du service public de gestion des déchets. Toutefois, les collectivités peuvent offrir ce service aux professionnels pour des types spécifiques de déchets appelés "assimilés". Ces déchets, par exemple, les "déchets ménagers et assimilés", peuvent bénéficier de cette prise en charge, sous réserve de limites quantitatives fixées par les collectivités [3]



Figure I.5. Déchets d'Activités Économiques.

I.4.6. déchets organiques

Les déchets organiques (**fig.I.6**), se réfèrent à des déchets d'origine biologique, tels que les résidus alimentaires, les déchets de jardin, les déchets de cuisine, et d'autres matières dégradables [3].



Figure.I.6. déchets organiques.

I.5. Collecte des déchets

Le tri des déchets est crucial pour plusieurs raisons, notamment la conservation des ressources naturelles, la réduction de la pollution et la promotion de l'économie circulaire. Voici quelques points clés sur l'importance du tri des déchets :

- Réduction des déchets enfouis et des émissions de gaz à effet de serre.
- Conservation des ressources naturelles et promotion du recyclage.
- Réduction de la pollution et préservation de l'environnement.
- Promotion de l'économie circulaire et création d'emplois verts.
- Prévention de la contamination des sols et des cours d'eau.

Le tri des déchets contribue directement à la réalisation des objectifs développement durable notamment ceux liés à la consommation et à la production durables, à la lutte contre le changement climatique, et à la préservation de la vie aquatique et terrestre. Ces références offrent une vue d'ensemble de l'importance du tri des déchets du point de vue environnemental et socio-économique [6].

I.6. Avantages et Inconvénients des déchets

Il est important de noter que l'information sur les avantages et les inconvénients des déchets provient souvent de sources diverses et peut être synthétisée à partir de rapports, d'études et de publications provenant d'organisations gouvernementales, d'organismes internationaux, d'instituts de recherche, etc. Voici une présentation générale avec des références illustrant certains des avantages et inconvénients des déchets :

a) Ressources recyclées

La dématérialisation signifie utiliser moins de ressources naturelles, en utilisant plus de ressources recyclées et en prolongeant la vie de produits [7].

b) Énergie à partir des déchets

La récupération d'énergie à partir des déchets désigne un processus de création d'énergie sous la forme d'électricité ou de chaleur par l'incinération d'une source de déchets [7].

I.7. Inconvénients des déchets**I.7.1. Pollution de l'environnement**

La pollution de l'environnement est un problème mondial complexe, influencé par diverses activités humaines. Cette pollution peut être causée par diverses activités humaines, notamment l'industrie, l'agriculture, la production d'énergie, le transport et la gestion des déchets. Voici une vue d'ensemble des principaux types de pollution de l'environnement [8].

1) Pollution de l'air

Causes : Émissions industrielles, émissions de véhicules, combustion de combustibles fossiles [8].

Effets : Problèmes respiratoires, maladies cardiovasculaires, acidification des sols et des eaux [8].

2) Pollution de l'eau

Causes : Rejets industriels, déversements d'hydrocarbures, déchets agricoles, produits chimiques [8].

Effets : Contamination de l'eau potable, dégradation des écosystèmes aquatiques, menace pour la santé humaine [8].

3) Changements climatiques

Causes : Émissions de gaz à effet de serre provenant de la combustion de combustibles fossiles [8].

Effets : Augmentation des températures, fonte des glaciers, événements climatiques extrêmes [8].

La lutte contre la pollution de l'environnement nécessite des efforts concertés au niveau mondial, des politiques environnementales solides, et l'adoption de pratiques durables dans tous les secteurs de la société. Des initiatives telles que la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la gestion responsable des déchets, et la transition vers des sources d'énergie renouvelable sont essentielles pour atténuer les impacts de la pollution environnementale [8].

Chapitre II :

Recyclage

II.1. Introduction

Dans un monde où la prise de conscience environnementale est devenue cruciale, le recyclage émerge comme l'une des solutions les plus prometteuses pour atténuer les effets néfastes de la surconsommation et de la production de déchets. En effet, le recyclage ne se limite pas à une simple pratique de gestion des déchets, mais incarne un véritable engagement en faveur de la préservation de notre planète et de notre avenir. Ce chapitre se propose d'explorer en profondeur l'importance du recyclage dans la société contemporaine, en mettant en lumière ses avantages écologiques, économiques et sociaux [6].

II.2. Définition du recyclage

Le recyclage est un processus qui consiste à collecter, traiter et transformer des matériaux usagés en nouveaux produits, dans le but de réduire la consommation de ressources naturelles, d'économiser de l'énergie et de minimiser les déchets. Ce processus contribue à la préservation de l'environnement en réduisant l'empreinte écologique associée à la fabrication de nouveaux produits à partir de matières premières vierges [9]

Le logo de recyclage est présenté par la (fig.II.1).



Figure II.1. Logo de recyclage.

II.3. Principe du recyclage

Le recyclage consiste à réutiliser des matériaux pour créer de nouveaux produits, réduisant ainsi les déchets et préservant les ressources naturelles. Il permet d'économiser de l'énergie et de réduire la pollution liée à la production de nouveaux matériaux. Le recyclage favorise une économie circulaire, où les matériaux sont continuellement réintroduits dans le cycle de production. En recyclant, nous limitons le besoin d'extraire de

nouvelles matières premières de environnement. Cela contribue à prévenir la pollution de l'air, de l'eau et du sol.

La production à partir de matériaux recyclés nécessite généralement moins d'énergie que la production à partir de matières premières vierges. Le recyclage contribue donc à réduire les émissions de gaz à effet de serre. En résumé, le recyclage est un processus important pour la gestion durable des ressources et la protection de l'environnement [9].

II.4. Histoire du recyclage

Le recyclage a une longue histoire qui remonte à plusieurs siècles, avec des débuts documentés dès le XVI^e siècle en France, lorsque François 1er a initié la collecte des déchets ménagers à l'aide de paniers, surtout dans des villes comme Paris, Lyon et Caen. Dans le monde, des pratiques de recyclage remontent à l'Antiquité, accompagnant le développement des premiers artisanats, où des matériaux comme le métal étaient fondus pour créer de nouveaux objets et les vieux chiffons étaient réutilisés pour fabriquer du papier. Au fil du temps, le recyclage s'est généralisé, avec la création des premières usines, dont celle aux États-Unis en 1973, marquant le début d'une pratique mondiale et la diversification des matériaux recyclés, tels que le verre, le plastique, le papier et le métal. En France, la prise de conscience croissante de la quantité de déchets a conduit à une préoccupation majeure pour le recyclage, avec un taux élevé de 65% des déchets recyclés ou incinérés, plaçant le pays parmi les leaders en Europe dans cette pratique [10].

II.5. Principe du recyclage

Le principe du recyclage repose sur la collecte, le traitement et la transformation des déchets en nouveaux produits afin de réduire la dépendance aux ressources naturelles et de minimiser les impacts environnementaux associés à la fabrication de biens. Ce processus contribue à la préservation des ressources, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la gestion durable des déchets.

Le recyclage a une longue histoire qui remonte à plusieurs siècles, avec des débuts documentés dès le XV^e siècle en France, lorsque François 1er a initié la collecte des déchets ménagers à l'aide de paniers, surtout dans des villes comme Paris, Lyon et Caen. Dans le monde, des pratiques de recyclage remontent à l'Antiquité, accompagnant le développement des premiers artisanats, où des matériaux comme le métal étaient fondus pour créer de nouveaux objets et les vieux chiffons étaient réutilisés pour fabriquer du papier. Au fil du temps, le recyclage s'est généralisé, avec la création des premières usines, dont celle aux États-Unis en 1973, marquant le début d'une pratique

mondiale et la diversification des matériaux recyclés, tels que le verre, le plastique, le papier et le métal. En France, la prise de conscience croissante de la quantité de déchets a conduit à une préoccupation majeure pour le recyclage, avec un taux élevé de 65% des déchets recyclés ou incinérés, plaçant le pays parmi les leaders en Europe dans cette pratique [11].

II.6. Type de recyclage

Divers types de recyclage sont définis selon les matériaux et les procédés employés. Voici quelques exemples :

II.6.1. Recyclage chimique

Le recyclage chimique est une approche qui vise à décomposer les matériaux en leurs composants de base, afin de les utiliser pour produire de nouveaux produits ou matériaux. Par exemple, la décomposition des plastiques en leurs composants chimiques d'origine pour les réutiliser dans la fabrication de nouveaux plastiques [12].

II.6.2. Recyclage mécanique

Le recyclage mécanique, aussi connu sous le nom de recyclage physique, est le processus qui consiste à transformer des matériaux récupérés en nouveaux produits sans passer par une transformation chimique. Par exemple, le broyage du plastique pour obtenir des granulés pouvant servir à la fabrication de nouveaux produits en plastique [12].

II.6.3. Recyclage organique

Ce processus transforme les déchets organiques en compost ou en engrais naturel. Les déchets organiques tels que les restes de nourriture et les déchets de jardin sont décomposés par des micro-organismes pour produire un amendement organique riche en nutriments [13].

II.7. A avantages

II.7.1. Avantages

a) Protection de l'environnement

Le recyclage contribue à réduire la consommation des ressources naturelles, limite la pollution de l'air et de l'eau et réduit les émissions de gaz à effet de serre [9].

b) Économie d'énergie

Le recyclage réduit la consommation d'énergie par rapport à la production de nouveaux matériaux à partir de matières premières vierges [9].

c) Réduire les déchets

Préserver les ressources naturelles et à lutter contre la pollution [9].

Le recyclage réduit la quantité de déchets envoyés dans les décharges, ce qui contribue.

d) Création d'emplois Le recyclage crée des emplois dans les industries de collecte, de tri et de transformation des déchets, ainsi que dans la fabrication de produits recyclés [9].

e) Protège la biodiversité

Le recyclage contribue à protéger la biodiversité en réduisant la pression sur les écosystèmes naturels pour extraire de nouvelles matières premières [9].

II.7.2. Inconvénients

a) Coûts financiers

Le recyclage peut imposer des coûts supplémentaires aux entreprises et aux collectivités en termes de collecte, de tri et de traitement des déchets [9].

b) Limites techniques

Certains matériaux sont plus difficiles à recycler que d'autres en raison de leur composition ou de leur complexité, ce qui peut limiter les possibilités de recyclage [9].

c) Risques pour la santé et l'environnement

Le recyclage de certains matériaux peut présenter des risques pour la santé humaine et l'environnement si des matières dangereuses sont présentes dans les déchets recyclés [9].








II.8. Indication du recyclage

Le recyclage comporte plusieurs indicateurs clés visant à réduire les déchets, à conserver les ressources et à promouvoir des pratiques durables. Premièrement, cela donne une seconde vie à de nombreux matériaux, contribuant ainsi à réduire la quantité de déchets envoyés en décharge. Deuxièmement, le recyclage contribue à préserver les ressources naturelles en limitant l'extraction de nouvelles matières premières, favorisant ainsi une utilisation plus efficace des ressources non renouvelables.

De plus, il faut souvent moins d'énergie que la production à partir de matériaux vierges, Le recyclage permet d'économiser de l'énergie et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. De plus, en recyclant plutôt qu'en éliminant les matériaux, le processus limite la contamination de l'air, de l'eau et du sol, contribuant ainsi à créer un environnement plus sain.

Enfin, le recyclage contribue à l'économie circulaire en encourageant la réutilisation et le recyclage continus des matériaux, soutenant ainsi des modes de consommation plus durables et résilients [6].

Tableau II.1. : Indication du recyclage.

Types de plastique généralement utilisés dans les établissements de santé	Symbole	Facilité de recyclage
Polyéthylène téréphtalate		Oui
Polyéthylène haute densité		Oui
Polyvinylechlorure		Non
Polyéthylène basse densité		Oui
Polypropylène		Oui
Polystyrène / polystyrène expansé		Non
Autres		Non

II.9. Impacts du recyclage sur l'environnement

Le recyclage a un impact significatif et positif sur l'environnement à plusieurs niveaux. Premièrement, il réduit la quantité de déchets envoyés en décharge, limitant ainsi la pollution de l'air, du sol et de l'eau associée à l'accumulation de déchets. En réduisant le besoin de créer de nouvelles matières premières à partir de ressources naturelles, le recyclage peut également contribuer à protéger les écosystèmes en limitant l'exploitation des ressources terrestres et marines. En outre, le recyclage peut permettre d'économiser de l'énergie pendant le processus de production, car la fabrication de nouveaux produits à partir de matériaux recyclés nécessite souvent moins d'énergie que la fabrication de produits à partir de matières premières vierges. Par conséquent, le recyclage contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et les impacts associés au changement climatique. En favorisant une utilisation plus efficace des ressources et en limitant la pollution, le recyclage aide à créer un environnement plus propre et plus durable pour les générations futures [4].

II.10. Statistiques sur le recyclage

Les matériaux les plus recyclables sont :

a) Papier et carton

Ils sont largement recyclés et peuvent être transformés en nouveaux produits en papier et carton. En France, environ 49 % du papier et du carton sont recyclés chaque année [14].

b) Verre

Le verre est un matériau durable 100 % recyclable. Il peut être fondu et utilisé indéfiniment pour fabriquer de nouveaux produits en verre [14].

c) Métaux

Les métaux tels que l'aluminium et l'acier sont facilement recyclés. Ils peuvent être fondus et utilisés pour fabriquer de nouveaux produits, comme des chariots de supermarché, des clés ou des fers à repasser [14].

d) Plastique

Certains types de plastique sont recyclables, comme les bouteilles en plastique, les flacons, les pots, les barquettes et les films plastiques. Cependant, tous les plastiques ne sont pas recyclés de la même manière. Assurez-vous de vérifier auprès de votre service local de collecte des déchets pour savoir quels types de plastique sont acceptés dans votre région [14].

e) **Fibres textiles** Les fibres textiles, qu'elles soient naturelles (ex. coton, laine, chanvre) ou synthétiques (ex. polyester, polyamide), sont généralement faciles à recycler. Ces fibres peuvent être séparées, broyées et utilisées pour fabriquer de nouveaux textiles [14].

II.11. Type De Déchets Recycle

II.11.1. Recyclage des plastiques

Le recyclage des plastiques (**fig.II.2**). Est devenu crucial en raison de la hausse du prix du pétrole et de la valorisation croissante de la valeur calorifique des plastiques. Les pays dépendants de fournisseurs étrangers cherchent à économiser les matières premières pétrolières par le biais du recyclage, malgré la complexité due à la variété des plastiques et aux diverses technologies de recyclage. Deux approches majeures sont utilisées : la récupération d'énergie par l'incinération contrôlée et le recyclage mécanique ou chimique. La préparation des plastiques pour le recyclage implique un nettoyage minutieux en raison de pertes telles que les étiquettes et les résidus de liquides. Les étapes suivantes comprennent la séparation, le lavage et la Première recyclées [15].



Figure.II.2. Recyclage des plastiques.

II.11.2. Recyclage des verres

Le verre demeure le choix optimal comme emballage pour les produits alimentaires, les produits pharmaceutiques et les parfums, offrant une neutralité en termes de goût et d'odeur. Après utilisation, le verre d'emballage est collecté, transformé en calcin, puis recyclé dans les fours verriers pour la fabrication de nouveaux emballages en verre. Actuellement, le taux de recyclage atteint 75% (2007, écoemballages).

Le processus débute par le tri des emballages en verre par les habitants, qui les acheminent vers les récupérateurs. Ensuite, la collecte sélective du verre par les entreprises ou les collectivités le

transporte vers un centre de traitement. De là, le verre brut est dirigé vers une usine verrière, responsable de la fusion et de la fabrication de nouveaux emballages. Les bouteilles fraîchement créées sont ensuite expédiées vers un centre d'emballage pour être remplies et conditionnées (étiquettes, packaging) avant d'intégrer les réseaux de distribution, le consommateur étant le dernier maillon de cette chaîne.

Le centre de traitement, souvent lié à une verrerie industrielle, joue un rôle crucial entre la collecte et l'usine verrière. Au sein de cette unité industrielle, plusieurs étapes sont franchies pour obtenir du verre brut prêt à être fondu [15] (fig.II.3).



Figure.II.3. Recyclage des verres.

II.11.3. Recyclage des papiers

Le papier recyclé (fig.II.4), devenu indispensable pour la préservation de l'environnement et la valorisation des déchets, connaît un avenir prometteur depuis plusieurs années. Sa fabrication respecte les principes fondamentaux de la fabrication du papier, utilisant des papiers triés provenant des habitants et des entreprises au lieu de la cellulose des arbres.

Au départ, le papier recyclé souffrait d'une mauvaise réputation en raison de sa couleur grise terne et de son manque de popularité auprès du grand public. Cependant, grâce à l'amélioration des techniques et à l'augmentation des déchets disponibles, associées à une sensibilisation croissante à la protection de l'environnement, les producteurs de papier se tournent désormais vers ces nouvelles fabrications. Le papier recyclé est devenu courant pour la plupart des travaux d'impression, avec les imprimeurs s'adaptant à cette demande croissante [15].



Figure.II.4. Recyclage des papiers.

II.11.4. Recyclage du bois

Le marché du bois recyclé (**fig.II.5**), est en plein essor, visant à donner une nouvelle vie aux matériaux en bois provenant de diverses sources telles que les exploitations forestières, scieries, objets jetés et déchets ménagers. Les déchets de bois sont classés en trois catégories (liste verte, orange et rouge) et sont généralement envoyés vers des entreprises spécialisées pour recyclage. Les principales voies de recyclage incluent la valorisation thermique, la fabrication de panneaux de particules, le compostage occasionnel et la production pour l'industrie du papier. La palette Europe, largement utilisée dans la logistique, constitue un élément clé avec un parc estimé à 250-300 millions d'unités, réutilisées, réparées ou valorisées énergétiquement en fin de vie [15].



Figure.II.5. Recyclage du bois.

I.11.5. Recyclage des métaux

Ces dernières années, la hausse significative des cours des métaux, stimulée par la demande mondiale croissante, a incité de nombreuses entreprises à intensifier leurs activités de récupération et recyclage. Le recyclage des métaux, principalement de l'acier et de l'aluminium, est souvent associé aux collectes traditionnelles, tels que les boîtes de conserve en acier et les canettes en aluminium.. Les terres rares, essentielles pour les nouvelles technologies, sont devenues stratégiques, et le recyclage offre une nouvelle source secondaire pour ces métaux. Quelques chiffres soulignent l'impact positif du recyclage, par exemple, 670 canettes d'aluminium peuvent fabriquer un vélo, et le recyclage d'une tonne de boîtes de conserve économise 2 tonnes de matières premières non renouvelables, 4 mois de consommation d'eau d'un habitant, et 1 année de consommation d'énergie [15].



Figure.II.6. Recyclage des métaux.

II.11.6. Recyclage de l'acier

L'acier, un métal ferreux composé d'un alliage de fer et de carbone (entre 1,5% et 3%), est hautement recyclable. Les ferrailles et aciers usagés sont collectés à partir de diverses sources telles que l'industrie, les mâchefers d'incinération et les collectes sélectives. Le Référentiel européen des ferrailles classe ces matériaux en 20 catégories en fonction de leur origine et de leurs caractéristiques.

Une tonne d'acier recyclé équivaut à :

- 1,92 tonne de minéral de fer ;
- 0,63 tonne de coke (charbon) ;
- 11,57 m³ d'eau ;
- 4,46 MWh, soit 1,78 tonne d'équivalent CO₂ évitée.

L'acier recyclé est utilisé dans divers domaines, tels que les emballages en acier (99% recyclés), l'industrie automobile (carrosseries, arcasses de machines à laver), la construction (pièces architecturales, portes), et les armoires de rangement, contribuant ainsi à une utilisation plus durable des ressources [15] (**fig.II.7**).



Figure.II.7. Recyclage de l'acier.

Chapitre III

Carton et Polystyrène

III.1 Carton

III.1.1 Introduction

Dans cette partie, nous explorerons en profondeur le matériau souvent sous-estimé mais polyvalent qu'est le carton. Du simple emballage aux applications plus complexes, nous plongerons dans les propriétés physiques, les méthodes de fabrication, et les multiples usages du carton dans notre vie quotidienne et dans diverses industries. Cette exploration approfondie permettra de mieux comprendre les caractéristiques uniques du carton et son impact sur l'environnement, tout en mettant en lumière son rôle dans la durabilité et l'innovation.

III.1.2 Définition de carton

Le carton est un matériau fabriqué à partir de fibres de cellulose, principalement extraites du bois. Il est formé en pressant et collant ces fibres pour créer des feuilles légères, rigides et résistantes, adaptées à diverses applications telles que l'emballage, la construction et les arts graphiques [16] ([fig. III.1](#)).



Figure.III.1. Carton.

III.1.3 L'histoire du carton

L'écriture a débuté avec l'homme des cavernes gravant sur pierre, os, bois, métal et argile. Les Égyptiens ont introduit le papyrus, concurrencé plus tard par le parchemin. En 105 après J.C., le papier a été découvert en Chine. Tai-Lun a créé une pâte à papier à partir de chiffons, écorces et filets. La bataille de Samarcande (751) a révélé la fabrication du papier aux Arabes, se propageant jusqu'en Andalousie. Les premiers moulins à papier en Europe ont émergé près de Cordoue et Séville.

Vers 1250, les premiers moulins italiens à Fabriano ont été installés. Au 13ème siècle, les premiers documents français sur papier ont émergé, mais les moulins français sont apparus au 14ème siècle. En 1445, Gutenberg a inventé l'imprimerie. En 1799, Louis-Nicolas Robert a breveté la première machine à papier en continu. La première machine à papier anglaise a fonctionné en 1803, et vers 1825, l'industrialisation massive du papier a commencé en Europe et aux États-Unis. En 1850, les machines à papier étaient répandues en Angleterre et en France.

Vers 1850, la première machine à fabriquer le carton multicouche est apparue. En 1856, le premier brevet de papier ondulé a été déposé en Angleterre. Le papier toilette est attribué à Joseph Colette en 1857, devenant courant dans les années 60. Les technologies papetières continuent d'évoluer, contribuant au développement industriel, à la diffusion des connaissances et à l'emballage des produits de consommation [17].

III.1.5. Avantages du carton papier

III.1.5.1. Avantages

Le matériau carton

Fait partie de notre vie quotidienne en intervenant dans des usages divers. Ses nombreux avantages font de lui un matériau particulièrement apprécié dans des domaines bien particuliers.

III.1.5.1.1. Principaux avantages du matériau carton

Utilisé pour de nombreuses applications, le matériau carton a de nombreux avantages. Voici les principaux :

- **Le carton est un matériau solide** : il peut facilement supporter jusqu'à une dizaine de kilos, d'où son utilisation en tant que carton de déménagement. Il le sera plus ou moins selon sa cannelure - à savoir son épaisseur-, qui peut être simple ou double.
- **Le carton est un matériau très polyvalent** : en témoigne son utilisation dans de nombreux domaines différents : packaging, création, stockage, les exemples ne manquent pas !
- **Le carton est un matériau pratique** : on peut facilement le plier pour le stocker et il existe en de nombreux formats différents.
- **Le carton est un matériau naturel et écologique** : fabriqué à partir de fibres naturelles, il est recyclable et biodégradable. Les qualités environnementales du matériau ne sont plus à prouver.

III.1.5.1.2. Avantages du carton dans le milieu agroalimentaire

Le matériau carton est particulièrement apprécié dans le packaging alimentaire. Carton à pizza, ou encore briques de jus de fruits, les exemples de son utilisation en tant qu'emballage

alimentaire sont nombreux. Quelles qualités sont spécifiques à cette utilisation ? Voici les principaux atouts du carton utilisé en tant que packaging alimentaire :

- Le carton résiste efficacement aux chocs et aux vibrations, ce qui est idéal pour le transport de marchandises.
- Le carton est un matériau léger
- Il est facilement malléable, et peut donc prendre différentes apparences pour s'adapter à la forme du produit à emballer
- Il peut aussi être associé à d'autres matériaux. Ceci est d'autant plus vrai concernant les packagings alimentaires en carton, souvent couplés avec une couche de cire de paraffine pour limiter la présence de graisse.
- Le carton est un matériau peu onéreux à sa fabrication, et donc économique.

III.1.5.1.3. Avantages du carton dans la construction

Le matériau est très apprécié des artistes et créateurs, précisément dans la création de meubles en carton, pour ses atouts techniques. Il peut en effet être très solide selon la méthode de montage utilisée car il possède de bonnes propriétés mécaniques, telle que sa résistance à la compression élevée. Il peut être assemblé de nombreuses façons pour offrir des structures solides l'embourdigue, le contre collage ou encore les traverses entrecroisées sont des méthodes très répandues dans la construction carton. Le carton est également présent sous de nombreux aspects esthétiques : carton ondulé, carton alvéolaire, carton plat... [18].

III.1.5.1.4. Inconvénients

Sensibilité à l'humidité Le carton-papier peut être sensible à l'humidité, entraînant potentiellement une déformation et une perte de résistance.

Sensibilité au feu Sa combustibilité nécessite des précautions spécifiques lors du stockage et de l'utilisation du carton-papier.

Carton-papier peut s'user au fil du temps, impactant son apparence et sa durabilité.

Le carton présente aussi quelques inconvénients notamment lorsqu'il n'est pas traité. Il est alors sensible à l'humidité mais également au feu, comme le matériau bois. Son revêtement de surface est sensible à l'usure.

En résumé, le carton présente de nombreux avantages en tant que matériau d'emballage durable et polyvalent, mais il est important de considérer les inconvénients liés à la production et à l'élimination. Des efforts devraient être faits pour améliorer la durabilité de la production de

carton et promouvoir une meilleure gestion des déchets afin de réduire l'impact environnemental [18].

III.1.8. Propriétés de carton

Le carton possède diverses caractéristiques qui en font un matériau polyvalent pour différentes applications. Parmi ses principales propriétés :

- a) **Légèreté** : Facilite le transport et la manipulation grâce à son poids réduit.
- b) **Rigidité** : Offre une rigidité adaptée à la fabrication de boîtes et de présentoirs, selon le type de carton.
- c) **Facilité de transformation** : Peut être aisément coupé, plié et façonné, offrant une grande flexibilité pour créer différentes formes.
- d) **Isolation thermique et acoustique** : Notamment le carton ondulé, offrant une isolation thermique et acoustique utile dans diverses applications.
- e) **Recyclabilité** : Favorise la durabilité et la réduction des déchets grâce à sa capacité de recyclage.

Ces produits fabriquent du carton largement utilisé dans l'emballage, les présentoirs, les meubles et bien d'autres applications [17].

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

La production de carton commence avec la fibre de cellulose, extraite du bois ou de fibres de récupération de papiers. La pâte à papier est élaborée en éliminant la lignine, reliant les fibres, soit par un procédé mécanique avec râpage et défibrage, soit par un procédé chimique impliquant le traitement chimique des copeaux de bois à haute température et pression.

Le procédé mécanique offre un rendement élevé, environ 95%, mais le carton résultant est rigide avec une résistance et élasticité réduites. Le procédé chimique, avec un rendement de 50 à 60%, produit un carton très résistant.

Après la production de la pâte, le blanchiment élimine la couleur des composants. La fabrication du carton peut se faire à partir de pâte à papier, regroupant plusieurs jets de même ou de composition différente, ou à partir de feuilles de papier collées avec amidon ou résine synthétique, produisant un carton homogène feuille après feuille [19].

III.2. Polystyrène

III.2.1. Introduction

1839 est la date de la découverte du polystyrène. Il a connu une large exploitation en Europe et aux états unis à partir de 1933 suite à la mise en œuvre du premier procédé pour sa fabrication à l'échelle industrielle.

Le polystyrène est un matériau dur. Il se présente étant cassant et transparent. D'une manière générale, son usage et son utilisation se résume en la fabrication des emballages, des grilles de ventilations ou des verres en plastique. Il se manifeste en trois types : Le polystyrène "cristal" : contrairement à son appellation, il n'a pas de structure cristalline. L'attribution du mot cristal à ce matériau revient à son aspect transparent. C'est un plastique dur et cassant et il est utilisé surtout pour les boîtiers CD. Le polystyrène HIPS (High-Impact Polystyrène) : C'est un copolymère formé par la combinaison du styrène et du polybutadiène. Il est le plastique le plus utilisé des styréniques (composé dont le monomère et le styrène), cette orientation d'usage est due à sa résistance et sa capacité de résister à des impacts plus considérables que celles qu'un polystyrène normal peut résister.

Le polystyrène expansé : ce matériau est le plus connu de la gamme du polystyrène. Il se présente sous forme de mousse compacte, inflammable et combustible.

III.2.1.1 Applications du polystyrène :

Le polystyrène et le polymère obtenu par polymérisation des monomères de styrène, c'est un matériau solide à 20C° et pâteux à 120C°, qui fond entre 150C° et 170C°. Il est inflammable et combustible, avec une température d'auto-inflammation d'environ 490C°. Il est également soluble dans les hydrocarbures chloré et aromatique. Ce matériau dur, cassant et transparent se décline en différents type de polystyrène mentionné précédemment aux applications multiples.

Les principales utilisations du polystyrène dans la vie courante sont :

- Les boîtiers de CD en PS cristal.
- Les couverts et verres en plastique en PS choc.
- Les emballages alimentaires (comme les pots de yaourt) .
- Les emballages des appareils fragiles en PSE .
- Isolation thermique des bâtiments sous forme expansée ou extrudée [20].

Chapitre IV
Techniques expérimentales et
préparation
Des échantillons.

IV.1. Introduction

La prise de conscience grandissante des problématiques environnementales et du développement durable a entraîné des études visant à créer des matériaux composites écologiques. Dans cette perspective, notre étude a pour objectif de participer à la diminution des conséquences environnementales en développant des composites à partir de matériaux recyclables, qui peuvent être utilisés dans différentes situations.

Dans cette étude, notre attention s'est particulièrement portée sur l'exploitation des déchets de cartons et de polystyrène dans le processus de création de ces matériaux composites. Nous avons mené des études approfondies pour concevoir, produire et évaluer ces composites dans le but d'assurer leur qualité.

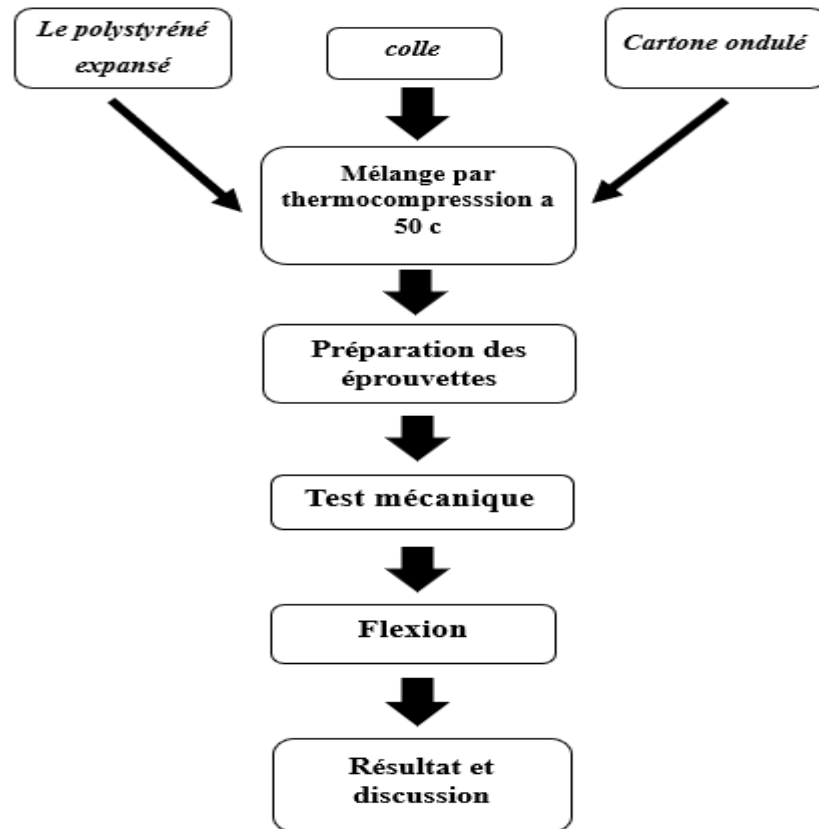
Les résultats et leur faisabilité en Le chapitre actuel présente une synthèse des travaux réalisés dans le laboratoire de moulage situé dans le hall technologique de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila. Dans le but d'analyser comment le traitement et la quantité de charges influencent les caractéristiques mécaniques des composites de POLYSTRENE et CARTON. Les étapes de préparation des matériaux sont expliquées dans le schéma ci-dessous, qui explique l'ordre logique dans lequel ces étapes se déroulent, les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude et la description détaillée de chacune d'entre elles.

Les différentes étapes de cette tâche sont résumées dans le schéma ci-dessous.

IV.2. Matériaux Et Méthodes

IV.2.1. Matériaux

Le polystyrène est utilisé comme base sans recyclage, car nous sommes conscients qu'il est également présent dans les magasins où il est disponible en différentes formes. Toutefois, il convient de noter que l'absence de recyclage. Le carton ondulé que nous utilisons est récupéré auprès du centre de collecte des déchets de papier de notre université. La disponibilité et le recyclage de ce carton ondulé en font un choix parfait pour notre étude sur les matériaux composites respectueux de l'environnement.



IV.2.1.1. Polystyrène

• **La densité** : la densité apparente est de 20 Kg/m³ et la densité absolue est de 30 Kg/m³.

En raison de sa structure à cellules fermées, le Polystyrène se distingue par sa faible capacité à absorber l'eau par immersion.

• **La résistance à la chaleur** : le polystyrène expansé se décompose à partir d'une température de 90°C.



Figure.IV.01. Déchets de polystyrène



Figure.IV.02. Le polystyrène sous forme de granules.

IV.2.1.2. Carton en forme d'ondulation

Le carton ondulé est un emballage en papier constitué de plusieurs couches, dont une couche ondulée dite "ondulation" est sandwichée entre deux couches extérieures planes. Le carton ondulé est rigide et résistant grâce à sa structure en couches multiples, ce qui lui permet de supporter des charges plus élevées que le papier ou le carton simple.

Le carton ondulé est très prisé en raison de sa légèreté, de sa solidité, de sa souplesse et de sa capacité à absorber les chocs. Il est fréquemment employé dans le domaine de l'emballage afin de produire des boîtes et des plateaux.

De protection, de séparateurs, de cales, et ainsi de suite. Son ondulation lui confère une excellente résistance aux chocs, ce qui en fait un matériau très prisé pour le transport et la protection des marchandises.

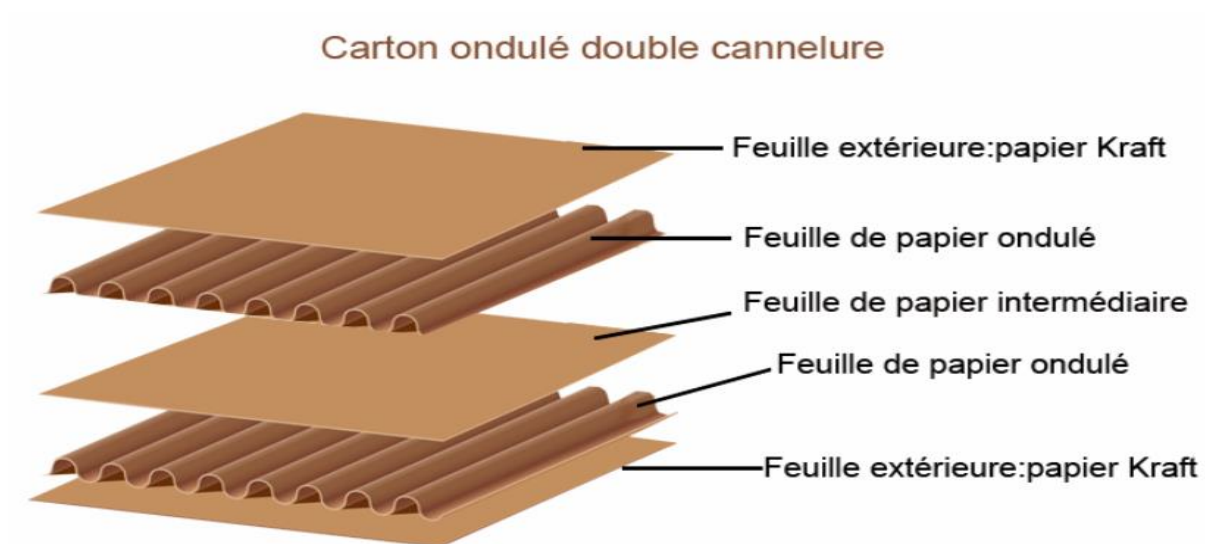


Figure IV.03. Géométrie du carton ondulé

Tableau IV.2.1. Caractéristiques du carton ondulé

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

Table.IV.01. Caractéristiques du carton ondulé.

IV.3. Elaboration des composites

Pour commencer, nous avons examiné un mélange de carton et de polystyrène dans le but de créer un matériau composite. Afin d'effectuer ce mélange, nous avons employé une méthode particulière. Au sein du laboratoire de moulage situé dans le hall technologique de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila, le matériau est mis en place en utilisant la méthode de moulage par compression à chaud. Afin d'étudier :

- L'effet de taille de l'ajout du polystyrène dans la structure carton
- L'effet du taux du polystyrène dans la structure carton / polystyrène
- L'effet de taille des grains du polystyrène

Sur le comportement mécanique de la structure carton renforcée par des grains de polystyrène, nous avons élaboré six structures **Table.IV.02**, En respectant les proportions (carton et de polystyrène) fournies dans le tableau ci-dessous.

N °	Taux du Carton	Taux du Polystyrène	Constituants	Désignations
1	0%	100%	Déchets polystyrène	Mat 01
2	100 %	0 %	Déchets Carton	Mat 02
3	85 %	15 %	Large size polystyrène (Ø 2mm)	Mat 03
4	85 %	10 %	Large size polystyrène (Ø 2mm)	Mat 04
5	85 %	15%	Mixed polystyrène	Mat 05
6	85 %	15 %	Small size polystyrène (Ø 0.5mm)	Mat 06

Table.IV.02 proportions (carton et de polystyrène).

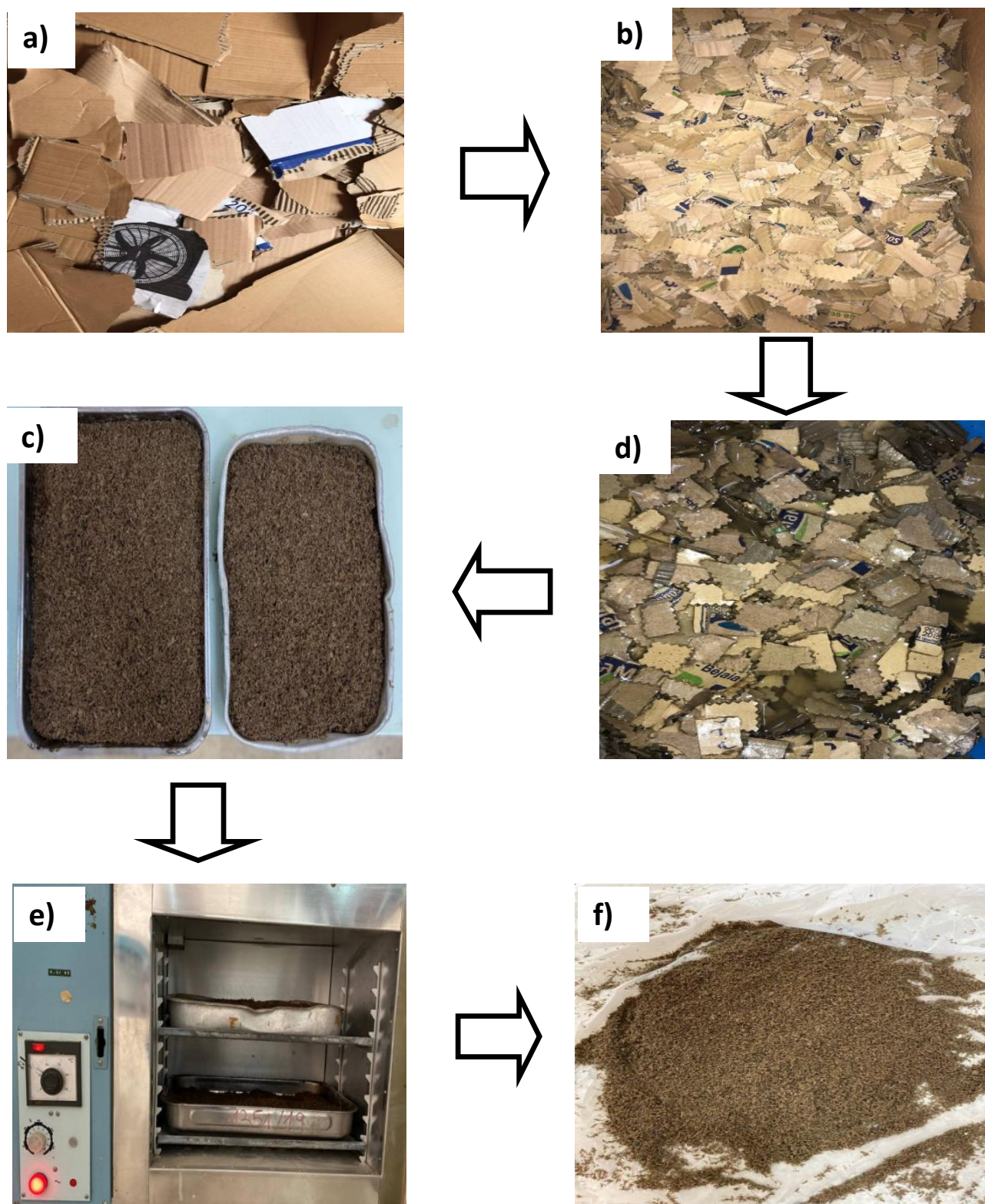


Figure IV.04. Les différents processus du traitement de carton.

a) Carton

d) Broyage du carton

b) Découpage de carton

e) Etuvage 70°C/10 heures

c) Carton mouillé

f) Carton séché

Nous avons préparé chaque échantillon en mélangeant du carton avec des granules de polystyrène dans les proportions mentionnées. Afin de fabriquer les compounds, une presse à chaud est utilisée, composée de deux panneaux dont la température est réglée et ajustée par un régulateur.



Figure IV.05 Malaxeur de mélange.

Une fois que le carton et le polystyrène ont été mélangés avec 200 g de colle à bois, on place le mélange dans un moule. Ensuite, on abaisse progressivement la plaque supérieure jusqu'à ce qu'elle soit fermée et on la maintient sous une pression de 40 bars à une température de 50°C pendant 24 heures (Fig. IV.06).



Figure IV.06. Presse à chaud utilisée

IV.4. Préparation des éprouvettes

Il est essentiel de préparer des éprouvettes normalisées pour effectuer les tests des mélanges Carton ondulé / Le polystyrène expansé, afin de réaliser le test approprié (flexion). Les éprouvettes sont préparées en respectant des critères et des normes (dimensions, formes, etc.) en utilisant des appareils tels que des tronçonneuses à table. Le dispositif de la (Fig IV.09) représente la tronçonneuse à table à disque diamanté. Nous avons utilisé cette table pour le découper des plaques

en éprouvettes de dimensions (130x100x15 mm) (Fig.IV.10) . conformément à la norme ASTM D 790-03. Cette norme spécifie les dimensions et les propriétés des éprouvettes utilisées pour réaliser des tests de flexion.

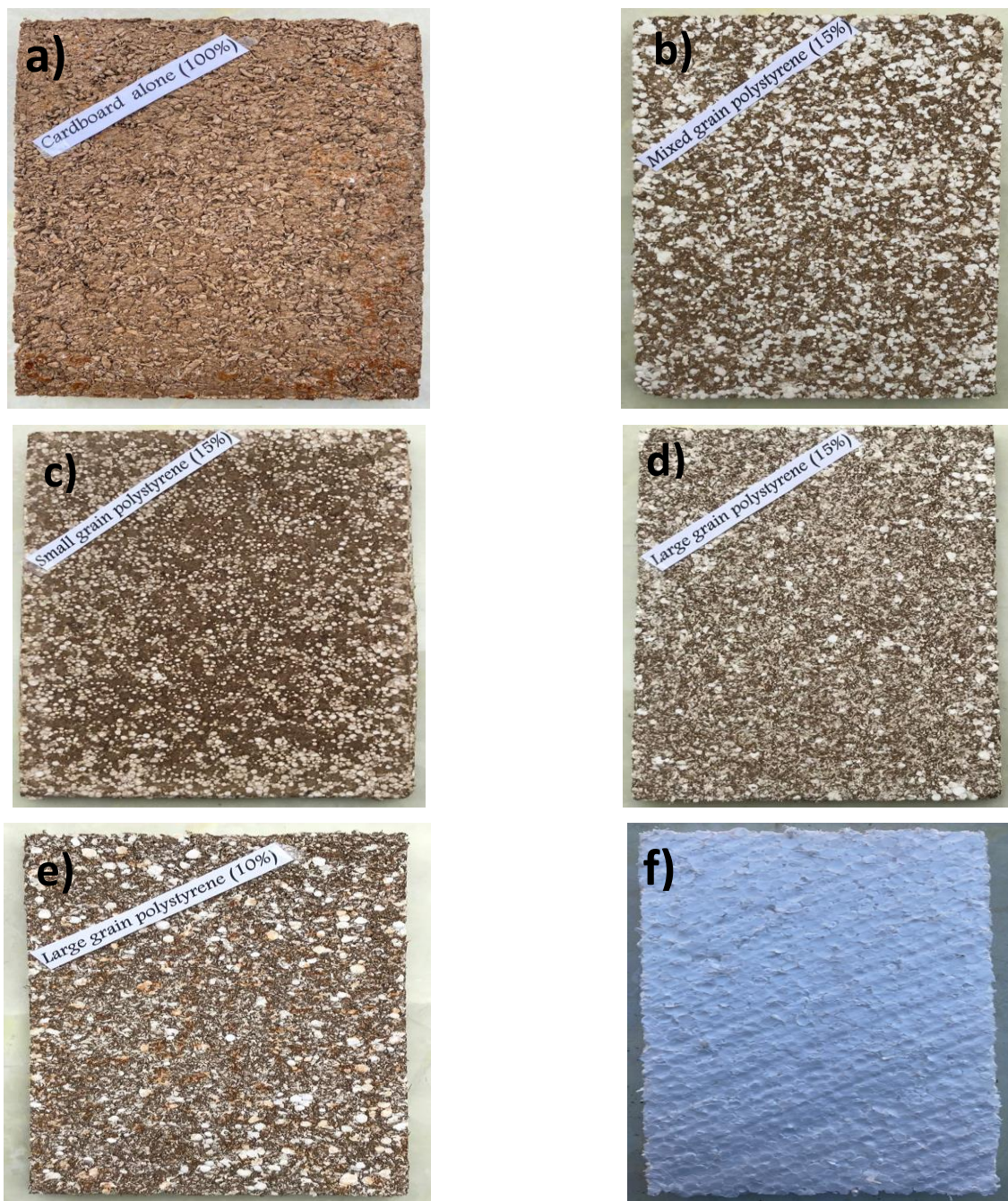


Figure IV.07.-Plaques composites d'étude :

- a) 100 % Déchets Carton.
- b) 15 % (mixed polystyrene).
- c) 15 % (Small grain polystyrene).
- d) 15 % (Large grain polystyrene).
- e) 10 % (Large grain polystyrène).
- f) 100 % Déchets polystyrène.

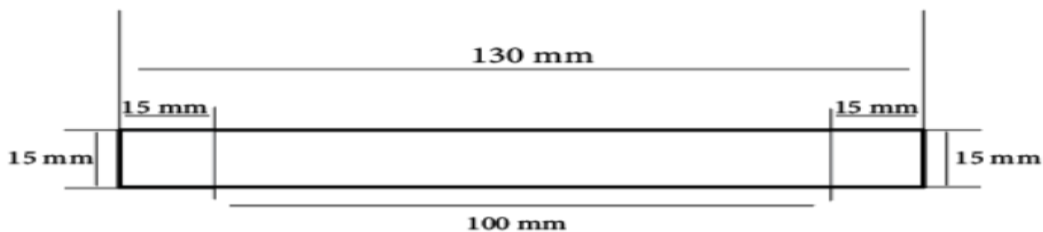


Figure IV.08. Dimensions de l'éprouvette de flexion

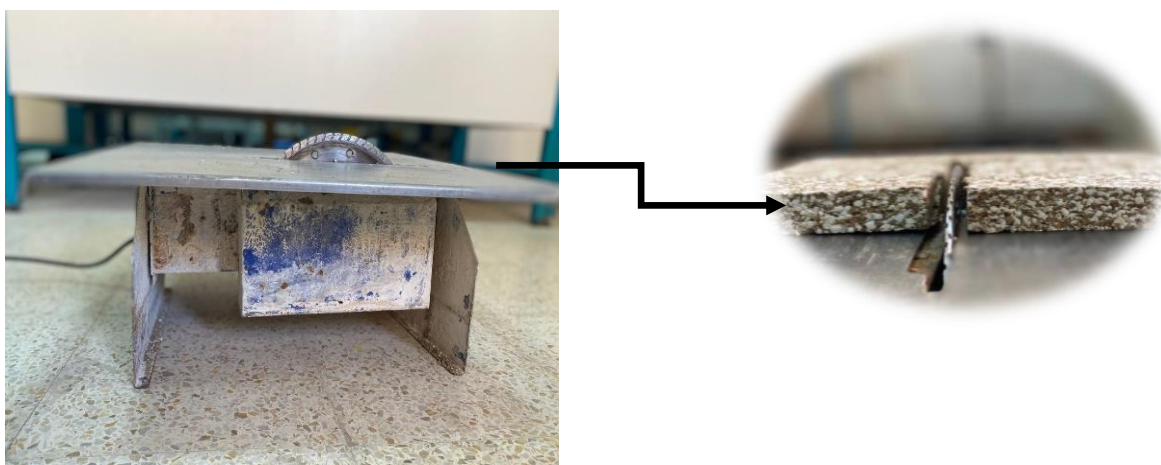


Figure IV.09. Tronçonneuse à table.

Les éprouvettes obtenues sont représentés par la (Fig. IV.10) :

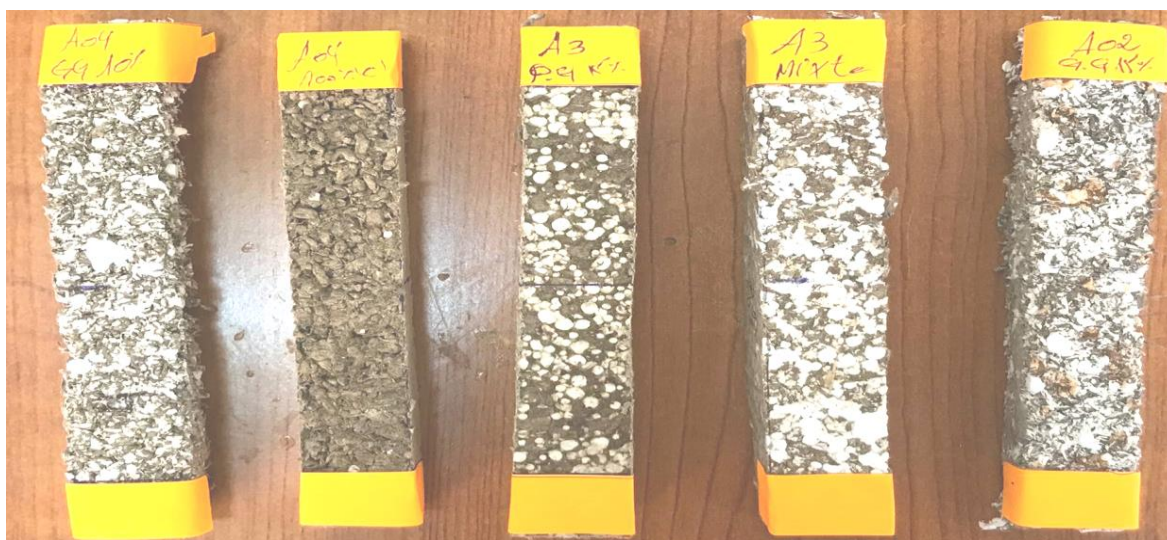


Figure IV.10. Equipement pour la préparation des éprouvettes et des éprouvettes obtenus.

IV.5. Techniques de caractérisation des matériaux élaborés.

IV.5.1. Tests mécaniques

Dans cette section, on présente les diverses méthodes employées afin de caractériser, physiquement, mécaniquement et thermiquement, les matériaux élaborés.

IV.5.1.1 Flexion

Un essai de flexion trois points a également été effectué avec la même machine selon la Norme à une vitesse de 2 mm/min.

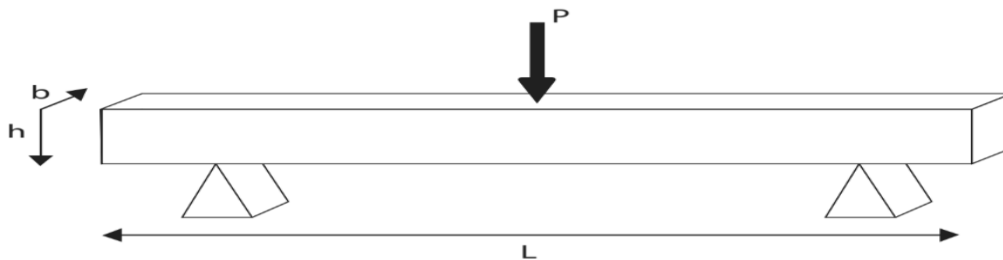


Figure.11. IV. Schéma de l'éprouvette de flexion

La résistance à la flexion (σ_f) a été calculée en utilisant :

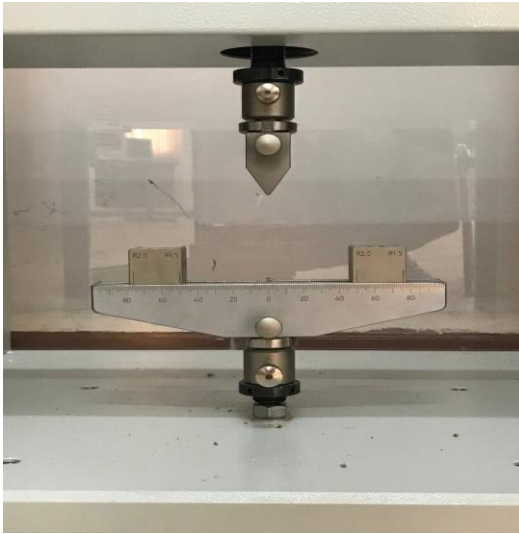
$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bh^2}$$

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:

$$E_f = \frac{6yh}{L^2}$$

Y : est le déplacement (mm).

Le dispositif de sollicitation des éprouvettes d'étude est présenté par la (Fig.12. IV)



a) : Machine essai de flexion (test).



b) : Montage de flexion 3 points.

Figure.12. IV. Dispositif pour la flexion trois points.

Chapitre V :

Résultats et discussions

V.1. Analyse des propriétés mécanique

Dans cette étude, les tests sur nos matériaux ont été surveillés via l'enregistrement de la courbe charge-déplacement associée ($P - \delta$) à l'aide de machines d'essai Test /10 kN avec une traverse vitesse de 2 mm/min. Selon la Figure, les matériaux de l'étude (**Figure.V.01**) présentaient un comportement contrôlé avec une chute soudaine de charge à la fin du parcours.

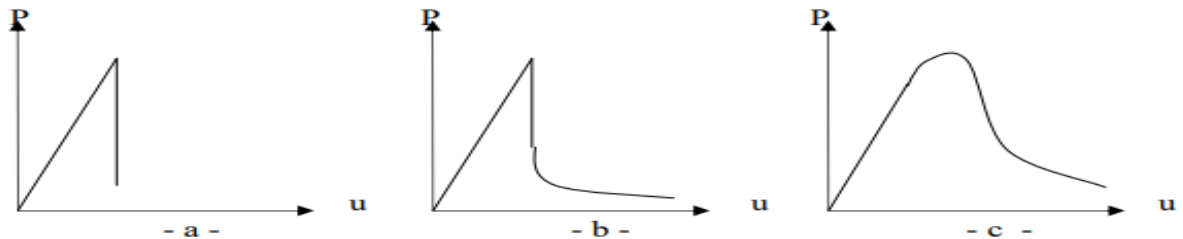


Figure.V.01. Types de rupture :

- a) Rupture Fragile b) Rupture semi-contrôlée c) Rupture contrôlé

Les superpositions des courbes contrainte/déformation ($\delta - \varepsilon$) des échantillons MAT 2 (Déchets Carton 100%) sont illustré sur la (**Fig.V.02**). Selon cette Figure, le matériau MAT 2 représente un comportement à la rupture contrôlé MAT 2. Au premier lieu la charge se progresse d'une façon linéaire jusqu'à une contrainte à approximativement de 0.24 MPa. Après cette zone linéaire, le matériau subit une déformation non linéaire (compression de la partie supérieure avec traction de la partie inférieure). Une fois la contrainte maximale est atteinte, le matériau se dégrade par et la contrainte chute progressivement jusqu'au la rupture du matériau.

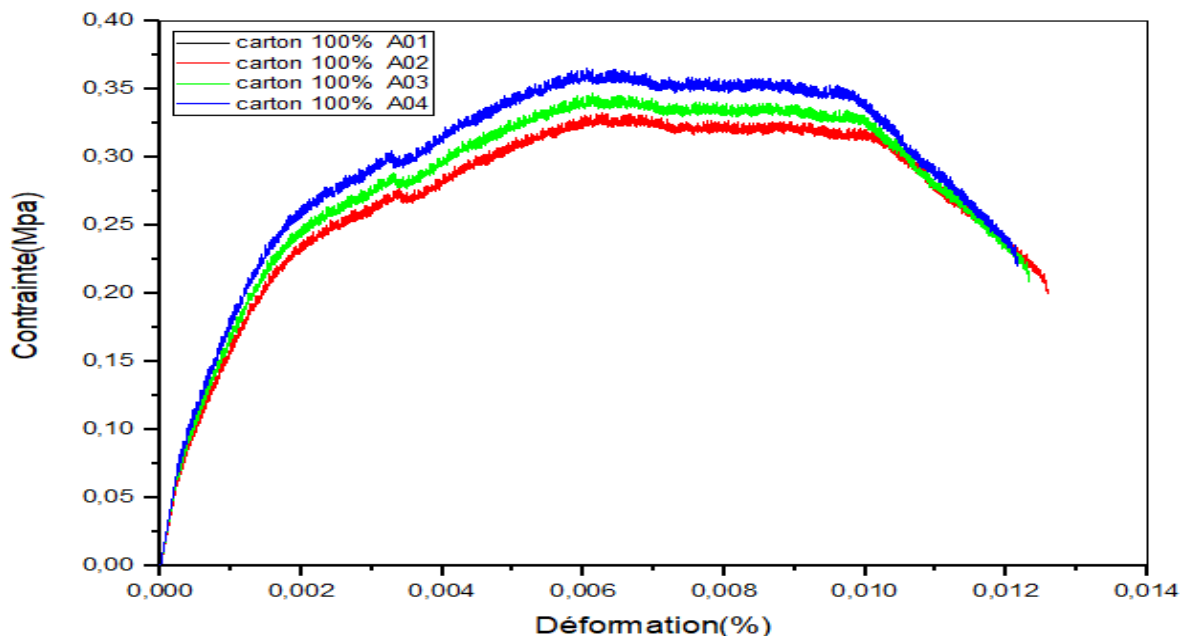


Figure.V.2. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche :

MAT 2 (Déchets Carton 100%)

La reproductibilité des expériences est indispensable lors de la validation des résultats. Cette dernière fait partie de la méthode scientifique et elle est très importante pour garantir la crédibilité des résultats. Ainsi, dans nos travaux, la reproductibilité des expériences peut servir de mesure fiable de propriétés de flexion. Les courbes de la (Fig.V.2) montrent que le comportement contrainte/déformation était bien reproduit. La même reproductibilité a été observée pour d'autres matériaux.

V.1.1. Effet de l'ajout des grains polystyrène

Dans cette étude, nous avons procédé à l'ajout des grains du polystyrène dans la structure en carton. Cette initiative vise à :

- Augmenter la densité du matériau final.
- Recycler le maximum de produit.
- Assurer une bonne diffusion de température.
- Obtenir un produit plus flexible et pratique (moins rigide).

La superposition des résultats des tests en flexion des deux matériaux Mat 2 (Déchets Carton100%) et Mat 05 (Mixed polystyrène) sont illustrés par la (Fig.V.3). D'après cette Figure, il est apparent que le Mat 02 (Déchets Carton100%) présente de bonnes caractéristiques mécaniques (Contrainte $\sigma = 0.24$ MPa et un module d'élasticité de flexion $E_F = 77.06$ MPa) et le Mat 05 (Mixed polystyrène 15%) présente caractéristiques mécaniques (Contrainte $\sigma = 0.23$ MPa et un module de élasticité de flexion $E_F = 59.10$ MPa).

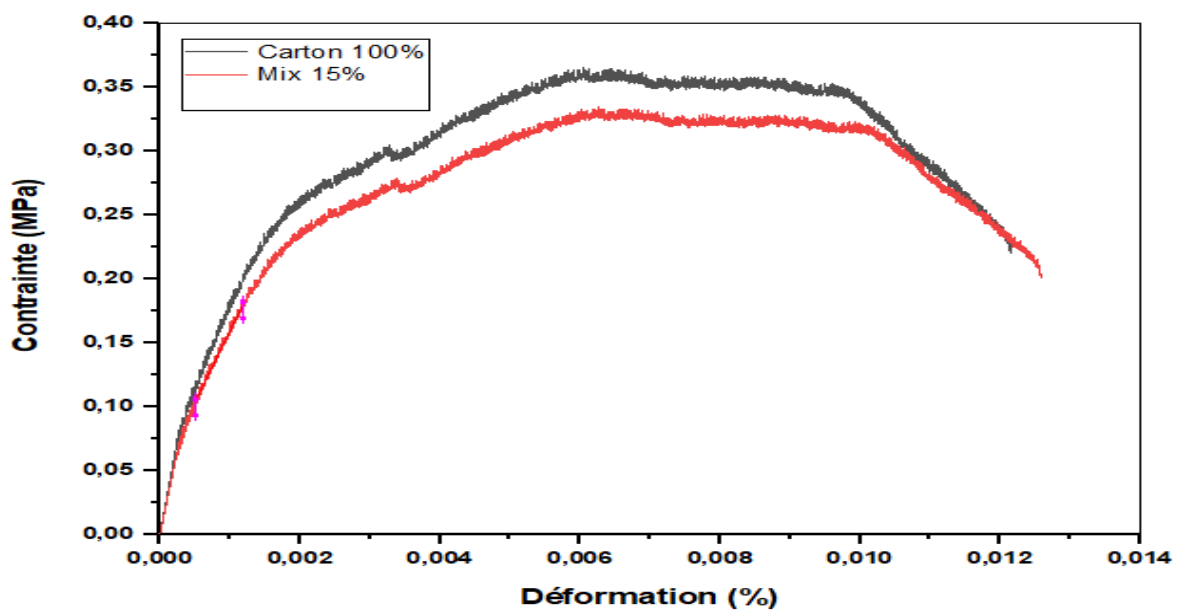


Figure.V.3. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche :

Mat 2 (Déchets Carton100%)

Mat 05 (Mixed polystyrène)

Bien que la contrainte à la rupture de la plaque MAT 2 semble plus élevée de 10% que celle du matériaux MAT 5 (Mixed polystyrène), mais il apparaît que cette dernière structure est plus souple ainsi plus pratique. De plus, l'ajout du polystyrène dans la structure cartonnée peut jouer un rôle très important dans le transfert de chaleur lors de l'utilisation de tell matériau dans le système d'isolation (cas de construction des bâtiment). Ce sujet trouvera une extension dans un paragraphe ultérieur.

V.1.2. Effet de pourcentage des grains polystyrène

La superposition des résultats des tests en flexion des deux matériaux MAT 03 (Large grain polystyrène 15%) et MAT 04 (Large grain polystyrène 10%) sont illustrés par la (Fig.V.4). D'après cette Figure, il est apparent que le MAT 03 (Large grain polystyrène 15%) présente des caractéristiques mécaniques un peu améliorées comparé au matériau Mat 04 (Large grain polystyrène 10%). Par d'autres mots, chaque fois que la taille du grain augmente, la résistance à la flexion augmente aussi.

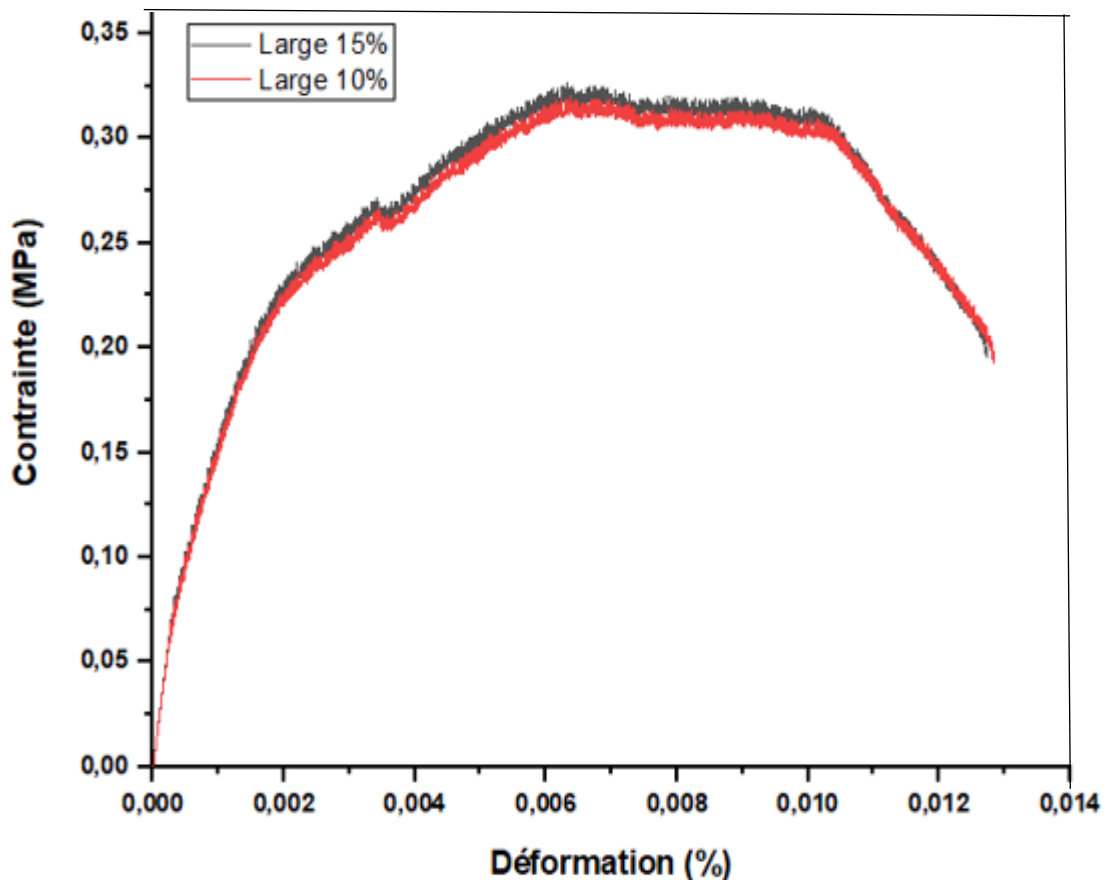


Figure.4. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche :

MAT 03 (Large grain polystyrène 15%) MAT 04 (Large grain polystyrène 10%).

V.1.3. Effet de taille des grains sur le comportement des plaques

Le (Fig.5) montre la relation entre la contrainte en (MPa) et la déformation (%) pour trois types de matériaux ou conditions différents : Mat 05 (Mixed polystyrène), Mat 03 (Large size polystyrène) et Mat 06 (Small size polystyrène). Les trois conditions sont à 15%.

La superposition des résultats des tests en flexion des trois matériaux Mat 05 (Mixed polystyrène 15%) et Mat 03 (Large size polystyrène 15%) et Mat 06 (Small size polystyrène 15%) sont illustrés par la (Fig.V.5). D'après cette Figure, il est apparent que le matériau Mat 05 (Mixed polystyrène 15%) a la résistance la plus élevée, suivi par les Mat 03 (Large size polystyrène 15%), puis les Mat 06 (Small size polystyrène 15%). Cela indique que le Mat 05 (Mixed polystyrène 15%) de différentes tailles de grains peut augmenter la résistance de la matière. Cela peut s'expliquer par l'effet de remplissage. En autres termes, les petits grains tendent à remplir le vide entre les grands grains du polystyrène (Fig.V.6)

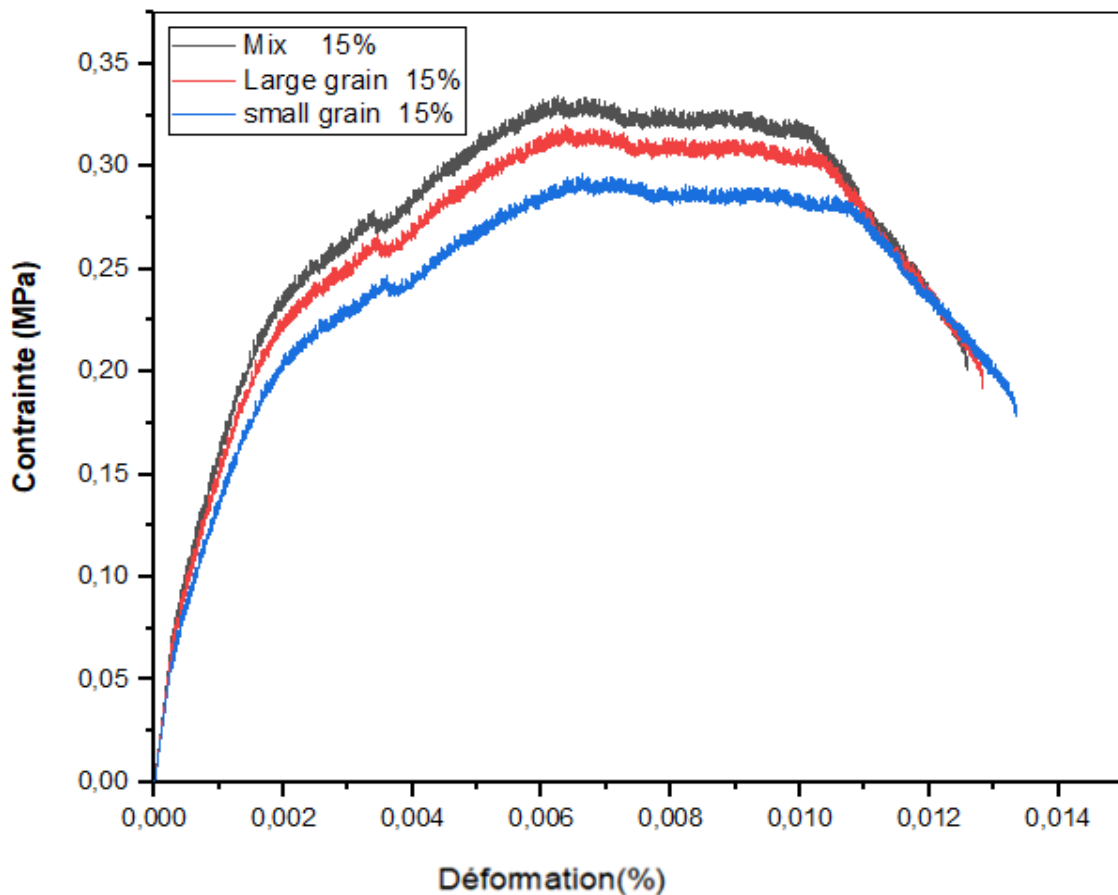


Figure.5. Evolution de la courbe charge en fonction de la flèche

Mat 05 (Mixed polystyrène)

Mat 03 (Large size polystyrène)

Mat 06 (Small size polystyrène).

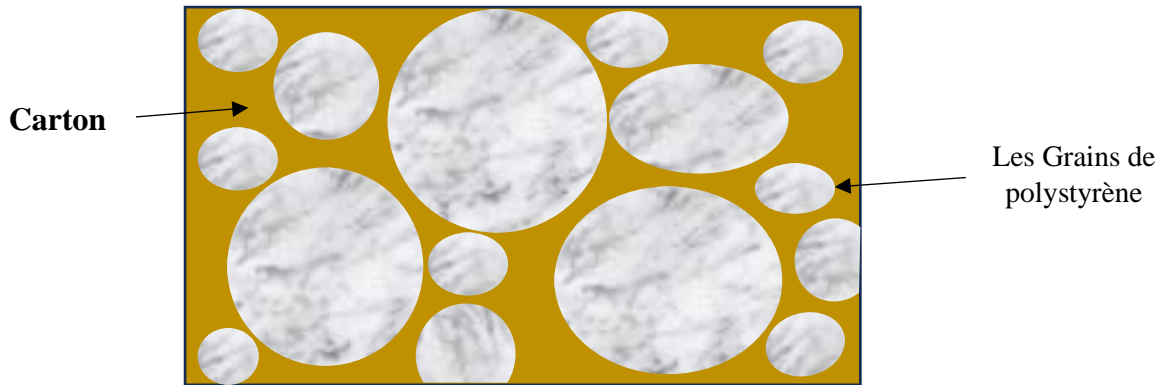


Figure.6. Représentation de l'effet de remplissage

V.2. Analyse du comportement mécanique des matériaux

Dans cette section, les résultats des tests en flexion trois points sont présentés, comparés et analysés. Le **Tableau V.1** présente les performances mécaniques en flexion 3-points des différents matériaux. Selon ce tableau, on constate que le matériau Mat 02 (Déchets Carton) présente de bonnes performances soit du côté résistance à la rupture ($\sigma = 0.24$ MPa) soit du côté rigidité ($E_f = 77.06$ MPa), avec une valeur de déformation très réduite comparée aux autres matériaux. Mais il est à signaler que, selon son application (dans l'isolation thermique des bâtiments), la rigidité du Mat 2 n'est pas convenable pour telle structure. On constate que le matériau MAT 5 (Mixed polystyrène 15%), est le matériau le plus performant soit du côté contrainte à la rupture ($\sigma = 0.23$ MPa) ou bien du côté rigidité ($E_f = 59.10$ MPa), ainsi du côté déformation qui semble la meilleur comparée aux autres matériaux ($\epsilon = 19\%$). D'autres part, les autres matériaux ont des contraintes assez réduites ou proches (soit contrainte ou module) que le MAT 5 (Mixed polystyrène 15).

On constate aussi que le matériau MAT 6 (Small size polystyrène 15%), présente des caractéristiques mécanique les plus faibles soit du côté contrainte ($\sigma = 0.17$ MPa) ou bien du côté rigidité ($E_f = 46.75$ MPa). Cela peut s'expliquer par la déformation réduite de ce matériau suite aux petits grains qui le constituées.

D'une façon générale l'introduction des grains de polystyrène surtout (Large size polystyrène ou Mixte) conduit à une amélioration de 80% en termes de résistance et de 97% du côté rigidité.

Tableau V.1 : comparaison des propriétés mécaniques en flexion.

Désignations	Contrainte (MPa)	Module de flexion (MPa)	Déformation (%)
Mat 01 (Déchets polystyrène)	0.045	1.74	0.018
Mat 02 (Déchets carton)	0.24	77.06	0.0015
Mat 03 (Large size polystyrène)	0.22	52.64	0.0018
Mat 04 (Large size polystyrène)	0.21	49.03	0.0017
Mat 05 (Mixed polystyrène)	0.23	59.10	0.0019
MAT 6 (Small size polystyrène)	0.17	46.75	0.0014

V.2.2. Analyse des Faciès de rupture

Dans ce qui suit, une analyse des faciès de rupture est présentée. Le but essentiel de ce paragraphe c'est de voir de près les modes d'endommagements de nos matériaux composites. La [Figure V.7](#) présente la section rompue de chaque matériau. Après la rupture des différentes éprouvettes, des photos sont prises afin d'analyser les différentes formes de rupture :

- Une forte adhésion Carton/Carton et Carton/Polystyrène suite à l'utilisation de la colle.
- Une bonne répartition des constituants (grands ou petits grains) est réussie suite à l'observation des différentes photos ;
- La [Figure V.7 b](#) montre que la morphologie du carton s'est transformée positivement suite à la procédure suivie (s'est transformé sous forme de fibre en papier), ce qui favorise l'adhésion avec la colle et les grains de polystyrène.
- La [Figure V.7 c](#) (matériaux à large size 15%) illustre que la majorité des grains se sont écrasés, cela signifie que ses dernières ont prouvé une grande résistance à la flexion jusqu'à la rupture du matériau. Ceci est aussi justifié lors de l'examen de la [Figure V.7 d](#) (matériaux à large size 10%).
- La [Figure V.7 e](#) (matériaux à small size 15%) montre clairement que la majorité des grains ne se sont pas écrasés comparés à celles de la [Figure V.7 c](#) (matériaux à large size 15%). Les grains semblent subir de petites déformations pour quelques-unes, et des

déchirures en deux parties pour autres. Ce que justifier les résistances réduites enregistrées.

- La **Figure V.7 f** (Mixed polystyrène 15%)) présente que les grains de polystyrène (grands et petits) se sont bien répartis. Les petits grains ont un effet de remplissage ce qui a réduit l'encrassement des grands grains ce qui a conduit à une grande résistance.

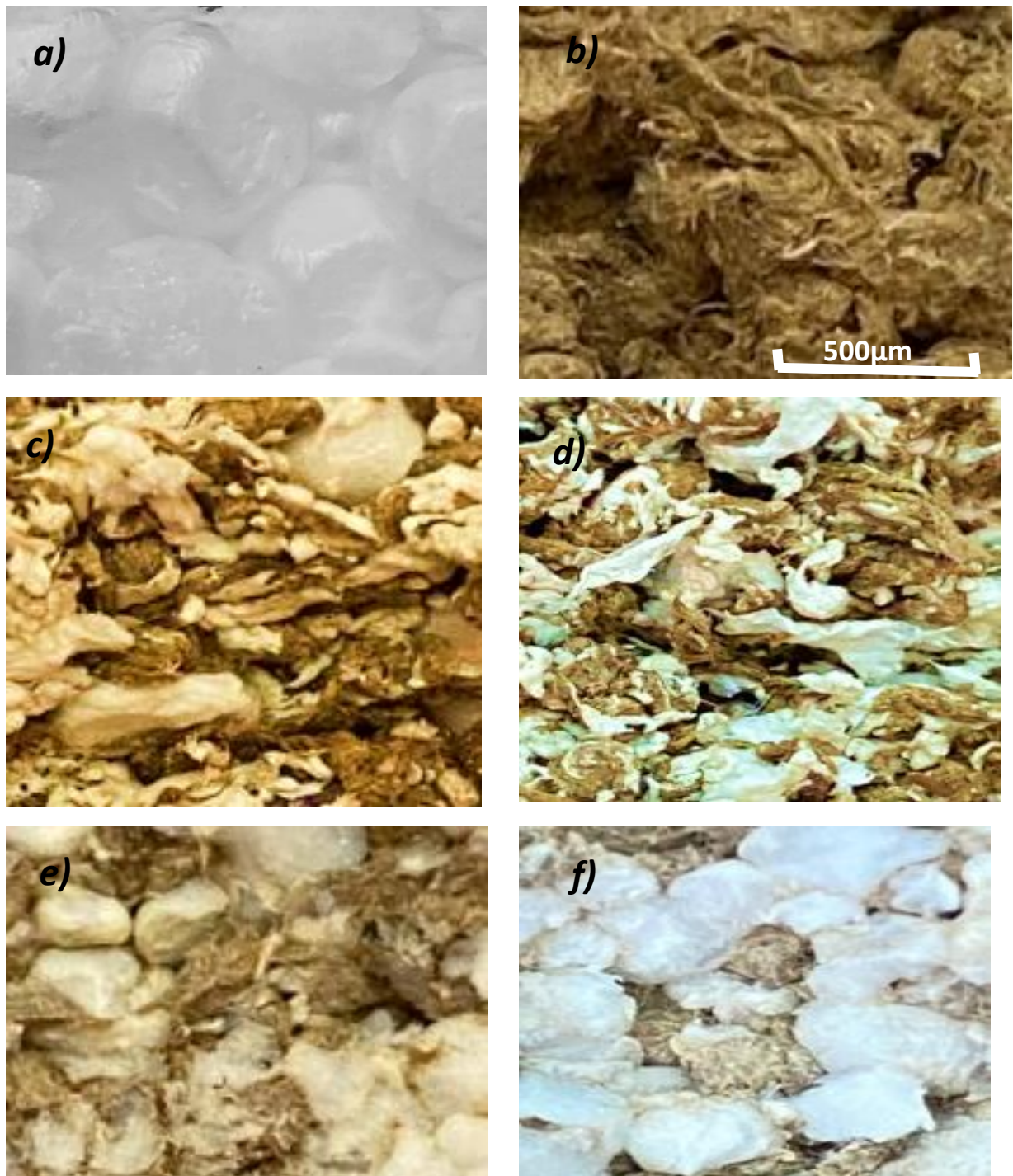


Figure V.7. Analyse des faciès de rupture :

- a) Mat 01 (Déchets polystyrène) b) Mat 02 (Déchets Carton)
c) Mat 03 (Large size polystyrène 15%) d) Mat 04 (Large size polystyrène 10 %)
e) Mat 06 (Small size polystyrène 15%) f) Mat 05 (Mixed polystyrène 15%)

L'histogramme de la (Fig.V.6) présente mieux l'évolution de la contrainte à la rupture en flexion des matériaux.

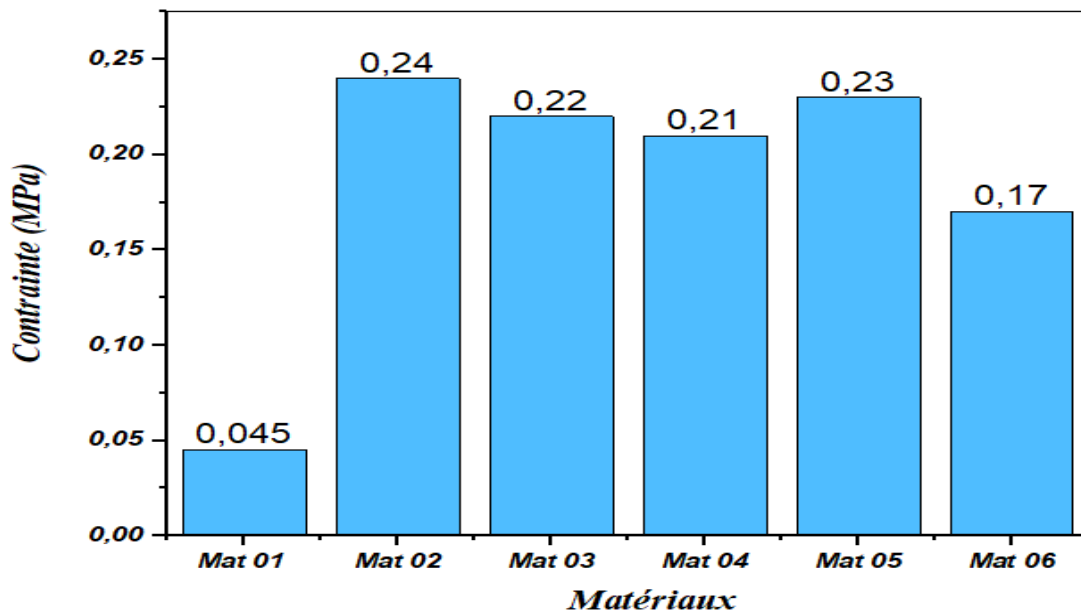


Figure V.8. Évolution des contraintes pour les composites.

Conclusions générales

Conclusions générales

Dans cette étude, on a mis en évidence les déchets de carton et de polystyrène pour les recycler et ainsi contribuer à une solution respectueuse de l'environnement et durable visant à diminuer les déchets et la consommation de ces ressources. Grâce à ces deux éléments (carton et polystyrène), il a été possible de créer un nouveau composé et d'analyser certaines de ses caractéristiques mécaniques, ce qui leur donne la possibilité d'être employés dans diverses applications en fonction des besoins.

- Les échantillons de Cartons/Polystyrène présentent un comportement similaire.
- Le polystyrène réduit une petite diminution à la mécanique du carton, ce qui lui confère des avantages supplémentaires en termes de souplesse et de praticité.
- L'augmentation du pourcentage de grains de polystyrène avec carton améliore les caractéristiques mécaniques, en particulier la résistance à la flexion. Cela est dû à une meilleure répartition des charges et à une plus grande cohésion entre les grains, améliorant la rigidité du matériau et sa résistance globale
- Effet de taille des grains sur le comportement des plaques possède la résistance la plus élevée parmi les matériaux testés. Cela indique que le mélange de grains de différentes tailles peut augmenter la résistance de la matière, en améliorant la cohésion interne et la distribution des charges au sein du matériau.

Les propriétés mécaniques des matériaux composites sont fortement influencées par l'ajout de polystyrène, l'augmentation du pourcentage de grains de polystyrène et l'utilisation de différentes tailles de grain. Plus précisément, l'utilisation d'un mélange de grains de diverses tailles dans Mat 05 (Mixed polystyrène 15%), où nous sommes arrivés à atteindre une valeur maximale comprise entre $\sigma = 0.23$ MPa. Cela a amélioré la résistance à la flexion et les performances globales grâce à l'effet de taille du grain.

En perspective, nous envisageons faire l'étude de transfert de chaleur de nos plaques pour donner plus de détails sur l'application de ce type de nouveau matériau dans le domaine d'isolation thermique des bâtiments ou dans les machines frigo-calorifiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] "Waste Management" et "Journal of Hazardous Materials".
- [2] La Fondation Ellen MacArthur.
- [3] L'Union européenne (Directive 2008/98/CE).
- [4] Wikipédia : Biomédical waste.
- [5] Garbage Land : On the Secret Trail of Trash" écrit par Elizabeth Royte.
Publié en 2005.
- [6] Ellen MacArthur Foundation. (2017). The New Plastics Economy :
Rethinking the future of plastics. The New Plastics Economy.
- [7] United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). Global
Resources Outlook 2019.
- [8] World Health Organization (WHO). (2016). Ambient (Outdoor) Air
Quality and Health.
- [9] l'Agence européenne pour l'environnement en Europe.
- [10] l'Agence de protection de l'environnement et de l'Organisation des
Nations Unies pour l'environnement (ONU Environnement).
- [11] Livre : "Waste and Want: A Social History of Trash" par Susan Strasser.
Ce livre explore l'histoire sociale et culturelle des déchets, y compris les
efforts de recyclage à travers le temps.
- [12] "Chemical Recycling of Plastics : Present Status and Future Prospects"
par R. T. Williams, publié dans la revue "RSC Advances" en 2019.
- [13] "The State of Composting in the U.S. : What, Why, Where & How" par
BioCycle et la Composting Council Research & Education Foundation
(CCREF)
- [14] EPA - Waste Management and Recycling
- [15] Univ. Frères Mentouri Constantine1 Faculté : Sciences de la Nature et de
la Vie Département de Biologie et Ecologie Végétale Responsable de la
matière : Dr. BAZRI K.E.D.

- [16] MAAMRIA Kholoud. Devenir des déchets papiers et carton dans la wilaya de Guelma. Juin 2022.
- [17] <https://sites.google.com/site/jeanrostandtechnologie/matierespremierresetmatériaux/proprietes-des-matériaux/proprietes-du-carton>.
- [18] **Julie** de Mes-Cartons.com.
- [19] futura-sciences.com.
- [20] Sfeir, J-M. et Vignes J-L. (2008). Éthylbenzène C₈H₁₀, Styrène C₈H₈. Société Chimique De France. Mis à jour, en septembre 2008.
- [21] 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.
- [22] CSEMP, emballages de matières plastiques, chambre syndicale des emballages des matières Plastique, France, 2002.

Résumé

L'étude menée met en évidence avec succès la capacité à fabriquer un matériau composite durable et écologique à partir de déchets de cartons et de polystyrène, deux matériaux couramment employés mais qui présentent des difficultés en matière de gestion des déchets. Les résultats obtenus mettent en évidence les performances prometteuses de ce matériau composite en ce qui concerne sa durabilité et sa résistance mécanique, ce qui lui confère une grande polyvalence pour de multiples applications industrielles. En outre, son emploi permettrait de diminuer les déchets tout en encourageant des pratiques plus respectueuses de l'environnement. Cependant, il est essentiel de mener des études supplémentaires afin d'améliorer les proportions de mélange et d'explorer d'autres caractéristiques particulières de ce matériau composite.

Abstract

The study successfully demonstrates the ability to produce a sustainable and environmentally friendly composite material from cardboard and polystyrene waste, two commonly used materials that present challenges in waste management. The results show the promising performance of this composite material in terms of durability and mechanical strength, which gives it great versatility for multiple industrial applications. In addition, its use would reduce waste while encouraging more environmentally friendly practices. In addition, its use would reduce waste while encouraging more environmentally friendly practices. However, it is essential to conduct additional studies in order to improve the mixing proportions and to explore other special characteristics of this composite material.

ملخص تبحث الدراسة إمكانية تطوير مادة مركبة قوية وصديقة للبيئة باستخدام نفايات الكرتون والبوليسترين، وهما مادتان شائعتا الاستخدام تواجهان تحديات كبيرة في إدارة النفايات. تظهر النتائج أن هذه المادة المركبة تتمتع بمتانة وقوة ميكانيكية واعدة، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في العديد من التطبيقات الصناعية. علاوة على ذلك، فإن اعتمادها يمكن أن يقلل من كمية النفايات ويعزز ممارسات بيئية أكثر استدامة. ومع ذلك، هناك حاجة لمزيد من الأبحاث لتحسين نسب الخلط واستكشاف خصائص إضافية لهذه المادة المركبة.