



Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

**En Génie Mécanique**

**Option : Construction mécanique**

Présenté par :

*Aymen Siefeddine Merichiche & Salah eddine Kadri*

### Theme

*Elaboration et caractérisation d'un nouveau matériau composite biodégradable à base de déchets et de fibres naturelles*

Devant le jury composé de :

| NOM et Prénom  | Grade      | Qualité   |
|----------------|------------|-----------|
| ROUABHI Youcef | MCB        | President |
| ROKBI Mansour  | Professeur | Encadreur |
| ZEGGANE Houari | MCB        | Examineur |

*Année Universitaire : 2024 / 2025*

**N° d'ordre : GM//2024**

## Dédicaces

*Ce dernier projet annuel est dédié à mes chers parents qui j'ai toujours été enthousiaste et motivé dans mes études. sans eux je ne pourrais pas cela n'a certainement pas été étudié depuis longtemps. ceci représente le projet académique final. c'est donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont apportés. cela m'a été fourni tout au long de mes études. Qu'ils soient reconnaissants c'est une dédicace très humble. c'est avec plaisir que je dédie cet ouvrage à toute l'honorable famille, en signe de reconnaissance et de gratitude envers eux. enfin, à mes amis qui n'ont jamais cessé de me soutenir.*

*Aymen Sief eddine Merichiche*

*Je profite de cette occasion pour dédier cet humble travail à :  
À ma mère qui m'a appris à affronter la vie avec courage mon  
père; Mes frères;  
À tous mes proches et à ma famille.  
À tous mes amis par leur nom.  
À tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.*

*Salah eddine Kadri*

## Remerciements

*On exprimons notre gratitude à Dieu Tout-Puissant pour  
Donne-nous la santé et la volonté de commencer et de finir. Ces  
notes. A la fin de ce travail, nous tenons à exprimer notre  
Gratitude et remerciements.*

*Nous remercions notre superviseur M. Rokbi Mansour pour  
son approbation. En encadrant cette thèse, son soutien et ses  
précieux conseils Il nous a toujours donné ses conseils jour.*

*Pendant la période de mise en œuvre de ces travaux, Nous  
tenons à exprimer notre gratitude à tous Membres du corps  
enseignant dans le hall d'entrée de l'Université de M'sila,*

*Nous tenons également à exprimer notre respect et Merci à  
tous les enseignants qui ont contribué par leurs efforts.  
Contribuez à notre éducation, de l'école primaire à  
L'université.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude à tous  
Les professeurs qui ont contribué à notre formation et Notre  
éducation tout au long de nos premières années d'école.*

*Je voudrais remercier tous ceux qui ont contribué, Qu'elle  
soit directe ou indirecte. Près ou loin de cette œuvre.*

## Table des matières

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| <b>Introduction générale</b> .....               | 2  |
| <b>Chapitre I</b> .....                          | 4  |
| <b>Généralités sur les déchets</b> .....         | 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.....                      | 5  |
| I.2.4. Sanitaire.....                            | 6  |
| I.3. Classification des déchets .....            | 6  |
| I.3.1. Déchets municipaux .....                  | 6  |
| I.3.2. Déchets dangereux.....                    | 6  |
| I.3.3. Déchets de construction.....              | 7  |
| I.3.4. Déchets industriels.....                  | 8  |
| I.3.5. Déchets organiques.....                   | 8  |
| I.4. Collecte des déchets .....                  | 9  |
| I.5. Avantages et Inconvénients des déchets..... | 9  |
| <b>Chapitre II</b> .....                         | 10 |
| <b>Fibres naturelles</b> .....                   | 10 |
| II.1.Introduction.....                           | 11 |
| II.2. Fibres naturelles .....                    | 11 |
| II.2.1.Fibres de jute .....                      | 11 |
| II.2.2.Fibres de chanvre .....                   | 12 |
| II.2.3.Fibres de sisal.....                      | 12 |
| II.2.4.Fibres de lin.....                        | 13 |
| II.2.5.Fibres de ramie.....                      | 14 |
| II.2.6.Fibres de malva .....                     | 14 |
| <b>Chapitre III</b> .....                        | 16 |
| <b>Recyclage</b> .....                           | 16 |
| III.1. Introduction .....                        | 17 |
| III.2.Définition du recyclage.....               | 17 |
| III.3. Principe du recyclage.....                | 18 |
| III.4. Histoire du recyclage .....               | 18 |

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| III.4. Type de recyclage .....                                        | 18        |
| III.4.1. Recyclage chimique .....                                     | 18        |
| III.4.2. Recyclage mécanique .....                                    | 18        |
| III.4.3. Recyclage organique.....                                     | 19        |
| III.5. Technique de recyclage .....                                   | 19        |
| III.5.1. Recyclage Mécanique .....                                    | 19        |
| III.5.2. Recyclage Chimique .....                                     | 19        |
| III.6. Avantages du recyclage .....                                   | 20        |
| III.7. Inconvénients .....                                            | 20        |
| II.9. Statistiques sur le recyclage .....                             | 21        |
| III.10. Type de déchets recycle .....                                 | 21        |
| III.10.1. Recyclage des plastiques .....                              | 21        |
| III.10.2. Recyclage des papiers .....                                 | 22        |
| III.10.3. Recyclage des verres.....                                   | 23        |
| III.10.4. Recyclage du bois .....                                     | 23        |
| III.10.5. Recyclage des métaux.....                                   | 24        |
| <b>Chapitre IV.....</b>                                               | <b>25</b> |
| <b>Carton et papier.....</b>                                          | <b>25</b> |
| IV.1. Introduction.....                                               | 26        |
| IV.2. Définition de carton.....                                       | 26        |
| IV.2.1. Histoire Du Carton.....                                       | 27        |
| IV.3. Définition de Papier.....                                       | 27        |
| IV.3.1. Histoire du papier .....                                      | 28        |
| IV.3.2. Différence entre le papier et le carton.....                  | 28        |
| IV.5. Avantages du carton et papier .....                             | 28        |
| IV.5.1. Avantages du carton .....                                     | 28        |
| IV.5.2. Avantages du papier .....                                     | 29        |
| IV.6. Inconvénients du carton et papier.....                          | 29        |
| IV.6.1. Inconvénients du carton.....                                  | 29        |
| IV.6.2. Inconvénients du papier.....                                  | 29        |
| IV.7. Plateaux d'œufs.....                                            | 29        |
| <b>Chapitre V .....</b>                                               | <b>31</b> |
| <b>Techniques expérimentales et preparation des échantillons.....</b> | <b>31</b> |
| V. Introduction .....                                                 | 32        |
| V.1. Matériaux .....                                                  | 32        |
| V.1.1. plateaux d'œufs .....                                          | 33        |
| V.1.2 Carton.....                                                     | 34        |

## Table des matières

---

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| V.1.3.Fiber naturelles (Malva).....                            | 34 |
| V.2. Elaboration des composites.....                           | 35 |
| V.3. Préparation des éprouvettes .....                         | 38 |
| V.4. Techniques de caractérisation des matériaux élaborés..... | 39 |
| V.4.1. Tests mécaniques .....                                  | 39 |
| V.4.1.1.Traction.....                                          | 39 |
| V.4.Préparation du moule .....                                 | 41 |
| <b>Chapitre VI</b> .....                                       | 45 |
| <b>Résultats et discussions</b> .....                          | 45 |
| VI.1.1. Analyse des courbes ( $P, \delta$ ) .....              | 46 |
| VI.1.2. Analyse des courbes ( $\sigma - \varepsilon$ ).....    | 47 |
| VI.1.3. Module de Young .....                                  | 48 |
| Conclusions générales .....                                    | 51 |

## Listedes figures

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Fig.I.1.Déchets municipaux. ....                       | 6  |
| Fig.I.2-Déchets dangereux. ....                        | 7  |
| Fig.I.3.Déchets construction. ....                     | 7  |
| Fig.I.4.Déchets industriels. ....                      | 8  |
| Fig.I.5.Déchets organiques. ....                       | 8  |
| Fig.II.1.Fibres de jute.....                           | 12 |
| Fig.II.2.Fibres de chanvre.....                        | 12 |
| Fig. II.3. Fibres de sisal. ....                       | 13 |
| Fig. II.4. Fibres de lin. ....                         | 13 |
| Fig. II.5. Fibres de ramie. ....                       | 14 |
| FigII.6. Fibres de malva.....                          | 15 |
| Fig.III.1.Logo de recyclage .....                      | 17 |
| Fig.III.2.Recyclage mécanique .....                    | 19 |
| Fig.III.3.Recyclage chimique .....                     | 20 |
| Fig.III.4.Recyclage des plastiques .....               | 22 |
| Fig.III.5.Recyclage des Papiers. ....                  | 22 |
| Fig.III.6.Recyclage des verres... ..                   | 23 |
| Fig.III.7.Recyclage du bois.....                       | 24 |
| Fig.III.3.Recyclage des métaux .....                   | 28 |
| Fig.IV.1.Carton .....                                  | 26 |
| Fig.IV2.Papiers .....                                  | 27 |
| Fig.IV3.Plateaux d'œufs .....                          | 31 |
| FigV.1.Plateaux d'œufs.....                            | 34 |
| Fig.V.2 Déchets carton .....                           | 35 |
| Fig.V.3.Les fiber naturelles (malva).....              | 35 |
| Fig.V.04.Processus de plateaux d'œufs. ....            | 37 |
| Fig .V.05.Processus de carton.....                     | 38 |
| Fig.V.06.Presse à chaud utilisée. ....                 | 39 |
| Fig.V.07.Plaques composites d'étude.....               | 40 |
| Fig.V.08.Les éprouvettes obtenues .....                | 41 |
| Fig.V.09.Schéma de l'éprouvette de traction .....      | 42 |
| Fig.V.10.Dispositif pour la traction deux points ..... | 43 |
| Fig.V.11.Mécanisme de fixation du gabrit .....         | 43 |

Liste des figures

---

FigV.12.Assiette en polystyrène..... 44

Fig.V.13.la plaque trempée dans plâtre ..... 44

Fig.V.14 .Moule et conter moule ..... 45

Fig.V.15.Presse hydraulique .....45

Fig.V.16. Produire final .....46

Fig.VI.1. Types de rupture.....48

Fig.VI.2.Evolution de la courbe charge fonction de la deformation .....49

Fig.VI.3. Evolution de la courbe contrainte fonction de la deformation .....50

Liste des Tableaux

Tableau.IV.01.Différence entre papier et carton.....28

Tableau.V.01.Propriétés des fibres de malva .....36

TableauV.2.Proportions (carton et plats aux œufs et fibres naturelles malva).....36

Tableau.VI.01.Contraintes des matériaux testés .....50

Tableau.VI.01Module de young des matériaux testés .....50

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Face à l'augmentation constante des déchets solides, les déchets d'emballages tels que les plateaux d'œufs, le carton et les fibres naturelles représentent une part non négligeable des rejets domestiques et industriels. en Algérie, par exemple, des milliers de tonnes de ces matériaux sont jetés chaque année sans valorisation, aggravant ainsi la pression sur l'environnement. Une gestion plus efficace passe par leur réutilisation dans des domaines innovants.

Le recyclage de ces déchets permet non seulement de réduire leur accumulation, mais aussi de leur donner une seconde vie en tant que matières premières. en les transformant en composants de nouveaux matériaux composites, on contribue à une économie circulaire et à la préservation des ressources naturelles.

La synthèse de nouveaux matériaux composites est en effet un processus innovant pour répondre aux besoins élargis des utilisateurs en efficacité, en rentabilité et en durabilité. En les associant ingénieusement dans un seul assemblage, les scientifiques parviennent à développer des matériaux qui surpassent les propriétés des matériaux traditionnels, ouvrant ainsi la porte à de nouveaux horizons dans des domaines variés comme l'emballage, la construction ou bien l'automobile.

Ces développements dans le domaine de la science des matériaux ne s'arrêtent pas aux avantages techniques ; ils présentent également des réponses concrètes aux grands défis environnementaux aux quels notre époque est confrontée.

Dans cette perspective vient notre collaboration : il s'agit d'utiliser les déchets des plateaux d'œufs, du carton et des fibres naturelles pour produire un nouveau matériau composite à faible impact environnemental et à potentiel technique intéressant.

Notre travail se devise en six chapitres :

*Le chapitre I* offre une vision globale sur la notion de déchet, ses différentes classifications (ménagers, industriels, organiques, etc.), ainsi que les enjeux environnementaux liés à leur accumulation. Il met en lumière les principes fondamentaux de la gestion durable des déchets, et des politiques de réduction à la source.

*Le chapitre II* présente les fibres naturelles, leurs origines, leurs propriétés, ainsi que leur intérêt croissant dans la fabrication de matériaux composites écologiques.

*Le chapitre III* les différents procédés de recyclage, leur rôle dans la valorisation des déchets et leur contribution à la réduction de l'impact environnemental, notamment dans le contexte de l'économie circulaire.

*Le chapitre IV* analyse les matériaux utilisés dans notre étude, tels que le papier d'œufs, le carton et les fibres naturelles, en mettant en lumière leurs caractéristiques et leur compatibilité dans une matrice composite.

*Le chapitre V* décrit les étapes de fabrication du matériau composite, les protocoles suivis, les conditions d'essai, ainsi que les outils et équipements utilisés pour l'élaboration et le test des éprouvettes.

*Le chapitre VI* présente les résultats obtenus à partir des essais, leur interprétation et une discussion critique sur les performances du matériau développé.

Enfin, une conclusion générale et perspectives.

Ce travail a permis de concevoir un composite biodégradable à base de déchets recyclés et de fibres naturelles, offrant une alternative écologique prometteuse. Des améliorations futures pourraient porter sur l'optimisation des formulations .



*Chapitre I*

*Généralités sur les déchets*

## **I.1.Introduction**

L'augmentation de la population et l'urbanisation rapide face aux défis environnementaux posés par la gestion des déchets. D'un autre côté, il y a une tendance croissante à l'utilisation des ressources naturelles renouvelables et biodégradables telles que les fibres naturelles. La consommation de ces dernières a également augmenté dans les secteurs de la construction, de l'emballage, et des matériaux composites. Ce chapitre fournit des définitions et des classifications des déchets, et donne une vue d'ensemble des fibres naturelles ainsi que leur potentiel pour une économie circulaire.

## **I.2.Définition du déchet**

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire [1]

### **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 [2].

### **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 [3].

### **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 [4].

### I.2.4. Sanitaire

La mauvaise gestion des déchets a des conséquences sanitaires graves, en particulier dans les zones où les systèmes de collecte et de traitement sont insuffisants. Les déchets, en particulier les déchets organiques non traités, attirent les vecteurs de maladies tels que les mouches, moustiques, rats, et autres rongeurs [5].

## I.3. Classification des déchets

### I.3.1. 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 [4].



**Fig.I.1.**Déchets municipaux

### I.3.2. Déchets dangereux

Ce sont des déchets qui contiennent en quantités variables des éléments toxiques pour la santé humaine et ou l'environnement. Cette qualité ne présume pas de leur origine, qui peut être domestique, industrielle ou agricole [6]. Ces déchets comme (restes

de peinture et de colles piles résidus de produit d'entretien, déchets chimiques et huiles de vidange principalement), produits en petites quantités par les ménages, de l'ordre de 2 kg par an et par habitant (Fig.I.2) [7].



**Fig.I.2.**Déchets dangereux

### **I.3.3. Déchets de construction**

Les déchets de construction et de démolition (Fig I.3) 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 [4].



**FigI.3.**Déchets de construction

### I.3.4. Déchets industriels

Les déchets des entreprises industriels, commerciales et artisanales sont les déchets dont l'élimination incombe à l'entreprise. ils comprennent des matériaux de natures divers (déchets de fabrication, emballages vides, sous-produits de production, rebuts, produits, obsolètes, résidus de nettoyage solides ou liquides (**FigI.4**) [8].



**Fig I.4.**Déchets industriels

### I.3.5. Déchets organiques

Ces déchets sont composés de matière organique caractérisée par la présence de carbone issu d'organismes vivants, végétaux ou animaux. ces déchets peuvent subir un phénomène de biodégradabilité (**Fig.I.5**) ce caractère fermentescible leur confère un caractère évolutif dans le temps. Ils ont des origines diverses : aliments, espaces verts ... les ordures ménagères par exemple contiennent une fraction fermentescible représentant environ 30% de leur poids humide [8].



**Fig.I.5.** Déchets organiques

---

#### **I.4. 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 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 [9].

#### **I.5. 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 :

- **Ressources recyclées**

La dématérialisation signifie utiliser moins de ressources naturelles, en utilisant plus de ressources recyclées et en prolongeant la vie de produits [10].

- **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 [10].

# *Chapitre II*

## *Fibres naturelles*

## **II.1.Introduction**

Face aux enjeux environnementaux croissants et à la nécessité de réduire la dépendance aux matériaux synthétiques issus de ressources fossiles, les fibres naturelles suscitent un intérêt scientifique et industriel de plus en plus marqué. issues de sources renouvelables telles que les plantes, les animaux ou les minéraux, ces fibres présentent plusieurs avantages notables : elles sont biodégradables, abondantes, légères, peu coûteuses et souvent dotées de bonnes propriétés mécaniques

## **II.2. Fibres naturelles**

Les fibres naturelles sont des matériaux filamenteux issus de la biomasse. elles peuvent être extraites du fruit, de la tige ou de la feuille d'une plante cultivée, des arbustes et des herbes. Sont susceptibles d'être filées pour fabriquer des fils et des cordes. elles sont tissées, tricotées ou tressées pour confectionner des textiles indispensables à la société. la fibre naturelle présente une variabilité très importante en fonction de leur origine.

En effet, les dimensions des filaments naturels dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. la variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre naturelle [11].

### **II.2.1.Fibres de jute**

Le jute sont des arbustes de 2 à 4 m de haut, à tige rigide et fibreuse de 2 cm de diamètre environ, et ramifiée seulement dans la partie supérieure. les feuilles, longuement pétioles, à limbe triangulaire font 10 à 15 cm de long sur 5 cm de large (**FigII.1**). le jute se situe en sud-est asiatique. les principaux producteurs sont l'Inde, le Bangladesh et la Chine.

Les composites à matrice thermoplastique renforcée par des fibres de jute ont été utilisés dans l'industrie en Allemagne pour fabriquer les portes en panneaux composites la fibre de jute est utilisée par les tireurs d'élite pour créer un filet de la forme d'un vêtement. ce type de vêtement de camouflage est appelé une ghillie suit. diverses recherches ont été réalisées sur ces composites, ces études ont porté notamment sur la stabilité thermique, la cristallinité, la durabilité, l'orientation des fibres, le frottement à l'usure, et l'éco-conception des composants automobiles [12].



**FigII.1.**Fibres dejute

### **II.2.2.Fibres de chanvre**

Le chanvre est une variété de plante cultivée. c'est une plante annuelle de la famille cannabis (**FigII.2**). Les principaux producteurs sont la France et l'Italie. les fibres de chanvre sont très recherchées comme renfort dans les composites à matrice thermoplastique à cause de sa grande rigidité et de son intérêt économique. elles sont appliquées dans les structures internes, les pièces automobiles et les matériaux de construction [13]



**FigII.2.**Fibres de chanvre

### **II.2.3.Fibres de sisal**

Le sisal est le nom de la fibre extraite des feuilles d'une plante appelée l'Agave constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2m de long (**FigII.3**). l'originare de l'est du mexique, cette fibre sert à la fabrication de cordage, de tissus grossiers et de tapis.[14]



**FigII.3.**Fibres de sisal

#### **II.2.4.Fibres de lin**

Le lin est une plante cultivée dans les régions tempérées. Il se présente sous l'aspect d'une tige unique pouvant atteindre une hauteur voisine de 1m pour un diamètre au collet de l'ordre de 2 mm. sur cette tige se répartissent 80 à 100 feuilles simples. la fibre de lin est la plus ancienne au monde, elle est trouvée dans la grotte de géorgie, les pays asiatique centrale et l'égypt (FigII.4). la fibre de lin est parmi l'une les fibres naturelles utilisée comme renfort dans les composites à matrice thermoplastiques pour les structures internes dans l'industrie automobile. en 1941, ces composites ont été utilisés pour fabriquer les carrosseries de voitures Henry Ford, pour avoir une résistance 10 fois plus élevée que l'acier sous l'impact [12].



**FigII.4.**Fibres de lin

### II.2.5.Fibres de ramie

Le nom scientifique de la ramie est *boehmeria nivea*. c'est une plante vivace herbacée de 1m à 2,5 m de haut, avec des feuilles de forme de cœur, de 7 à 15 cm de longueur et de 6 à 12 cm de large et de couleur blanches sur la face inférieure avec des petits poils denses. aujourd'hui, la ramie est principalement cultivée en chine, brésil, philippines, inde, corée du sud, thaïlande et états-unis d'amérique. les fibres de ramie ont une longueur moyenne comprise entre 40 et 250 mm, un diamètre moyen de 45µm. ces fibres sont utilisées comme renforts dans les composites à matrice polyester, époxy et polypropylène (FigII.5). [15]



**FigII.5.**Fibre de ramie

### II.2.6.Fibres de malva

Le malva communément appelée mauve, ou khobiza (nom arabe), est originaire d'afrique du nord, d'europe et d'asie. cette plante herbacée annuelle est utilisée depuis long temps comme plante médicinale, pour l'alimentation humaine et animale.

Les tiges, les feuilles et les fleurs violettes sont les parties apparentes de la mauve. Dans des conditions favorables, cette plante peut atteindre une hauteur supérieure à 1,8 m.<sup>32</sup> dans cette étude, des fibres cellulosiques ont été extraites des tiges de la plante MS grâce à une technique d'extraction écologique [16]



**FigII.6.** Fibres de malva

# *Chapitre III*

## *Recyclage*

### III.1. Introduction

Le recyclage est utilisé dès l'âge du bronze. à cette époque, les objets métalliques usagés sont fondus afin de récupérer leur métal pour la fabrication de nouveaux objets. dans toutes les civilisations, l'art et la manière de « faire du neuf avec du vieux » existent. par exemple, les vieux chiffons, puis les papiers et cartons, sont récupérés pour faire de la pâte à papier. la situation change avec le développement progressif puis massif de l'industrialisation et de la consommation la gestion des matières premières et des déchets deviennent peu à peu de plus en plus difficile, les unes devenant trop rares et les autres trop envahissantes [17].

### III.2. Définition du recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets (déchet industriel ou ordures ménagères) qui permet de réintroduire, dans le cycle de fabrication d'un produit, des objets, des matériaux usagés, ou des résidus de fabrication. parmi les exemples qui illustrent ce procédé est celui de la fabrication de bouteilles neuves avec le verre de bouteilles usagées, ou le papier neuf avec des vieux papiers et cartons usagés (Fig III.1). le recyclage des déchets a deux conséquences écologiques majeures, il permet d'abord d'économiser de la matière première et donc de préserver les ressources naturelles de notre planète, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire, il permet également de réduire le volume et le poids de nos poubelles et donc de limiter les risques de pollution de l'air et des sols (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles, pour se dégrader [18].



**Fig. III.1.** Logo de recyclage.

### **III.3. 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 [19].

Donc une nouvelle politique rigoureuse de la part des décideurs est nécessaire et doit se porter non seulement sur la gestion des déchets par les instances municipales, mais une vraie politique pour valoriser le maximum de ces déchets, c-à-d de les récupérer, les transformer pour les réutiliser. les pouvoirs publics doivent réglementer des lois sur le dispositif de l'évacuation sélective des déchets par les consommateurs [20].

### **III.4. Histoire du recyclage**

Le recyclage a une longue histoire qui remonte à plusieurs siècles, avec des débuts documentés dès le XVI<sup>e</sup> siècle en France, lorsque François 1<sup>er</sup> 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 [21].

### **III.4. Type de recyclage**

#### **III.4.1. Recyclage chimique**

Le recyclage chimique : est un recyclage qui utilise une réaction chimique pour traiter les déchets [22].

#### **III.4.2. 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 [23].

#### III.4.3. Recyclage organique

Le recyclage organique : consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz [22].

#### III.5. Technique de recyclage

Le recyclage constitue un domaine d'action du développement durable, qui consiste en la réintroduction directe d'un déchet dans le circuit de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel de la matière première. ainsi, selon la nature des plastiques, deux types de recyclage peuvent être distingués [22].

##### III.5.1. Recyclage Mécanique

Il est essentiellement réservé aux thermoplastiques, qui consistent à broyer et refondre la matière plastique réversible pour fabriquer des produits finis commercialisables, des granulés ou des poudres de plastique (**FigIII.2**). ces derniers sont commercialisés sous la même forme que le granulé de résine vierge, qui peut servir à fabriquer des vêtements, des tuyaux, renforts de chaussures [22].



**FigIII.2.**Recyclage mécanique

##### III.5.2. Recyclage Chimique

Consiste à décomposer les plastiques en leurs éléments de base, soit en monomères, soit en pétrole, par un procédé chimique (pyrolyse, hydrogénation, etc.) ou thermique par l'incinération des plastiques afin de récupérer leurs chaleurs et de l'utiliser comme source d'énergie pour le chauffage, la production d'électricité ou de vapeur (**FigIII.3**) [24].



**FigIII.3.**Recyclage chimique

### III.6. Avantages du recyclage

- **Reprise de matière première** : lorsque le produit est principalement composé d'une ou plusieurs matières premières facilement séparables et réutilisables, on peut le collecter à cette fin.

- **Conversion en d'autres produits** : en certains cas (matières fermentescibles les produits ne peuvent être recyclé ni sous la forme initiale ni sous forme de matières premières on peut tout carburant (gaz naturel, biogaz principalement). on parle alors de revalorisation.

- **Récupération d'énergie** : on peut faire brûler le déchet pour récupérer de l'énergie : c'est l'incinération d'ordures. ce pendant, ceci ne consiste pas à proprement parler une opération de recyclage. On parle alors de valorisation énergétique par opposition à la valorisation de matière qui consiste le recyclage [25].

### III.7. Inconvénients

- **Coûts financiers** : le recyclage peut imposer des coûts supplémentaires aux entreprises et aux collectivités ententes de collecte, de tri et de traitement des déchets [26] .

- **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 [26].

- **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 [26].

## II.9. Statistiques sur le recyclage

Les matériaux les plus recyclables sont :

- **Papier et carton** : ils sont largement recyclés et peuvent être transformés en nouveaux produits en papier et carton [27].
- **Verre** : le verre est un matériau durable 100 % recyclable. il peut être fondu et utilisé indéfiniment pour fabriquer de nouveaux produits en verre [27].
- **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 [27].
- **Plastique** : certains types de plastique sont recyclables, comme les bouteilles en plastique, les flacons, les pots, les barquettes et les films plastiques. ce pendant, tous les plastiques ne sont pas recyclés de la même manière [27].

## III.10. Type de déchets recycle

### III.10.1. Recyclage des plastiques

Le recyclage existait de puis l'âge de bronze (il y a 6000 ans), mais ce n'est qu'à partir du 19<sup>ème</sup> siècle qu'il s'est accentué notamment avec l'industrialisation massive et le changement dans les modes de vie et de consommation en effet , à partir des années 1970 et avec la mise en place du rapport Meadows « Halte à la croissance » pour dénoncer les surexploitations des ressources naturelles, le recyclage est placé comme un des procédés qui permet d'économiser les ressources et l'énergie dans une logique de développement durable. par ailleurs, le recyclage des déchets plastiques devient de plus en plus important car il permet de transformer les déchets en ressources qui, sous la pression conjuguée de l'évolution démographique et de l'épuisement relatif des matières premières, deviennent indispensables à l'économie mondiale (**Fig.III.2**) [28].



**Fig.III.4.**Recyclage des plastiques

### **III.10.2.Recyclage des papiers**

La première étape consiste à maintenir en suspension dans l'eau les fibres issues des vieux papiers et cartons récoltés. la pâte grisâtre obtenue est soumise à un processus de nettoyage afin d'en extraire les agrafes, la laque, le vernis, les restes de colle, les morceaux de plastique, les cordons, etc. la production de certains papiers recyclés demande une étape supplémentaire de désencrage car l'encre encore présente sur les fibres traitées influence la couleur et l'homogénéité du produit fini. une dernière étape de blanchiment, grâce au peroxyde d'hydrogène, est généralement (Fig.III.3).

De plus également, certains papiers recyclés s'avèrent plus écologiques que d'autres, en fonction du taux de fibres recyclées incorporées dans le papier (entre 50 % et 100 %) et des traitements subis pendant le recyclage (désencrage, blanchiment). Ainsi, le papier 100 % recyclé, non blanchi et non désencré sera le plus écologique [29].



**Fig.III.5.**Recyclage des papiers.

### III.10.3.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 (Fig.III.4). 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 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 [30].



**FigIII.6.**Recyclage des verres

### III.10.4. Recyclage du bois

Le recyclage du bois désigne l'ensemble des procédés permettant de réutiliser le bois usagé ou les déchets de bois (palettes, meubles, déchets de construction, etc.) pour produire de nouveaux matériaux, comme des panneaux agglomérés, ou de l'énergie via la combustion dans des chaudières biomasse (Fig.III.5).

Ce recyclage contribue à la réduction des déchets enfouis, à la préservation des ressources forestières, et à la limitation des émissions de gaz à effet de serre [31].



**FigIII.7.**Recyclage du bois.

#### **III.10.5.Recyclage des métaux**

Le recyclage des métaux est le processus qui consiste à collecter, trier, traiter et refondre les métaux usagés (comme l'aluminium, le fer, le cuivre, etc.) afin de les réutiliser dans la fabrication de nouveaux produits.

Ce processus permet de préserver les ressources naturelles, de réduire l'énergie consommée par rapport à l'extraction minière, et de limiter les impacts environnementaux (gaz à effet de serre, pollution des sols et de l'eau (**Fig.III.6**) [32].



**Fig.III.8.**Recyclage des métaux.

# *Chapitre IV*

## *Carton & Papier*

## IV.1.Introduction

Carton et papier sont les deux matériaux utilisés couramment dans notre vie, entre autres aux secteurs de l'emballage, de l'impression, de la communication et de la protection des produits. bien que soient fabriqués à partir de la même matière première (principalement du bois qui produit des fibres de cellulose), ils se définissent enfin par leur structure, épaisseur et usages.

Avec l'augmentation de la consommation mondiale et le développement du commerce, la quantité de déchets en papier et en carton ne cesse de croître. cette situation soulève des enjeux environnementaux importants, notamment en termes de gestion des ressources naturelles et de traitement des déchets. heureusement, ces matériaux sont hautement recyclables, ce qui en fait des éléments clés dans les stratégies de développement durable et d'économie circulaire.

Ce chapitre vise à présenter les caractéristiques du papier et du carton, leurs différentes utilisations, ainsi que les méthodes de recyclage et les bénéfices environnementaux qui en découlent.

## IV.2.Définition de carton

Le carton est défini comme un papier plus épais et plus lourd que le papier ordinaire, dont le poids varie de 225 g/m<sup>2</sup> à plus de 500 g/m<sup>2</sup>, et qui se caractérise par sa rigidité et sa capacité à être imprimé et façonné (**Fig. IV.1**) [33].



**Fig.IV.1.** Carton.

### IV.2.1.Histoire Du Carton

Le carton, matériau à base de fibres de cellulose, a vu le jour comme une évolution du papier. il est apparu pour répondre à un besoin de solidité supérieure et de protection des marchandises, notamment avec l'essor de l'industrialisation et du commerce.

Le premier usage documenté du carton remonte à la Chine au XVe siècle, où l'on utilisait des feuilles épaisses de papier pour fabriquer des objets ou des emballages rudimentaires. ce pendant, ce n'est qu'au XIXe siècle en Europe que le carton, tel qu'on le connaît aujourd'hui, a réellement été développé.

Le carton ondulé, une invention révolutionnaire dans le domaine de l'emballage, a été brevetée en 1856 en Angleterre par Edward Ellis Allen et Edward Charles Healey, d'abord utilisé comme doublure pour les chapeaux hauts-de-forme. il a ensuite été adapté pour le conditionnement des produits fragiles. en 1871, l'Américain Albert L. Jones a breveté le carton ondulé à usage d'emballage, suivi par Oliver Long qui a introduit la double paroi pour une meilleure rigidité en 1874.

Avec l'expansion du commerce mondial au XXe siècle, le carton est devenu un matériau clé dans la logistique, grâce à sa légèreté, sa résistance et sa recyclabilité [34].

### IV.3. Définition de Papier

Le papier (du latin papyrus) est une matière fabriquée à partir de fibres cellulosiques végétales et animales. Il se présente sous forme de feuilles minces et est considéré comme un matériau de base dans les domaines de l'écriture, du dessin, de l'impression, de l'emballage et de la peinture (Fig. IV2) [35].



Fig.IV.2.Papier

### IV.3.1.Histoire du papier

Le papier, notre support de communication principal, fut inventé en Chine au II<sup>e</sup> siècle, exporté au Moyen-Orient au VII<sup>e</sup> siècle puis diffusé en Europe, notamment à la suite des croisades, vers le XI<sup>e</sup> siècle. la France garda, jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle, une place prédominante dans sa fabrication au plan mondial. il s'agissait alors, et jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, de "papiers de chiffons" préparés à partir de vieilles toiles de lin et de chanvre fermentées, broyées dans l'eau sous forme de pâte puis pressées en feuilles. le moulin "Richard de Bas" à Ambert (Auvergne) présente encore ce mode de fabrication à des fins touristiques. dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, l'expansion démographique, la diffusion de la culture et des idées, et l'explosion de l'imprimerie firent du papier une matière rare et chère. on cherchait alors, par tous les moyens, à récupérer les vieux tissus, allant même jusqu'à collecter les linceuls mortuaires. ce ne fut qu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle que l'on découvrit la fabrication de papier à partir de bois, fabrication rendue possible grâce au pourcentage élevé de cellulose contenue dans ce matériau [36].

### IV.3.2. Différence entre le papier et le carton

Le papier et le carton sont fabriqués en utilisant pratiquement la même technologie, mais, malgré cela, à certains égards, ils ne sont pas similaires les uns aux autres [37].

- Papier : matériau en feuille, la matière première pour la quelle sont des fibres naturelles
- Carton : est un matériau solide dense obtenu à partir du traitement de la pâte à papier [37].

**Tableau IV.1:** Différence entre papier et carton

| Papier                                    | Carton                                   |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| Poids par mètre carré - pas plus de 250 g | Poids par mètre carré - plus de 250 g    |
| Épaisseur limite - 0,2 mm                 | Traditionnellement plus épais que 0,2 mm |
| Monocouche                                | Parfois multicouche                      |
| Moins de rigidité                         | Plus grande rigidité                     |

## IV.5.Avantages du carton et papier

### IV.5.1.Avantages du carton

- Le carton est un matériau solide
- Le carton est un matériau très polyvalent
- Le carton est un matériau pratique
- Le carton est un matériau naturel et écologique
- Le matériau carton est particulièrement apprécié dans le packaging alimentaire
- Le carton résiste efficacement aux chocs et aux vibrations
- Le carton est un matériau peu onéreux à sa fabrication

- Le matériau est très apprécié des artistes et créateurs [38].

#### **IV.5.2. Avantages du papier**

- Relativement économique à fabriquer et offrant une très large
- gamme en propriétés mécaniques et en qualité d'aspect quelles que soient ses dimensions
- Léger et facile à travailler par découpage, pliage
- Facile et peu encombrant à stocker à plat
- Adaptable à différentes contraintes par contre-collage
- Apte à subir différents traitements
- Aisé à manipuler
- Recyclable et biodégradable [39]

#### **IV.6. Inconvénients du carton et papier**

##### **IV.6.1. Inconvénients du carton**

- Sensibilité à l'humidité le carton-papier peut être sensible à l'humidité, entraînant potentiellement une déformation et une perte de résistance.
- Le carton présente aussi quelques inconvénients notamment lorsqu'il n'est pas traité [40].

##### **IV.6.2. Inconvénients du papier**

- Ne peut s'adapter à toutes les forms
- Non traité, il craint l'humidité et le feu aussi bien lors du stockage que de l'utilisation [39].

#### **IV.7. Plateaux d'œufs**

Est un matériau léger et économique, obtenu à partir de déchets de papier et de carton récupérés, broyés puis moulés sous forme de plateaux alvéolés. Il constitue une solution de valorisation efficace des résidus de cellulose, en particulier dans les démarches de recyclage local. ce type de matériau est de plus en plus utilisé comme charge ou renfort dans la fabrication de composites écologiques, grâce à sa biodégradabilité, son faible coût, et ses propriétés isolantes intéressantes (Fig.IV.3) [40] [41].

##### **Composition:**

Fabriqués essentiellement à partir de papier et carton recyclés (pâte cellulosique), ils contiennent souvent des fibres naturelles courtes issues de déchets industriels ou domestiques.

Leur structure peut aussi incorporer des additifs naturels pour améliorer la cohésion ou la résistance.

**Structure :**

- Structure alvéolaire : conçue pour amortir les chocs et protéger le contenu (œufs, dans leur usage initial).
- Surface poreuse et rugueuse : facilite l'absorption et l'adhérence dans les mélanges composites.

**Propriétés physiques:**

- Légèreté : densité très faible, ce qui facilite le transport et la manutention.
- Porosité élevée : utile pour l'absorption de liquides ou comme matrice pour d'autres composants.
- Faible résistance mécanique à l'état brut, mais peut être renforcée par ajout de liants ou résines [42].

**Propriétés thermiques:**

- Faible conductivité thermique : bon isolant thermique dans les applications d'emballage ou de construction.
- Résistance à l'eau et à la chaleur limitée, sauf en cas de traitement de surface ou incorporation de matériaux hydrophobes [43].

**Biodégradabilité:**

- Entièrement biodégradables et compostables, ils peuvent se décomposer naturellement en quelques semaines.
- Recyclables et intégrables dans des matériaux composites biosourcés.



**Fig.IV.3.**Plateaux d'œufs

*Chapitre V*  
*Techniques expérimentales*  
*& preparation des échantillons*

## **V.Introduction**

L'augmentation de la conscience environnementale et des enjeux liés au développement durable a suscité de nombreuses recherches visant à concevoir des matériaux composites plus respectueux de l'environnement. dans cette optique, notre étude s'inscrit dans une démarche de valorisation des déchets recyclables tels que le carton, le papier et les fibres naturelles, en vue de développer des matériaux composites pouvant être utilisés dans diverses applications.

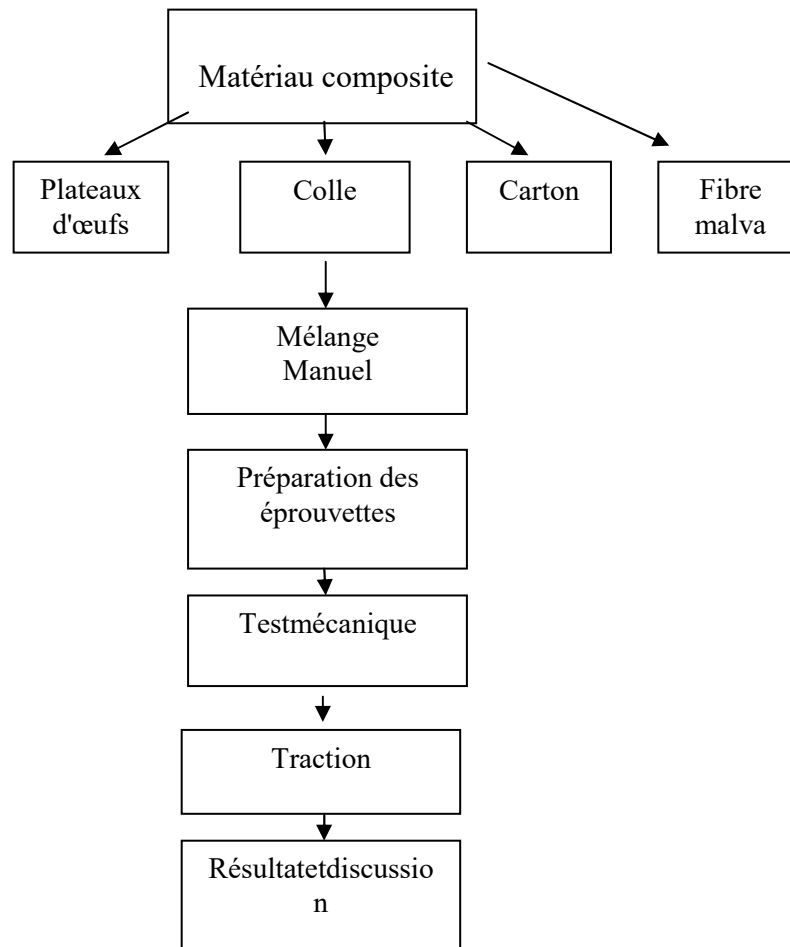
Ce chapitre présente les travaux réalisés au sein du laboratoire de moulage situé dans le hall technologique de l'Université Mohamed Boudiaf de M'Sila. nous avons fabriqué des composites à partir de ces déchets, et réalisé un moule simple servant de support de démonstration, dans le but d'illustrer le potentiel de commercialisation future du produit.

### **V.1. Matériaux**

Le carton, les plateaux à œufs et les fibres de Malva (ou khobiza) ont été sélectionnés comme matériaux de base recyclés, en raison de leur disponibilité locale et de leur fort potentiel de valorisation. ces matériaux ont été choisis également pour leurs bonnes propriétés mécaniques, permettant leur intégration dans la fabrication de matériaux composites respectueux de l'environnement.

Avant leur utilisation dans les essais, les matériaux ont été soigneusement nettoyés, puis découpés en dimensions appropriées afin d'assurer une répartition homogène dans le composite.

Le carton utilisé dans cette étude a été collecté auprès du centre de récupération des déchets de papier de notre université. sa disponibilité locale et sa facilité de recyclage en font un choix pertinent pour notre recherche.



### V.1.1.plateaux d'œufs

Matériau très léger. Concernant la résistance à la chaleur, ils supportent des températures allant jusqu'à 100 °C sans déformation majeure, mais commencent à se dégrader au-delà de 120 °C, en raison de leur nature cellulosique non traitée.



**FigV.1** Plateaux d'œufs

### V.1.2 Carton

Le carton 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 (**Fig V.2**).

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.



**Fig V.2.** Déchets carton

### V.1.3. Fiber naturelles (Malva)

La Malva, ou mauve, est une plante herbacée appartenant à la famille des Malvaceae, cultivée dans plusieurs régions pour ses propriétés médicinales, mais récemment étudiée aussi pour ses fibres naturelles à des fins industrielles et écologiques (**Fig. V.3**).



**Figure. V.3.** Les fiber naturelles (Malva.)

**Tableau .V.01** Propriétés des fibres de Malva

| Propriété            | Description                          |
|----------------------|--------------------------------------|
| Origine              | Végétale (cellulosique)              |
| Densité faible       | Léger, utile pour des composites     |
| Résistance mécanique | Moyenne à bonne selon le traitement  |
| Biodégradable        | Oui, respectueuse de l'environnement |

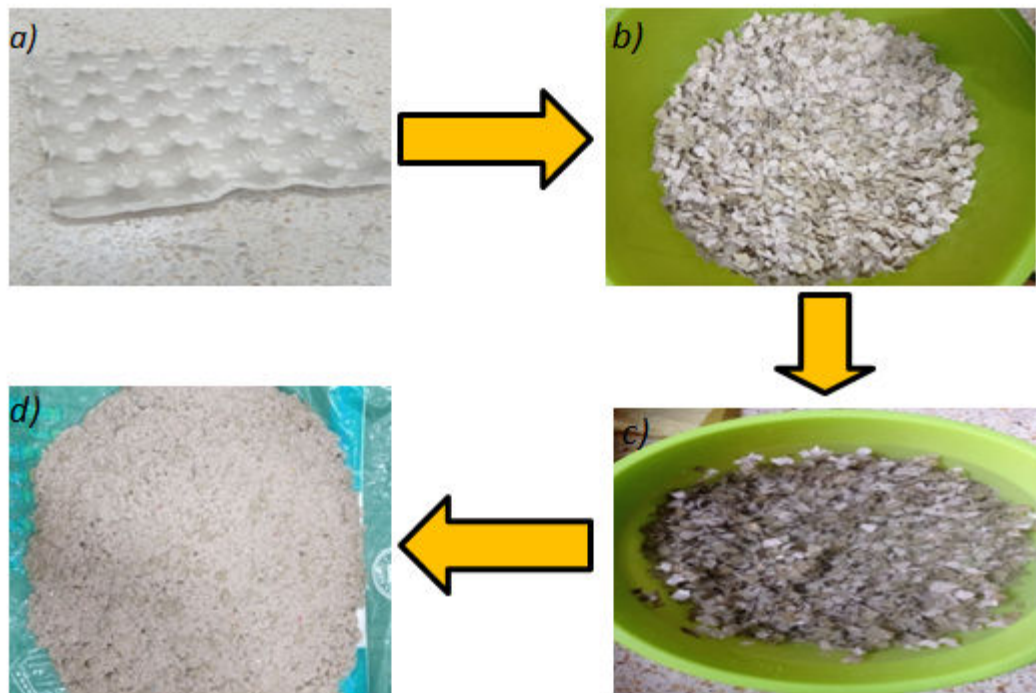
## V.2. Elaboration des composites

Pour commencer, nous avons examiné un mélange de carton et de plats aux œufs 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 :

- Durabilité du carton et du plateau à œufs
- Dans quelle mesure les fibres naturelles (malva) affectent la durabilité et la flexibilité des matériaux composites Sur le comportement mécanique de la structure carton renforcée et plateaux d'œufs nous avons élaboré quatre structures en respectant les proportions (carton et de plateaux d'œufs) fournies dans le tableau ci-dessous. (Voir tableau V02)

**Tableau.V.02** proportions (carton et de plateaux d'œufs et fibres naturelles (Malva)

| N° | Taux de Carton | Taux de plateaux d'œufs | Taux de fibres naturelles (malva) | Désignations |
|----|----------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 1  | 0%             | 100%                    | 0%                                | <b>Mat01</b> |
| 2  | 30%            | 70%                     | 0%                                | <b>Mat02</b> |
| 3  | 0%             | 99%                     | 1%                                | <b>Mat03</b> |
| 4  | 0%             | 98%                     | 2%                                | <b>Mat04</b> |



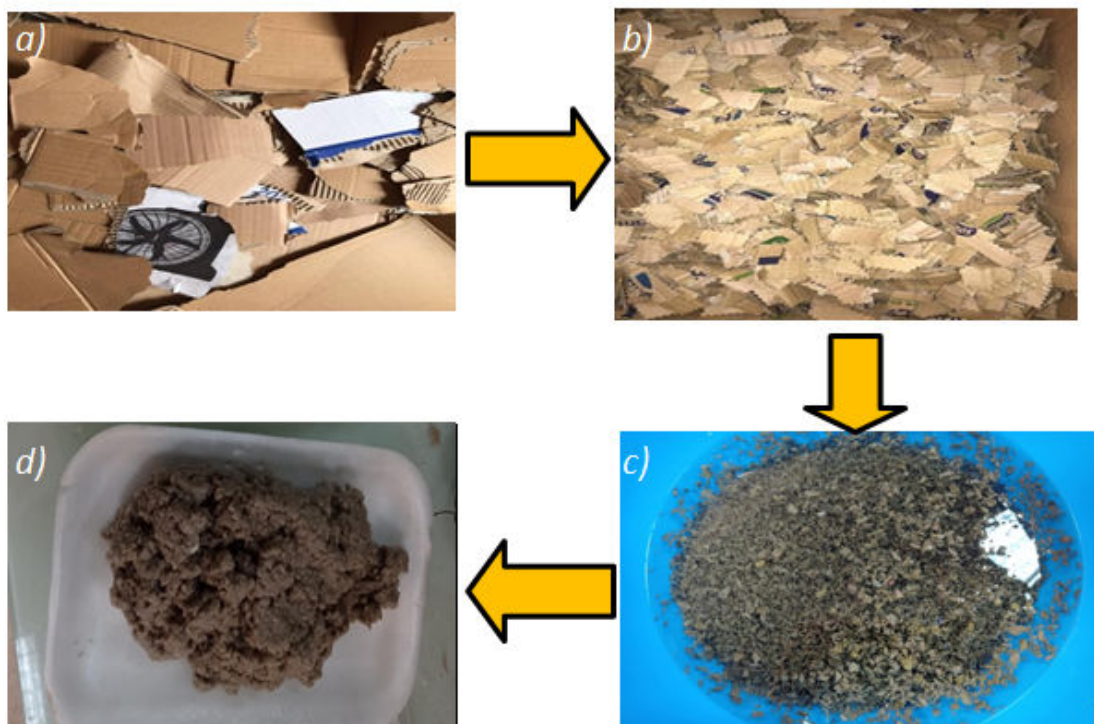
**FigV.04.**Processus de plateaux d'œufs

a) Plateaux d'œufs

b) Découpage de plateaux d'œufs

c) Plateaux d'œufs dans l'eau

d) pâte à plateaux d'œufs



**Fig V.05.**Processus de carton

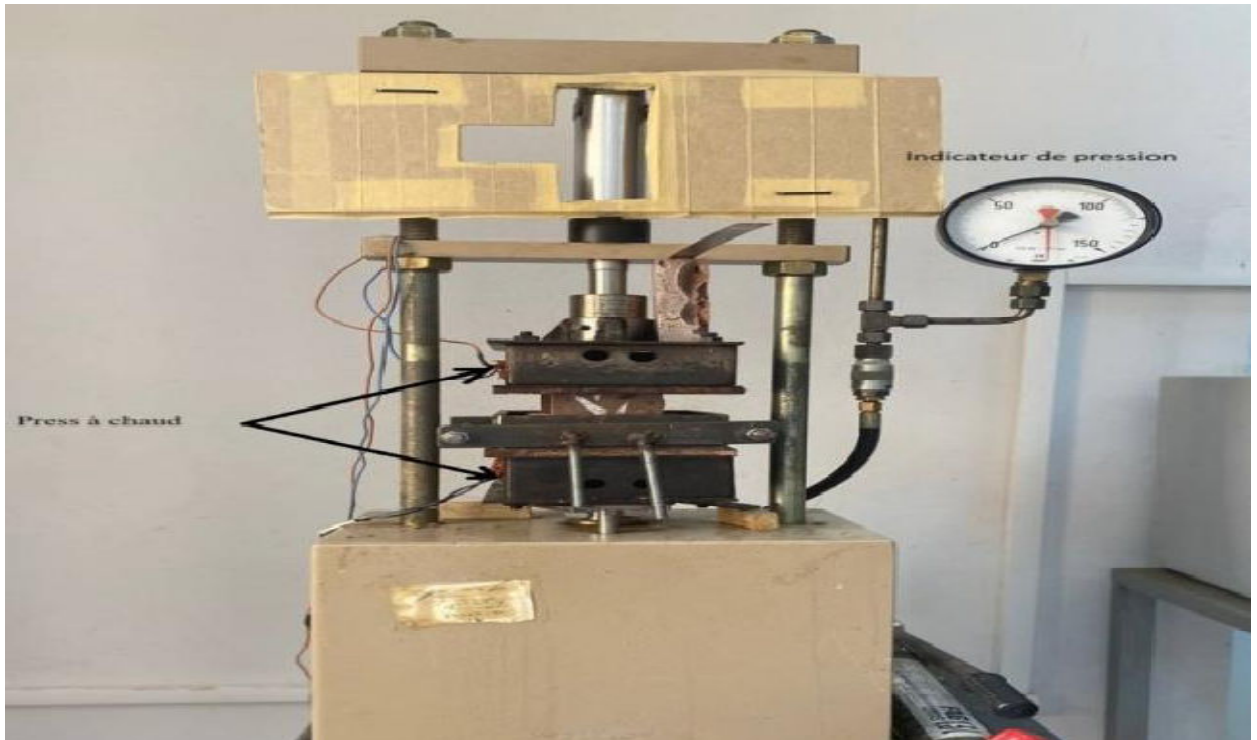
a) Carton

b) Découpage de carton

c) Carton l'eau

d) Pâte à carton

Nous avons préparé chaque échantillon en mélangeant du carton et Plats aux œufs et fibres naturelles (malva) dans les proportions mentionnées. afin de fabriquer les compounds, une presse à chaud est utilisée, composée de deux panneaux dont la température est régulée et ajustée par un régulateur.

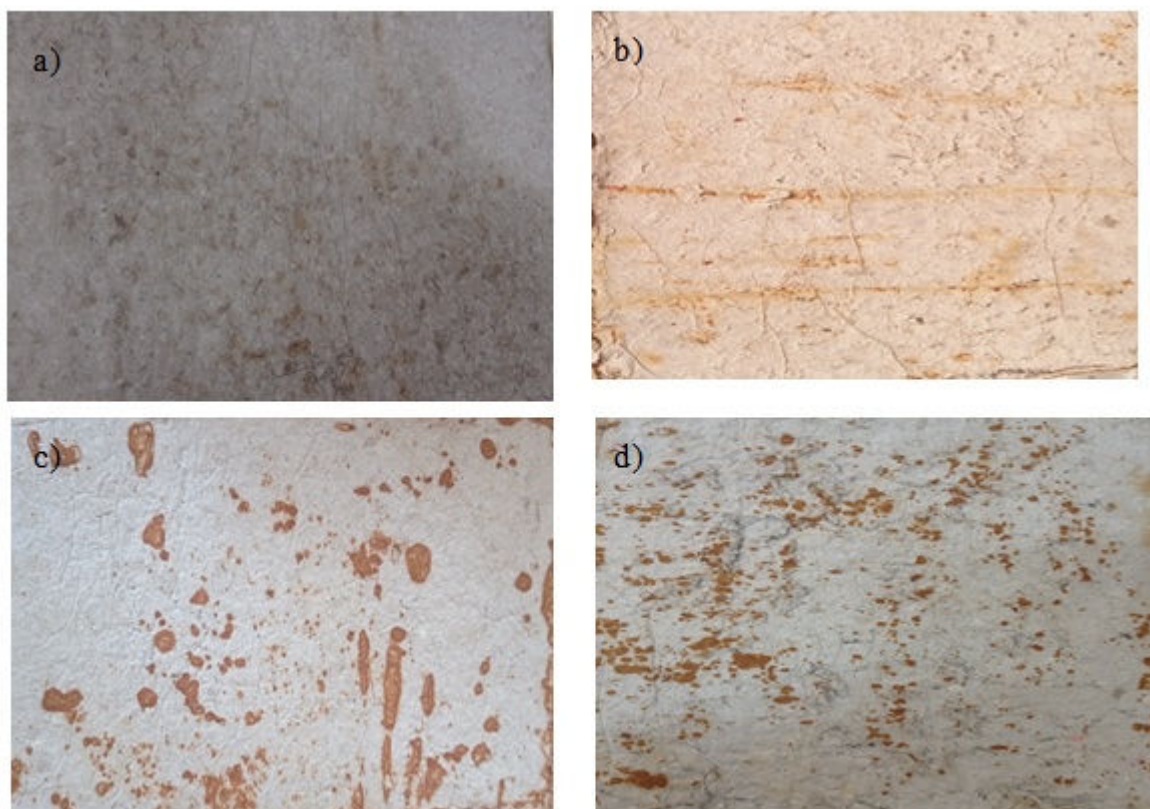


**FigV.06.** Presse à chaud utilisée

Une fois que le carton et Plateau aux œufs et fibres naturelles (malva) 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 V.06**).

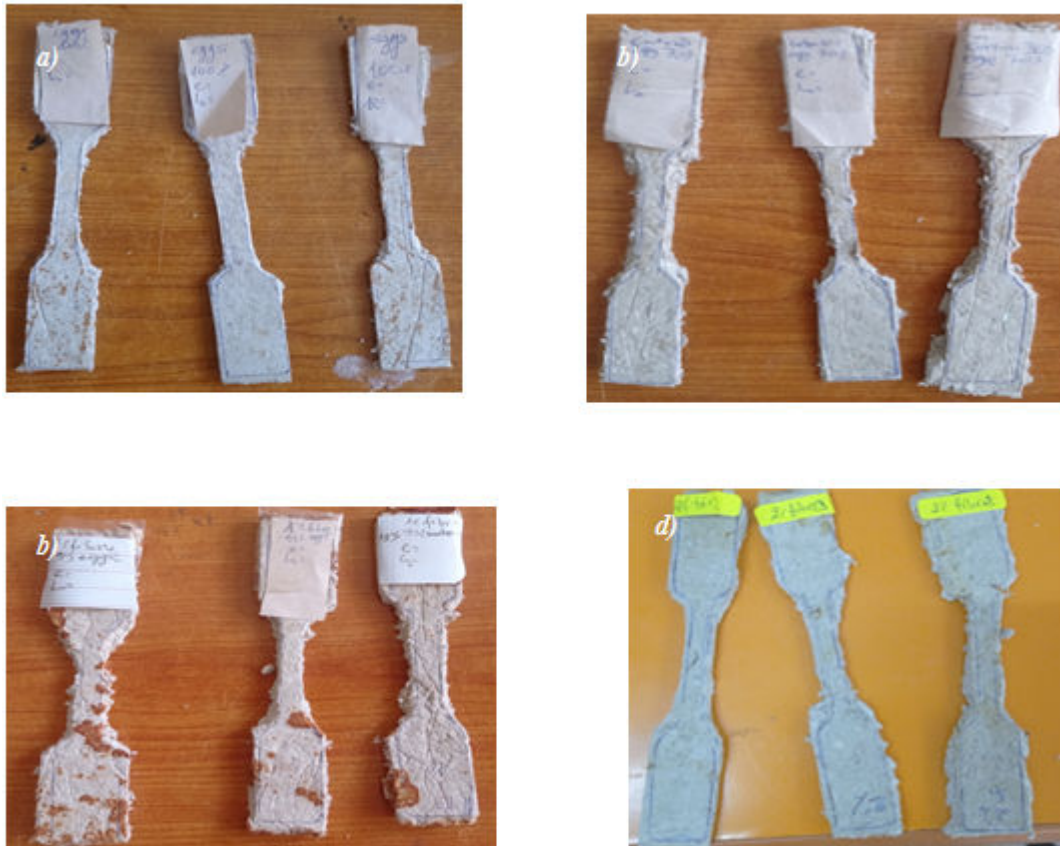
### V.3. Préparation des éprouvettes

Il est essentiel de préparer des éprouvettes normalisées pour effectuer les tests des mélanges Carton /et Plats aux œufs et fibres naturelles (malva) , afin de réaliser le test approprié (traction) (FigV.07). les éprouvettes sont préparées en respectant des critères et des normes (dimensions, formes, etc.).



**FigV.07.** Plaques composites d'étude

- |                                                               |                                                               |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| a) 100% Déchets plateaux d'œufs                               | b) 30%Déchets carton et70 % plateaux d'œufs                   |
| c) 99%Déchets plateaux d'œufs et 1% fibres naturelles (malva) | d) 98%Déchets plateaux d'œufs et 2% fibres naturelles (Malva) |



**FigV.8.** Eprouvettes obtenues

a) 100% Déchets plateaux d'œufss

b) 30%Déchets carton et70 %  
plateaux d'œufs

c) 99%Déchets plateaux d'œufs  
et1%fibres naturelles (malva)

d) 98%Déchets plateaux d'œufs et  
2% fibres naturelles (malva)

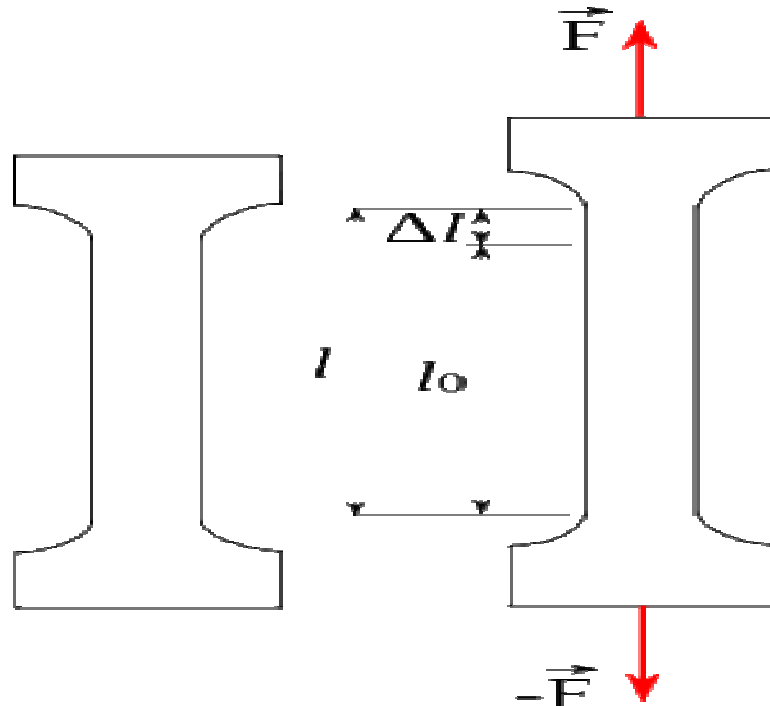
## **V.4. Techniques de caractérisation des matériaux élaborés**

### **V.4.1. Tests mécaniques**

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

#### **V.4.1.1.Traction**

Un essai de traction deux points ,norme à une vitesse de 0.5 mm/min.



**FigV. 9.** Schéma de l'éprouvette de traction

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

$$\sigma_f = \frac{f_{max}}{s}$$

Ou :

$f_{max}$  est la force maximale supportée avant rupture (en newtons, N)

$s$  est la section initiale de l'éprouvette (en mm<sup>2</sup> ou m<sup>2</sup>).

Le module de traction E

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Ou :

$\sigma$ : contrainte (en Pa ou MPa)

$\varepsilon$ : déformation sans unité (rapport entre l'allongement et la longueur initiale).

Le dispositif de sollicitation des éprouvettes d'étude est présenté par la (Fig.10. V)



**FigV.10.** Dispositif pour la traction deux points

#### **V.4.Préparation du moule**

Dans un premier temps, nous avons conçu et fabriqué ce mécanisme présenté sur la photo, qui sera installé directement sur le moule pour faciliter le processus de moulage (**Fig.V.11.**).



**Fig.V.11.** Mécanisme de fixation du gabarit



**Fig.V.12.** Assiette en polystyrène

Nous trempons cette plaque dans du plâtre.



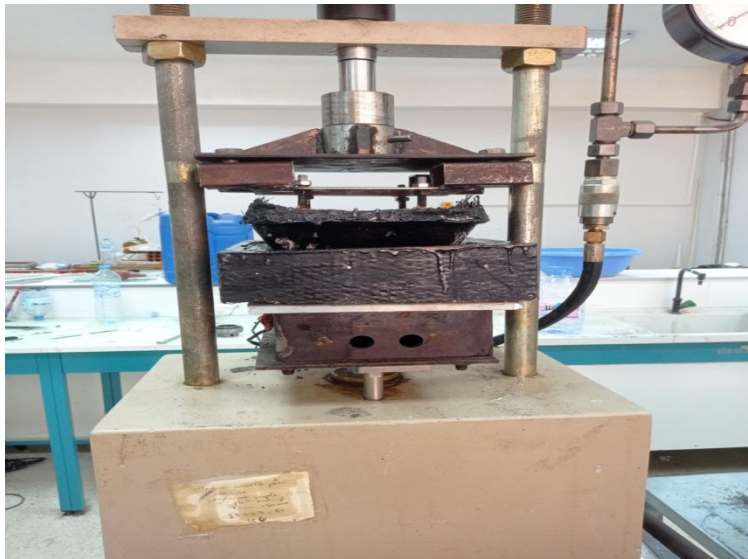
**Fig.V.13.** La plaque trempée dans le plâtre

Ces deux formes sont formées après avoir été peintes en noir.



**Fig.V.14.** Moule et contre moule

Ensuite, nous plaçons la pâte à papier directement sur le moule pour être pressée par la presse hydraulique comme indiqué sur l'image. **(Fig.V.15.)**



**Fig.V.15.** Presse hydraulique

Pour produire la forme souhaitée (**Fig.V.16**)



**Fig.V.16.**produire final

# Chapitre VI

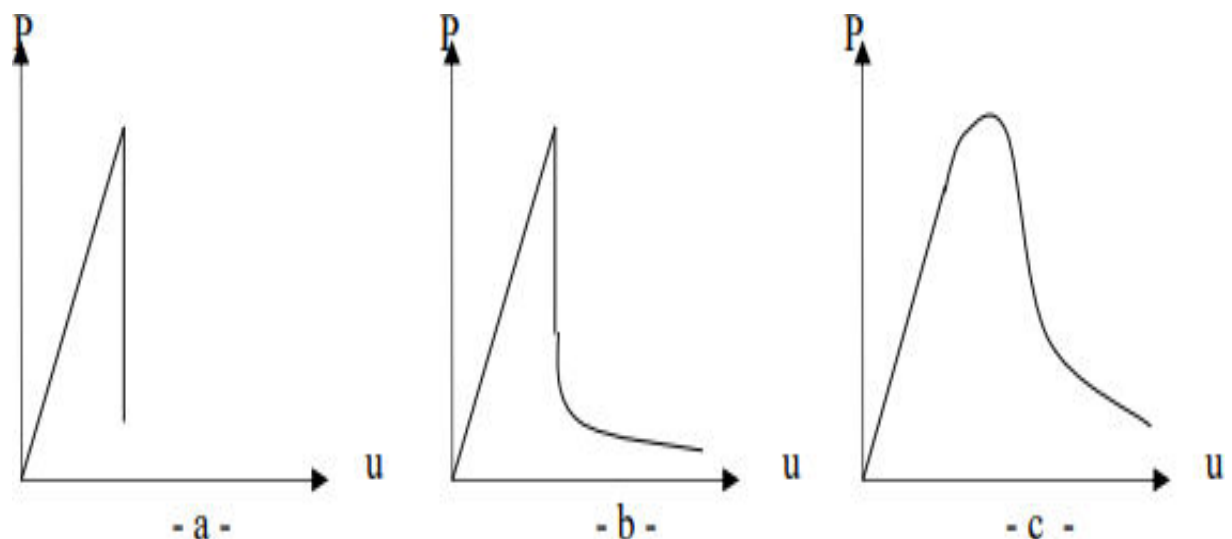
## *Résultats & discussions*

## VI.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 0,5 mm/min.

### VI.1.1. Analyse des courbes ( $P, \delta$ )

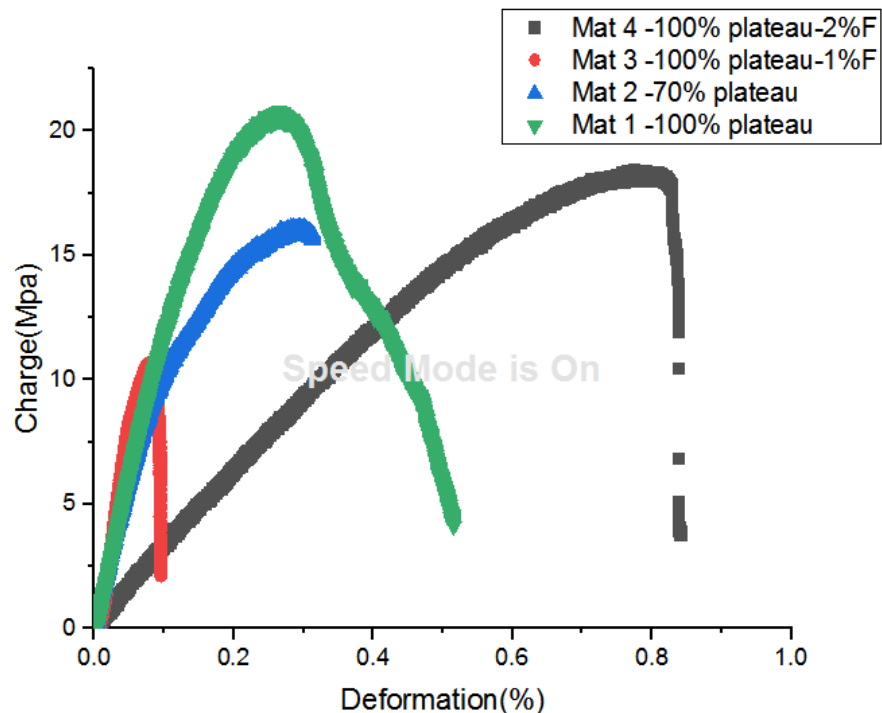
La **FigVI.1** représente les différents types de rupture envisage. selon cette figure, les matériaux de l'étude **Mat 3** (1% de fibre) et **Mat 4** (2% de fibre) présentent un comportement fragile. dans ces matériaux les courbes augmentent graduellement jusqu'à la charge maximale puis chute brusquement (**Fig. VI.2**). alors que les courbes des deux matériaux non renforcés par les fibres Malva (**Mat 1** et **Mat 2**) présente des évolutions de type non contrôlé (**Fig. VI.2**). dans ce type d'évolution, la charge augmentée jusqu' à la charge maximale puis diminue graduellement. la nature fragile des courbes des matériaux **Mat 3** (1% de fibre) et **Mat 4** (2% de fibre) semble être attribuée à l'ajout des fibres aux matériaux **Mat 1** et **Mat 2**.



a) Rupture fragile

**Fig.VI.1.**Types de rupture:  
b) Rupture semi-contrôlée

c) Rupture contrôlé



**Fig.VI.2.** Evolution de la charge contrainte fonction de la deformation

### VI.1.2. Analyse des courbes ( $\sigma - \varepsilon$ )

Dans cette étude, nous avons procédé à l'utilisation des déchets des plateaux d'œufs et du carton dans le but de:

- Recycler le maximum de produit.
- Produire un nouveau matériau
- Évaluer les propriétés mécaniques
- Réduire l'impact environnemental

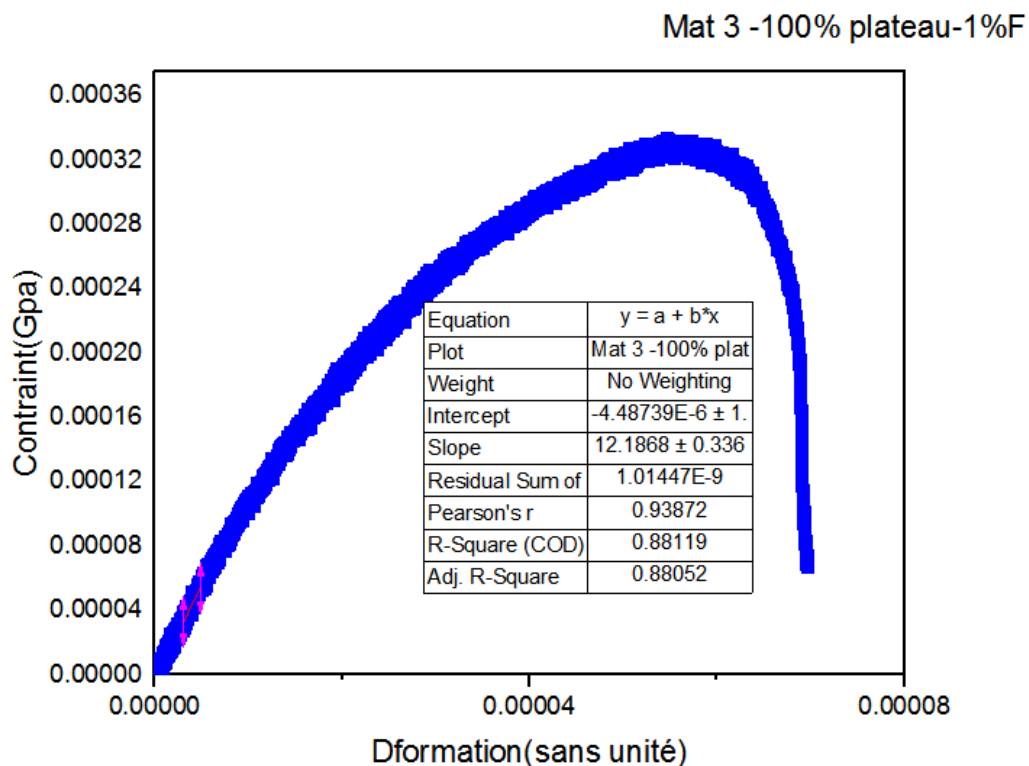
La courbe ( $\sigma$ - $\varepsilon$ ) des tests en traction des éprouvettes altères de notre nouveau matériau est illustrés par la (Fig.VI.3). d'après cette Figure, il est apparent que notre matériaux (déchets plateaux d'œufs + déchets et 1% fibres naturelles (Malva)) présente des caractéristiques mécaniques acceptables (contrainte  $\sigma = 0,896\text{MPa}$ ). alors que le matériau **Mat 1** enregistre la plus grande valeur qui est de l ordre de  $\sigma = 1,481\text{ MPa}$ .

On constate que l'ajout des fibres Malva réduit considérablement les paramètres du matériau. ceci peut se traduire par la mauvaise adhésion fibre Malva et papier.

### VI.1.3. Module de Young

Dans cette partie, le module de Young est déterminé. (FigVI.3)..Présente la technique de détermination du module de Young en utilisant le logiciel ORIGIN 18.

Selon cette technique, le module de Young est égal à 10,70 GPa.



**Fig.VI.3..**Evolution de la courbe contrainte en fonction de la déformation

**TableauVI.1 :** Contraintes des matériaux testés

| Materiau | Contraintes |
|----------|-------------|
| Mat1     | 1,481 Mpa   |
| Mat2     | 0,283 Mpa   |
| Mat3     | 0,896Mpa    |
| Mat4     | 0,433Mpa    |

**TableauVI.2 :** Module de Young des matériaux testés

| Materiau | Module de Young |
|----------|-----------------|
| Mat1     | 45,378GPa       |
| Mat2     | 42,725 GPa      |
| Mat3     | 12,1868GPa      |
| Mat4     | 3,26 GPa        |

On constate que l'ajout des fibres de Malva entraîne une diminution significative du module de Young du matériau. les valeurs mesurées varient de 45,378 GPa à 3,26 GPa, ce qui traduit une perte progressive de rigidité. cette baisse peut être attribuée à une mauvaise adhésion entre les fibres de Malva et la matrice papier, limitant ainsi le transfert de contraintes au sein du composite.

# Conclusions générales

### *Conclusions générales*

Dans un contexte mondial marqué par la nécessité de préserver l'environnement et de limiter les déchets, ce travail a permis de valoriser des matériaux recyclés tels que les plateaux d'œufs, le carton et les fibres naturelles de malva pour élaborer un composite biodégradable.

Les résultats obtenus montrent que l'intégration de ces déchets dans une matrice composite permet de produire un matériau aux propriétés mécaniques acceptables, tout en étant respectueux de l'environnement. L'ajout de fibres naturelles a amélioré certaines caractéristiques, notamment la résistance mécanique, bien que des limites subsistent quant à la durabilité.

Ce projet ouvre ainsi la voie à des alternatives écologiques et économiques aux matériaux conventionnels, et souligne l'importance de la recherche dans le développement de solutions durables issues de ressources locales et renouvelables.

Des perspectives d'amélioration restent possibles, notamment par l'optimisation des proportions et le traitement des fibres, afin d'améliorer les performances du matériau obtenu et d'envisager une utilisation à plus grande échelle, notamment dans le domaine de l'emballage ou de la construction légère.

## Références bibliographiques

## Références bibliographiques

- [1] *Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire du Samedi 30 Ramadhan 22 correspondant au Samedi 15 Mars 2001*
- [2] »Waste Management » et « Journal of Hazardous Materials ».
- [3] La Fondation Ellen MacArthur
- [4] L'Union européenne (Directive 2008/98/CE).
- [5] World Health Organization (WHO). (2015). Safe management of wastes from health-care activities Second edition .
- [6] Balet, J.-M., *Gestion des déchets-6<sup>e</sup> éd. : Les différents types de déchets, les modes de collecte et de gestion, les filières de traitement* 2023 : Dunod .
- [7] Djemaci, B., *La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité*, 2012, Université de Rouen.
- [8] René, M., *Le traitement des Dechets* 2009 : Lavoisier.
- [9] Ellen MacArthur Foundation. (2017). The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. The New Plastics Economy.
- [10] United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). Global Resources Outlook 2019.
- [11] K. Charlet, C. Morvan, J. Bréard, J. Jernot, and M. Gomina, « Etude morphologique d'un composite naturel. La fibre de lin, » *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 16, p. 11, 2006.
- [12] A. Mokhtari, « Modélisation du comportement et de la rupture des composites a matrices thermoplastiques, » *Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou*, 2016.
- [13] <https://www.forgottentribes.fr/blogs/lifestyle/le-chanvre-le-tissu-plus-ancien-au-monde-et-le-plus-ecologique>. (08/03/2018).
- [14] [http://kanirope.fr/index.php?cat=c3\\_Sisal--torsad--.html](http://kanirope.fr/index.php?cat=c3_Sisal--torsad--.html). (08/03/2018).
- [15] <http://www.thefruitforest.com/fruits-vegetables-and-herbs/ramie/>. (08/03/2018)
- [16] Mousavi SM, Hashemi SA, Behbudi G, et al. A review on health benefits of *Malva sylvestris* L. nutritional compounds for metabolites, antioxidants, and anti-inflammatory, anticancer, and antimicrobial applications. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021.

- [17] Gérard Beaudet and all, Impacts et défis autour de la spécialisation et requalification des espaces urbains revue en science de l'environnement volume 9, N°2, 2009
- [18] Christian Deverre, Christine de Sainte Marie, Rural landscape evaluation in a cross-border region, Review of Agricultural and Environmental Studies, volume 89, n2, 2008
- [19] 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.
- [20] F. Marangon, F. Visitin, Évaluation économique du paysage rural en Italie et en Slovénie, Revue d'études en Agriculture et Environnement N°85, 2007
- [21] l'Agence de protection de l'environnement et de l'Organisation des Nations Unies pour l'environnement (ONU Environnement).
- [22] « Directives techniques pour l'identification et la gestion écologiquement rationnelle des déchets plastiques et leur élimination », Texte révisé – Version 6 Par le Groupe de travail technique de la Convention de Bâle.
- [23] »Chemical Recycling of Plastics : Present Status and Future Prospects » par R. T. Williams, publié dans la revue « RSC Advances » en 2019.
- [24] SAFER K., « Environnement et développement durable », Polycopié de cours, 2015, P 59
- [25] W.M.P ; 2009-waste management plan, 2009.
- [26] l'Agence européenne pour l'environnement en Europe.
- [27] EPA – Waste Management and Recycling
- [28] Bensaada S., Benmachiche M., Bouziane M T., Mazouz H., « Environnement et recyclage des déchets », revue science des matériaux, laboratoire LARHYSS N°03, Mars 2015
- [29] Fabienne Collard., *L'économie circulaire, Courrier hebdomadaire 2020.*
- [30] Univ. Frères Mentouri Constantine 1 Faculté : Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biologie et Ecologie Végétale Responsable de la matière : Dr. BAZRI K.E.D.
- [31] Sandoz, Jean-Luc (2010). Le bois : Matériau d'avenir – Valorisation, recyclage et énergie. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [32] Brunet, Yves (2009). Recyclage des déchets métalliques.
- [33] Robertson, G. L. (2012). Food Packaging: Principles and Practice (3<sup>rd</sup> ed.). CRC Press

- [34] Twede, D., & Selke, S. E. (2005). *Cartons, Crates and Corrugated Board: Handbook of Paper and Wood Packaging Technology*. DEStech Publications.
- [35] (s.d.). Consulté le 3 21, 2022, sur <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Papier.html>
- [36] C.ROY., 1998 « *FIBROSCOPIE : RECYCLAGE, ÉCONOMIE PAPETIÈRE ET MARCHÉ MONDIAL DES FIBRE* », pp 205-207.
- [37] (s.d.). Consulté le 04 09, 2022, sur <https://govyojana.in/fr/post/difference-entre-le-papier-et-le-carton>
- [38] Juliede Mes-Cartons.com
- [39] (s.d.). Consulté le 04 10, 2022, sur <https://sites.google.com/site/jeanrostandtechnologie/matieres-premieres-et-materiaux/proprietes-des-materiaux/proprietes-du-carton>
- [40] Y. Zhang et al., “Recycling waste paper into new functional materials: Recent advances,” *Materials Today Sustainability*, 2021.
- [41] ADEME, “Le recyclage des papiers-cartons,” Agence de l’environnement et de la maîtrise de l’énergie, 2020.
- [42] S. Ben Hassine et al., “Caractérisation des propriétés mécaniques des matériaux à base de papier recyclé,” *Journal of Materials and Environment Science*, 2019.
- [43] M. Kaddour et al., “Thermal behavior of cellulose-based packaging materials,” *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020.

## Résumé

Dans une démarche écologique, ce projet a valorisé des déchets recyclés comme le carton, les plateaux d'œufs et les fibres naturelles de malva pour créer un matériau composite biodégradable.

Les résultats montrent des propriétés mécaniques satisfaisantes, ouvrant la voie à des applications dans l'emballage ou la construction légère. des pistes d'amélioration restent possibles pour renforcer les performances du matériau.

### □الخص

في إطار جهود حماية البيئة، قام هذا المشروع بتنميين نفايات معاد تدويرها مثل الكرتون وصفائح البيض والألياف الطبيعية لنبات الخبيز، لإنتاج مادة مركبة قابلة للتحلل. أظهرت النتائج خصائص ميكانيكية مقبولة، مما يفتح المجال لاستخدامات في التغليف أو البناء الخفيف. ولا تزال هناك إمكانية للتحسين من خلال تعديل التركيبة لرفع كفاءة المادة

## Summary

As part of environmental protection efforts, this project utilized recycled waste such as cardboard, egg cartons, and natural fibers from the mallow plant to produce a biodegradable composite material. The results demonstrated acceptable mechanical properties, opening the way for applications in packaging or lightweight construction. There is still potential for improvement by modifying the composition to enhance the material's efficiency.