

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie des Polymères

***L'EFFET DE L'ADDITION D'UNE CHARGE VÉGÉTALE
(ROSEAU COMMUN) SUR LES PROPRIÉTÉS D'UNE
MATRICE THERMOPLASTIQUE***

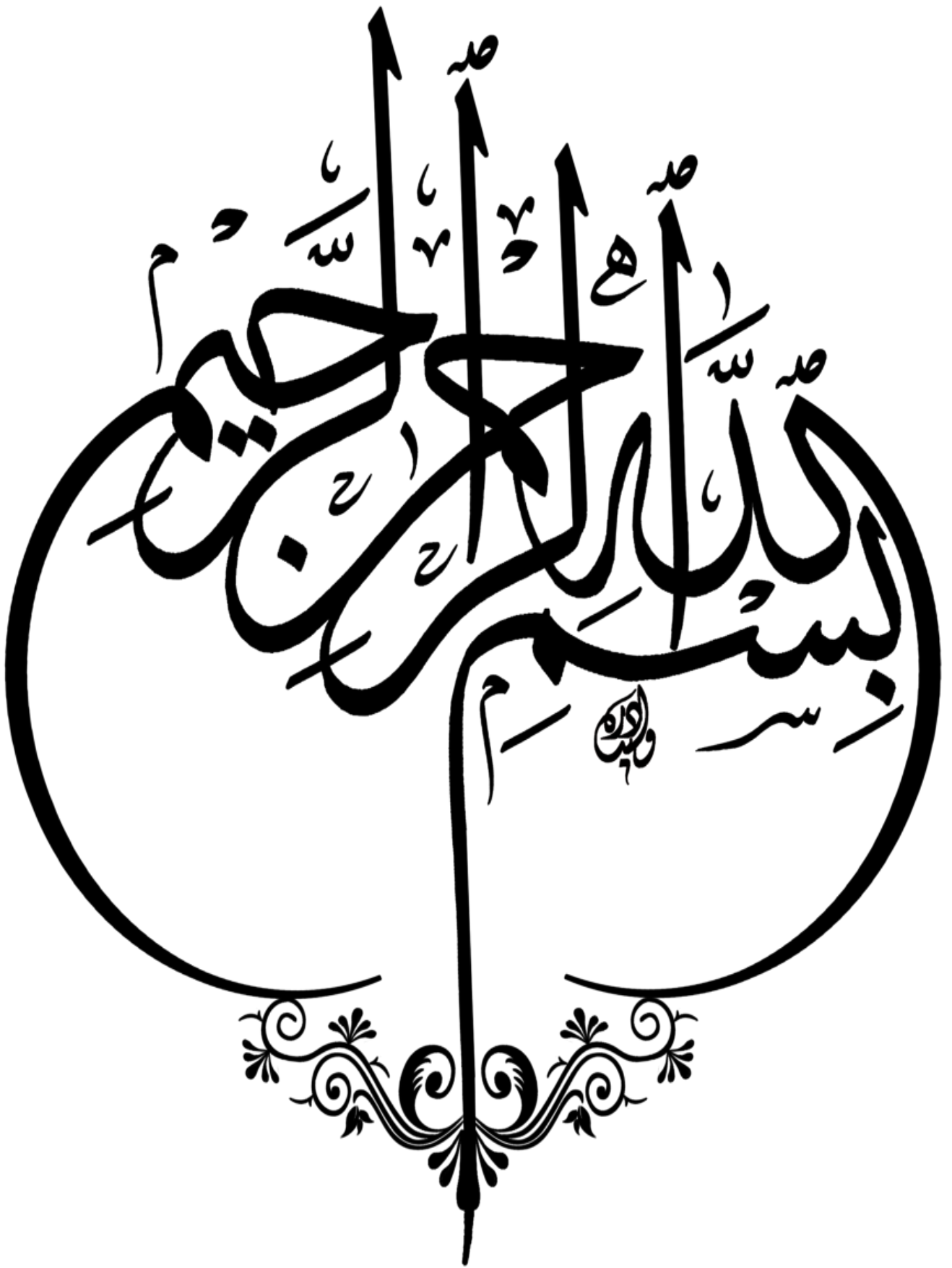
Soutenu le 24/06/2023

Réalisé par :

Encadré par : Dr. BENMESLI Samia

- STAMBOULI Meriem
- ATOUI Sara
- BOUMESRANE Youssra

Année Universitaire 2022- 2023





Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le bon dieu qui nous a donné la force de réaliser ce travail. Nous tenons à remercier tous les enseignants du département de Génie des Procédés et plus particulièrement notre encadreur :

Dr : S. BENMESLI

Pour son aide précieux et ses conseils judicieux, qui nous ont permis d'achever ce mémoire.

Nos remerciements vont également aux membres du jury de soutenance qui ont accepté de consacrer leur temps à l'évaluation de ce travail et qui nous ont fait l'honneur d'assister à notre soutenance.

Nous tenons à remercier l'ensemble du personnel du CP2K

Et tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Que tous ceux-ci se reconnaissent et acceptent nos humbles remerciements.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille,

À mes chers parents.


À mes frères.

À Mon grand-père Ma grand-mère

À mes oncles et tantes

À tous mes amis

*À ceux qui m'ont donné le courage de près comme de
loin.*



Youssra



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à toute ma famille,
A mes chers parents.*

A mes sœurs.

A mes frères.

A mon mari et mon fils.



A ceux qui m'ont donné le courage de près comme de loin.

Meriem



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille,

À mes chers parents.

À mes sœurs.

À mes frères.

À ceux qui m'ont donné le courage de près comme de loin.



Sara

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACE.....	II
SOMMAIRE.....	V
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE D'ABRÉVIATIONS.....	XIII

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Les matériaux composites

I.1. Introduction.....	4
I.2. Définition de matériaux composite.....	4
I.3. Classification des matériaux composites.....	4
I.3.1 Classification selon forme des constituants.....	5
I.3.1.1. Composites à fibres.....	5
I.3.1.2. Composites à Particules.....	5
I.3.2. Classification selon nature de constituant.....	5
I.3.2.1. Composites à matrice organique.....	5
I.3.2.2. Composites à matrice métallique.....	6
I.3.2.3. Composites à matrices minérale.....	6
I.4. Les applications des composites.....	6
I.5. Procédés de mise en forme des composites.....	7
I.5.1. Extrusion et moulage par injection.....	7
I.5.2. Moulage par compression.....	8
I.5.3. L'injection basse pression (RTM : Résine Transfert Molding).....	8
I.5.4. Pultrusion.....	9

Chapitre II : Les renforts et charges

II.1. Introduction.....	11
-------------------------	----

II.2. Les renforts	11
II.2.1. Définition les renforts	11
II.2.2. Les types renforts	11
II.2.2.1. Renforts organiques.....	12
II.2.2.2. Renforts inorganiques.....	13
II.2.3. Application renforts	14
II.3. Les charges	15
II.3.1 Définition les charges.....	15
II.3.2. Types des charges	15
II.3.2.1 Charges particulières	15
II.3.3Application des charges	16
II.4. Roseau commun.....	17
II.4.1. Définition du roseau commun.....	17
II.4.2. Les types de roseau commun	17
II.4.3. Applications de roseau commun	18

Chapitre III : Généralités sur le Polyéthylène Haute Densité (PEHD)

III.1. Introduction	20
III.2. Le polyéthylène haute densité (Définition, Structure et Synthèse)	21
III.3. Les Propriétés de Polyéthylène Haute Densité.....	23
III.3.1. Propriétés rhéologiques.....	23
III.3.2. Propriétés physiques	23
III.3.3. Propriétés chimiques	23
III.3.4. Propriétés électriques	23
III.3.5 Propriétés thermiques.....	23
III.3.6. Propriétés Mécaniques	24
III.4. Applications de PEHD	24

III.5. Mise en œuvre du PEHD	25
III.5.1 Injection	25
III.5.2. Extrusion-soufflage.....	26
III.5.3. Extrusion en continu	26
III.5.4. Moulage par rotation.....	27
III.5.5. Enduction	27

Chapitre IV : Matériaux et techniques de caractérisations

IV.1. Introduction	29
IV.2. Matériaux utilisés	30
IV.2.1. Polyéthylène haute densité (PEHD)	30
IV.2.2. Le roseau commun (RC)	31
IV.3. Technique expérimentale	31
IV.3.1. Préparation de la charge.....	31
IV.3.1.1. La récolte	31
IV.3.1.2. Broyage.....	31
IV.3.1.3. Tamisage.....	32
IV.3.2. Préparation des mélanges PEHD/ RC	32
IV.3.3. Le malaxage	33
IV.3.4. Moulage par thermo compression.....	34
IV.3.5. Préparation des éprouvettes	34
IV.4. Techniques de caractérisation	36
IV.4.1. Test rhéologique : indice de fluidité (Melt Flow Index : MFI)	36
IV.4.2. Analyses mécaniques.....	37
IV.4.2.1 Résistance au choc (la résilience)	37
IV.4.2.2 Test de dureté SHOR D	39
IV.4.2.3 Test de traction.....	40

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1 Introduction	43
V.2 Test Rhéologique : Indice de Fluidité.....	43
V.3. Tests Mécaniques	44
V.3.1. Résistance au Choc	44
V.3.2. La Dureté SHORE D	45
V.3.3. Test de traction.....	46
Conclusion générale.....	52
Références bibliographiques	53
ANNEXE.....	60
Résumé	

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma représentant les composants d'un matériaux Composites.....	4
Figure I.2 : Classification schématique des différents types de composites.....	5
Figure I.3 : Schéma du procédé de moulage par injection.....	7
Figure I.4 : Schéma du procédé de moulage par compression.....	8
Figure I.5 : Schéma du procédé d'injection basse pression RTM.....	9
Figure I.6 : Schéma du procédé de pultrusion.....	9
Figure II.1 : Organigramme représentant les différents types de renfort de base.....	12
Figure II.2 : Fibre de carbone.....	13
Figure II.3 : Roseau commun (phragmites australes).....	17
Figure II.4 : Types des roseaux communs (phragmites australis).....	18
Figure III.1 : Différents types de matériaux plastiques.....	20
Figure III.2 : Synthèse du polyéthylène selon le procédé « Ziegler- Natta ».....	22
Figure III.3 : Synthèse du polyéthylène selon le procédé de PHILLIPS.....	22
Figure III.4 : Quelques matériaux en PEHD.....	25
Figure III.5 : L'installations de l'extrusion des tubes.....	27
Figure IV.1 : Les différentes étapes d'élaboration et caractérisation de matériaux bio-composites poudre / PEHD.....	29
Figure IV.2 : PEHD grade 5502.....	30
Figure IV.3 : petits morceaux du roseau commun.....	31
Figure IV.4 : Moulin à café "SEB".....	31
Figure IV.5 : Tamisage de la farine du roseau commun.....	32
Figure IV.6 : Tamiseuse d'analyse (AS200 basic).....	32
Figure IV.7 : Mélanges PEHD/RC à différents pourcentages.....	33
Figure IV.8 : l'opération de malaxage sur un mélangeur de deux cylindres.....	33
Figure IV.9 : les feuilles coupées en petits morceaux.....	33
Figure IV.10 : Photo représentatif d'une presse hydraulique automatique.....	34
Figure IV.11 : Appareillage d'une poinçonneuse « Presse pneumatique à découper ».....	35
Figure IV.12 : Entailleuse pour entailler les échantillons pour le test IZOD.....	35
Figure IV.13 : les éprouvettes obtenues pour les différents essais.....	36
Figure IV.14 : L'appareille utiliser pour calculer du MI.....	37
Figure IV.15 : Appareillage et agencement expérimental pour le calcul de la résilience IZOD.....	38

Figure IV.16 : L'éprouvette du test de choc	39
Figure IV.17 : Appareillage de mesure de la dureté Shore D	39
Figure IV.18 : Appareil pour l'essai de traction	41
Figure V.1 : L'évolution de l'indice de fluidité des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge.....	43
Figure V.2 : L'évolution de la résistance au choc des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge.....	44
Figure V.3 : L'évolution de la dureté shore des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge.....	45
Figure V.4 : Courbes de traction :variation de la force des composites PEHD/RC à différents pourcentages de la charge végétale en fonction de l'allongement	46
Figure V.5 : Courbe de traction du PEHD pur	47
Figure V.6 : variation de la contrainte à la rupture des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge	48
Figure V.7 : variation de la déformation à la rupture des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge.....	49
Figure V.8 : variation de Module d'élasticité des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge.....	50
Figure V.9 : Variation de la contrainte d'élasticité des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge.....	51

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Propriétés affectées par l'incorporation d'une charge	16
Tableau IV.1 : Principales caractéristiques du PEHD 5502	30
Tableau IV.2 : Composition chimique de roseau commun.....	31
Tableau IV.3 : Tableau représentatif des pourcentages des composites PEHD/RC.....	32

Liste des abréviations

CP2K : Complexe pétrochimique 2 Skikda.

PEHD : Polyéthylène haute densité.

RC : Roseau Commun.

SiC : Carbure de Silicium.

RTM : Résine Transfert Molding.

PAN : Polyacrylonitrile.

PVC : Polychlorure vinyle.

PMMA : Polyméthacrylate de méthyle.

PA6: Polyamide 6.

UV: Ultraviolets.

IF: Indice de fluidité.

MFI: Melt Flow Index.



Introduction Générale

Introduction générale

Aujourd'hui, l'utilisation des matériaux composites se développe rapidement dans le monde et ils sont devenus largement employés dans divers secteurs d'activité industrielle, grâce à leur performances et propriétés mécaniques intéressantes. Le développement des matériaux composites dans les industries de pointe au cours de ces dernière décennies touches des domaines de plus en plus nombreux tels que l'aéronautique, automobile, sports loisirs, médicale, etc [1].

De nos jours, la protection de l'environnement est devenue une priorité de tous les gouvernements, surtout dans les pays développés. Ainsi les chercheurs réfléchissent à la mise au point de nouvelle génération de matériaux biodégradables qui auront pour mission de répondre aux cahiers des charges avec le minimum d'impact sur l'écologie.

L'utilisation de fibres végétales comme le bois, le chanvre, le jute et le roseau commun, dans la conception des matériaux composites en remplaçant les renforts synthétiques (fibres de verre, carbone...) permet d'associer un matériau résistant, léger, abondant ; non abrasif, structuré et à faible coût avec de nombreux matériaux tels que les plastiques, les plâtres et les bétons [2].

Ce travail a été réalisé au niveau de complexe CP2K de SKIKDA qui avait comme objectif de rendre le polyéthylène haute densité (PEHD) un polymère biodégradable par l'addition de la poudre de roseau commun (RC). Ce stage pratique nous a permis de prendre des connaissances générales et de participer à l'élaboration de notre matériau bio-composite.

Ce mémoire est constitué de Cinq chapitres articulés de la manière suivante :

La partie théorique comporte trois chapitres :

Chapitre I : ce chapitre est consacré à une étude bibliographique permettant de présenter les matériaux composites d'une manière générale (définition, classification, applications et la mise en œuvre).

Chapitre II : dans ce chapitre on a bien détaillé le concept des charges et des renforts avec la spécification des charges végétales et leur compositions chimiques et leur propriété en générale.

Chapitre III : ce chapitre décrit les généralités sur le polyéthylène haut densité

La partie expérimentale est présentée dans deux chapitres :

Chapitre IV : on a donné une description des matériaux utilisés pendant la réalisation du travail expérimental et les techniques de caractérisation et méthodologies.

Chapitre V : on expose les résultats ainsi que leur interprétation et discussions.

Enfin, on a terminé ce mémoire par une conclusion générale.



Chapitre I
Matériaux Composites

Chapitre I : Les matériaux composites

I.1. Introduction

L'étude et la conception des matériaux composites suscitent depuis près d'un grand intérêt dans les domaines multiples et variés de la chimie moderne. Structures hétérogènes isotopes, ou anisotrope, ils présentent des performances souvent bien supérieures à celles des matériaux homogènes (propriétés chimiques, mécaniques, optiques, thermiques ou diélectriques) qui leur offrent des perspectives d'utilisation fort prometteuses [3].

I.2. Définition de matériaux composite

Un matériau composite peut être défini comme une combinaison d'où mois deux matériaux différents à l'échelle macroscopique au plusieurs matériaux non miscible (mais ayant une forte capacité d'adhésion) [4]. D'une manière générale on distingue deux phases : une phase continue appelée "**la matrice**" et une phase discontinue appelée "**le renfort**" ou "**matériaux renforçant**". L'assemblage finale ayant des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs [5].

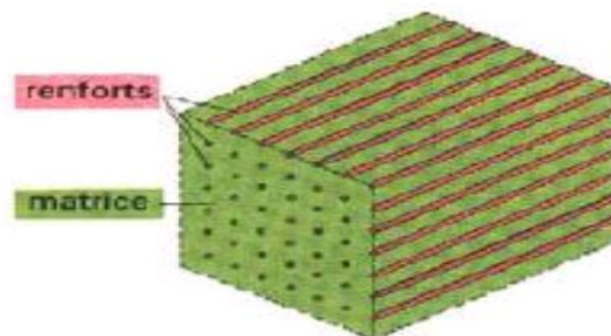


Figure I.1 : Schéma représentant les composants d'un matériaux Composites [5]

I.3. Classification des matériaux composites

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites qu'an peut classer soit selon la forme des composants ou suivant la nature des composants [6]. La figure (I.2) représente les différents types de composites.

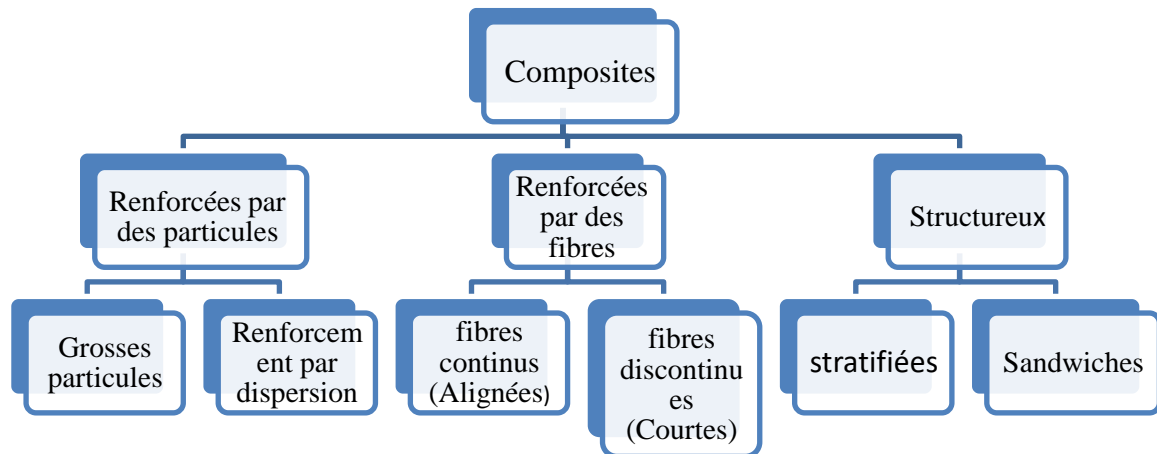


Figure I.1 : Classification schématique des différents types de composites [6]

I.3.1 Classification selon forme des constituants

I.3.1.1. Composites à fibres

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues : fibres courtes, fibres coupées, etc [7].

I.3.1.2. Composites à Particules

Un matériau composite est un composite à particules si le renfort se trouve sous forme de particules par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée.

Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines des propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue, la résistance à l'abrasion, la diminution de retrait, etc.

Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau sans diminuer les caractéristiques [7].

I.3.2. Classification selon nature de constituant

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés en composites à matrice organiques, à matrice métallique et à matrice minérales.

I.3.2.1. Composites à matrice organique

Résine et charge, avec :

- **Des fibres minérales** : Verre, Carbone, etc.
- **Des fibres organiques** : Kevlar, Polyamides, etc.
- **Des fibres métalliques** : Bore, aluminium, etc.

I.3.2.2. Composites à matrice métallique

Alliage légers et ultralégers d'aluminium, de magnésium, de titane, avec :

- **Des fibres minérales** : Carbone, Carbure de silicium (SiC).
- **Des fibres métalliques** : Bore.
- **Des fibres métallo-minérales** : fibres de bore de revêtues de silicium (Bore SiC).

I.3.2.3. Composites à matrices minérale

Céramique avec :

- **Des fibres métalliques** : Bore.
- **Des fibres métalliques** : cermets.
- **Des fibres minérales** : nitrure, carbures, etc [8].

I.4. Les applications des composites

Les applications des matériaux composites sont nombreuses et variées et on les trouve dans plusieurs domaines tels que [9].

❖ Industrie aérospatiale :

En aéronautique, les matériaux composites ont connu des applications courantes sur tout dans la construction des pièces de structure primaires, les gouvernes et l'habillage extérieur ainsi de l'intérieur de l'aéronef [10].

❖ Industrie des transports terrestres et maritime

L'intégration des matériaux composites dans l'industrie de l'automobile et des transport terrestres a peu réduire substantiellement la consommation de carburant au moyen de l'économie du par un gain poids [10].

❖ Industrie des articles de sport et de loisir

Les composites sont des matériaux idéaux pour la fabrication et la conception de très nombreux d'articles de sport et de loisirs tels que les skis et les bâtons, les raquettes de tennis, les connes à pêche et de hockey, les planches à voiles et leurs

mâts, les voiliers de plaisance, les haies, les cadres de vélos, des instruments de musique [11].

❖ Dans le domaine de la robotique et de machinerie

Pour améliorer les performances dynamiques des machines et des robots, les matériaux composites sont proposés comme une solution compétitive.

Des recherches sont en cours de remplacer certaines pièces métalliques de machines par des pièces conçues et fabriquées avec des composites renforcés [12].

❖ Dans le domaine du génie civil

En génie civil, les matériaux composites sont utilisés pour renforcer et réparer des éléments en béton armé tels que des poutres, des plafonds, des colonnes et des murs [12].

I.5. Procédés de mise en forme des composites

La plupart des méthodes de mise en œuvre constituent à élaborer les pièces en matériaux composites par des couches successives comportent matrice et renfort [13].

I.5.1. Extrusion et moulage par injection

Extrusion et le moulage par injection sont les principales techniques utilisées en plasturgie. L'extrusion est définie comme étant la transformation d'une matière thermoplastique (poudre ou granulé) en un produit continu ayant un profil donné, par forçage à travers une filière de la dit matière préalablement ramollie par la chaleur [14].

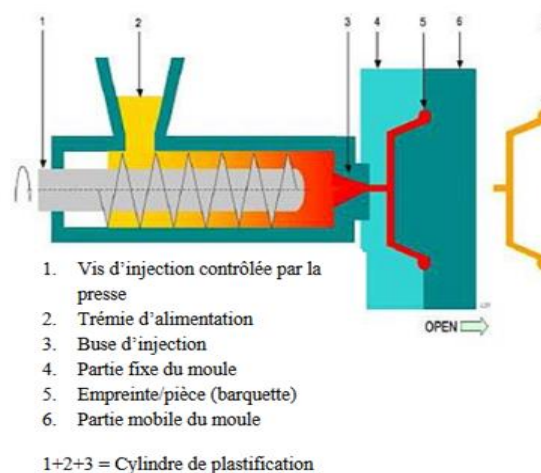


Figure I.3 : Schéma du procédé de moulage par injection [14]

I.5.2. Moulage par compression

Le moulage par compression (**figure I.4**) permet d'obtenir par déformation et répartition du matériaux entre moules. Cette méthode est très répandue à l'échelle industrielle, du fait de son importante reproductibilité et du faible temps nécessaire à sa mise en œuvre. Une étape de mélange peut être réalisée au préalable afin d'optimiser l'homogénéité du composite. Pour ce faire, l'utilisation d'une extrudeuse ou d'un mélangeur à rouleaux chauffants est requise.

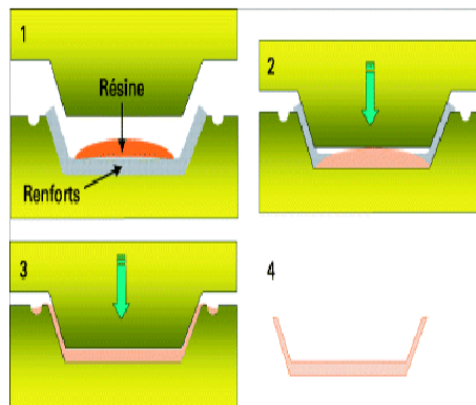


Figure I.4 : Schéma du procédé de moulage par compression [14]

I.5.3. L'injection basse pression (RTM : Résine Transfert Molding)

L'injection basse pression (RTM) est un processus de fabrication de matrices thermodurcissables en moule fermé. Il consiste à injecter sous faible pression une résine polyester ou vinylester à froid dans un moule fermé et chaud, dans lequel le renfort est prédisposé et peu comprimé (**figure I.5**). Sous l'action de la pression d'injection, la résine passe au travers du renfort et imprègne la totalité de la pièce. Le faible coût de l'appareillage et la large gamme de pièces réalisables rend cette méthode attrayante au niveau industriel.

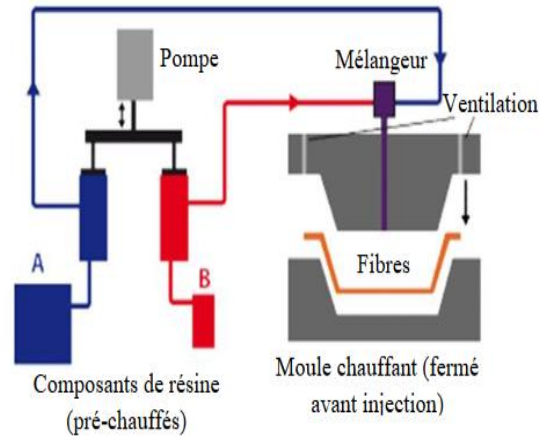


Figure I.2 : Schéma du procédé d'injection basse pression RTM [14]

I.5.4. Pultrusion

La pultrusion est un procédé mécanisé qui permet la fabrication en continu de pièces aux formes plus ou moins complexes. Au cours du procédé de pultrusion (**figure I.6**), les renforts sont tirés par un banc de traction afin d'être successivement imprégnés de résine dans un bain, puis mis en forme au travers d'une filière chauffée. En bout de chaîne, le matériau profilé est découpé à la longueur souhaitée.

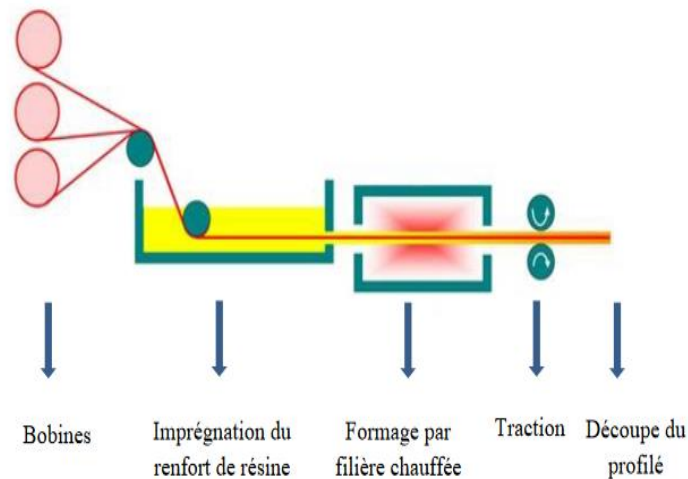


Figure I.3 : Schéma du procédé de pultrusion [14]



Chapitre II
Les Renforts et Charges

Chapitre II : Les renforts et charges

II.1. Introduction

L'incorporation des charges dans les polymères est connue comme l'une des techniques permettant d'améliorer les propriétés des produits finis et d'élargir le domaine d'application des matières plastiques. Elle permet aussi de faciliter la mise en œuvre et de réduire le coût de fabrication d'un matériau. L'utilisation des fibres naturelles et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériau composites, présente deux principaux avantages. Tout d'abord, ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles. D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport aux composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et demandant peu d'énergie pour être produites. Dans les pays peu industrialisés, les fibres végétales constituent donc une alternative à faible coût économique et surtout écologique aux fibres synthétiques conventionnelles (fibres métalliques, minérales ou polymériques) [15].

II.2. Les renforts

II.2.1. Définition des renforts

Le renfort est tout simplement le squelette ou l'armature du composite ; il confère aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc. Il permet aussi d'améliorer certaines des propriétés physiques : comportement thermique, tenue en hautes températures, tenue au feu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques, etc [16].

II.2.2. Les types de renforts

Les différents types de renforts sont indiqués dans la figure (II.1) :

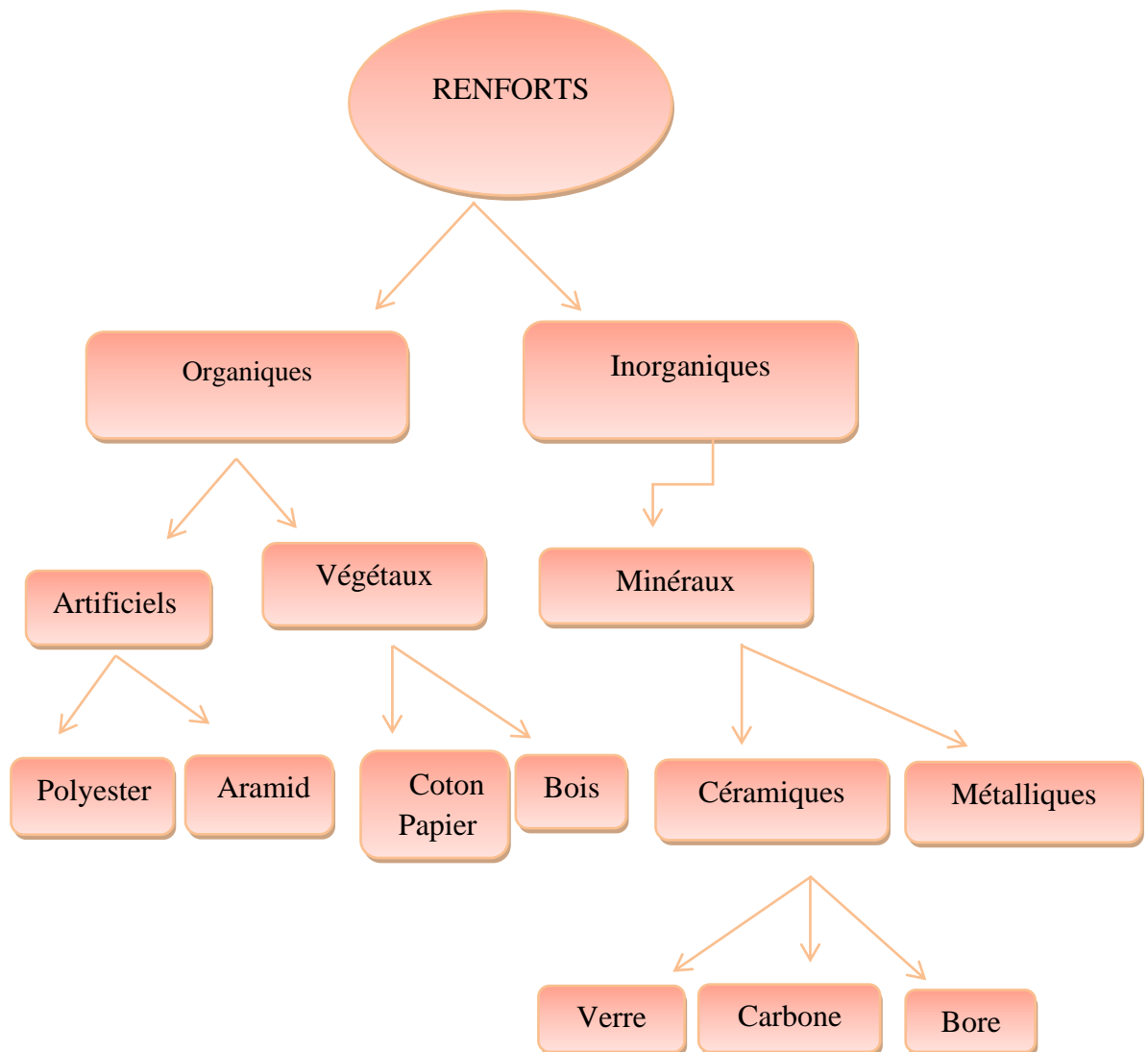


Figure II.1 : Organigramme représentant les différents types de renfort de base [17]

II.2.2.1. Renforts organiques

On cite particulièrement les fibres aramides qui ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leurs résistances à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite. Pour y remédier, des enzymes des fibres peuvent être utilisés. L'utilisation de composites à fibres hybrides permet également de remédier aux faiblesses des composites à fibres aramides. Des renforts hybrides de type verre-kevlar ou carbone-kevlar sont largement utilisés dans le domaine des loisirs (ski, raquette de tennis).

Quelques exemples de fibres aramides : KEVLAR (Dupont de Nemours, USA), TWARON (AKZO, Allemagne – Hollande), TECHNORA (Teijin, Japon) [17].

II.2.2.2. Renforts inorganiques

Les principaux renforts inorganiques sont :

- **Fibre de verre**

Le terme fibres de verre désigne à la fois les fibres utilisées comme isolant thermique et celles utilisées comme renforts associées à des matrices organiques pour donner des composites. La principale application des fibres de verre textile est le renforcement des plastiques. Cependant leur champ d'applications s'est élargi à d'autres matrices (ciment, plâtre, bitume...) [18].

- **Fibre de carbone**

Les fibres de carbone sont obtenues par décomposition thermique non oxydante d'un fil de matière organique appelé précurseur, qui généralement, est une fibre acrylique (polyacrylonitrile PAN). Selon les conditions de traitement et de température, on obtient des fibres à haute ténacité ou à haut module auxquelles on fait subir une oxydation superficielle afin d'améliorer la liaison carbone/résine.

Actuellement, les fibres de carbone sont le renfort le plus répandu pour les matériaux composites à hautes performances. Deux avantages principaux de ces fibres sont leur fabrication plus adaptée à la production à grande échelle que d'autres fibres hautes performances et leurs excellentes propriétés mécaniques plus facilement transférables aux matériaux composites. Leur prix reste, toutefois, prohibitif pour les produits courants [19].



Figure II.2 : Fibre de carbone [20]

- **Fibre de bore**

Fibre de haut module et insensibles à l'oxydation à hautes températures, elles sont obtenues par dépôt en phase gazeuse sur un substrat en tungstène [20].

- **Fibre de silice**

Elles sont produites comme le verre, par fusion, et sont essentiellement utilisées pour moteur de fusée [20].

- **Fibres de céramique**

Elle provient des matériaux réfractaires et sont des fibres de type carbure, borure et nitrure. Elles sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Les plus couramment produites sont : les fibres de bore, les fibres de carbure de silicium, les fibres de bore- carbure de bore (B_4C), les fibres de Bore-carbure de silicium (Bor SiC). Ces fibres de matériaux réfractaires sont formées en couches. Leurs caractéristiques mécaniques respectives sont assez voisines et se conservent à des températures pouvant aller de 500°C à 2000°C. Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avions [17].

- **Les Fibre métalliques**

Les fibres métalliques (acier, cuivre, aluminium) qui sont utilisées souvent avec des matrices métalliques sont appréciées pour diverses raisons telles que : leur prix de revient assez bas, leur haute capacité d'isolation thermique, leur bonne conductivité thermique et électrique, leur propriété d'isolation acoustique [21].

II.2.3. Application renforts

Les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées et constituent une fraction volumique de matériau composite généralement comprise entre 0.3 et 0.7. Les renforts fibres se présentent sous diverses formes commerciales.

- ❖ Sous forme de roving (fils, mèches, etc. ...) : le roving est un assemblage de fils de bases parallèles groupés sans torsion.
- ❖ Sous forme de tissus (tissus taffetas, toiles, serge, etc. ...) : le tissu est formé par l'entrecroisement perpendiculaire des roving.
- ❖ Les tissus de roving peuvent peser jusqu'à 800 g/m².

- ❖ Sous forme de mat (à fil coupé, à fil continu) : le mat est un matelas de fils coupés ou continu à ensimage plastique, agglomérés par un liant à solubilité rapide ou lente dans la résine [22].

II.3. Les charges

II.3.1 Définition les charges

Les matériaux composites peuvent être renforcés par un autre matériau se présentant sous forme de fines particules : ce sont les charges. Elles apportent des propriétés particulières ou complémentaires, qui ont pour rôle de modifier les caractéristiques des matériaux et permettent un abaissement du prix de revient. Elles sont utilisées surtout dans les composites de grande diffusion, et peuvent remplir différentes fonctions [23].

II.3.2. Types des charges

II.3.2.1 Charges particulières

a) Particulaires renforçantes

- **Charges sphériques renforçantes** : le principal intérêt de ce type de charge réside dans leur géométrie sphérique qui répartit régulièrement les effets et évite les concentrations de contraintes.

Les charges sphériques se présentent sous forme de sphères, appelées généralement microbilles ou microsphères, pleines ou creuses [24].

- **Charges non sphériques renforçantes** : on citera comme exemple le MICA, étant le plus utilisés. De dimension allant de 100 à 500 μm , Il est incorporé sous formes d'écailles d'épaisseur de 1 à 20 μm qu'on ajoute aux résines thermoplastiques et thermodurcissables pour est applications électriques ou électroniques.

Les charges non renforçantes ont pour rôle soit :

- ❖ Diminuer le cout des résines
- ❖ Conserver les performances des résines
- ❖ Améliorer certaines propriétés des résines

a) Charge conductrice et antistatiques

La nécessité d'utiliser un élément conducteur pour les résines organiques qui sont des isolants thermiques et électriques.

Les principales charges sont :

- ❖ Les poudres ou pailles métalliques : cuivre, fer, aluminium, etc.
- ❖ Les microbilles de verre métallisées (cuivre, argent)
- ❖ Les particules de carbones (noir de carbone)
- ❖ Les filaments métalliques [25].

b) Charges particulières inertes

De par leur faible coût, leur rôle essentiel est de réduire le prix de revient du matériau. Elles permettent aussi d'améliorer la mise en œuvre et certaines propriétés telles que la dureté et la résistance à la rupture. Ce type de charge regroupe surtout les matières minérales telles que : les silices, les kaolins (silicates d'aluminium hydratés) et le carbonate de calcium [24].

II.2.3 Application des charges

Tableau II.1: Propriétés affectées par l'incorporation d'une charge [26]

Type de propriété recherchée	Propriétés	Charge utilisée
Propriétés générales		<ul style="list-style-type: none"> •Carbonate de calcium •Sulfate de calcium •Silice •Alumine •Talc •Mica •Oxyde de zinc •Sulfate de baryum
FABRICATION	Facilité de mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> •Métaux •Carbonate de calcium •Polymères organiques •Sulfate de calcium
ELECTRIQUES	Conductivité électrique	<ul style="list-style-type: none"> •Argent •Cuivre électrolytique • Aluminium •Graphite
MECANIQUES	Module de flexion	<ul style="list-style-type: none"> •Carbonate de calcium • Sulfate de calcium

II.4. Roseau commun

II.4.1. Définition du roseau commun

Le roseau commun est une plante vasculaire d'une famille des graminées, c'est aussi une espèce héliophyte, cosmopolites. Il peut se rencontrer jusqu'à 1000m d'altitude.

Cette plante vivace peut atteindre une grande taille (plus de 6 m) et former des colonies monos spécifiques particulièrement denses pouvant contenir jusqu'à 325 tiges par mètre carré. Les tiges, dont le diamètre varie de 4 à 10 mm, sont produites à chaque printemps, mais elle meurt à la fin de l'automne. Elles demeurent toutefois érigées en hiver, et ce n'est qu'au printemps suivant qu'elles s'affaissent progressivement sur le sol et forment une litière qui peut atteindre plusieurs centimètres d'épaisseur et qui est lent à se décomposer. Les tiges sont surmontées d'une panicule (inflorescence) plus ou moins touffue selon le génotype en présence [27].



Figure II.3 : Roseau commun (phragmites australes) [27]

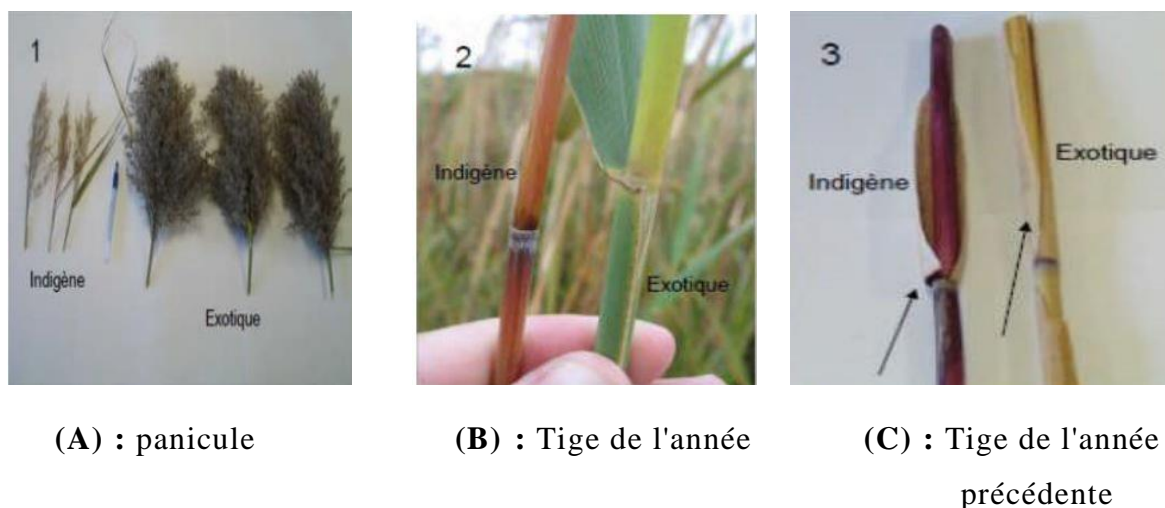
II.4.2. Les types de roseau commun

Il existe en Amérique du Nord plusieurs génotypes de roseau commun, soit au moins onze génotypes indigènes (peu envahissants) et un génotype exotique (génotype M), originaire d'Eurasie, qui lui est particulièrement envahissant. Cette découverte, publiée en 2002 par l'écologiste américaine KRISTIN SALTONSTALL.

LAVOIE, (2008) rappelle que parmi les principales caractéristiques pour différencier les deux roseaux communs sont :

- ❖ Taille de la panicule : grande pour l'exotique et petite pour l'indigène ;

- ❖ Couleur et cannelure de la tige : l'indigène est lisse et prend une teinte bourgogne au cours de la saison de croissance, alors que l'exotique présente une tige cannelée et reste plutôt présente une tige cannelée et reste plutôt jaunâtre ;
- ❖ Insertion de la feuille sur la tige : les feuille de l'indigène se détachent de la tige au niveau de la graine alors que les feuille de l'exogène sont plus persistantes [28].



(A) : panicule

(B) : Tige de l'année

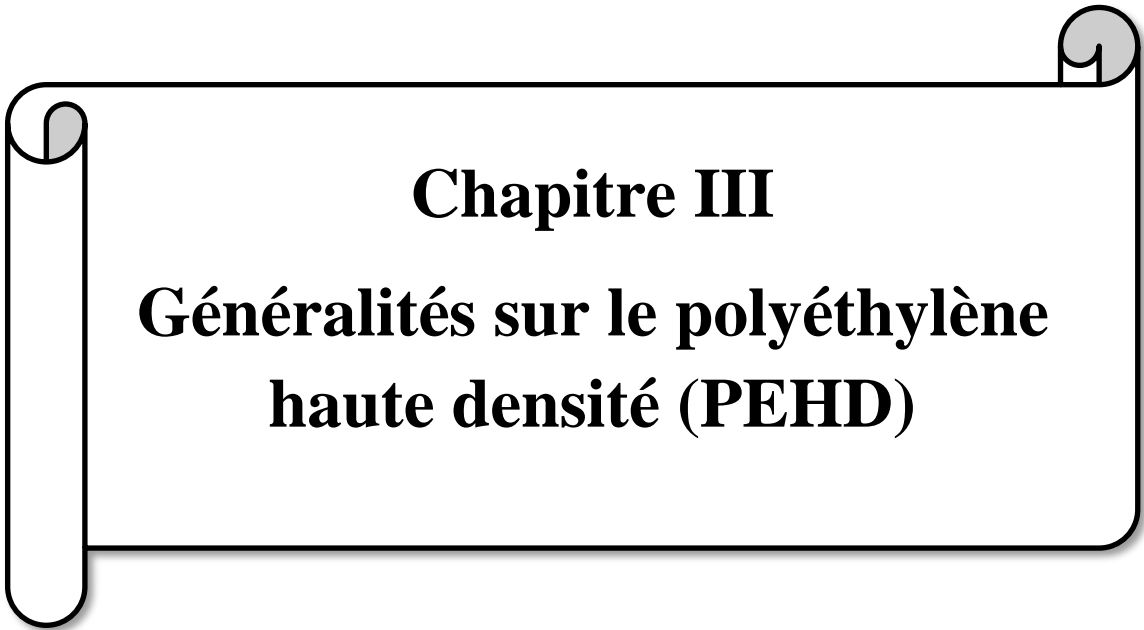
(C) : Tige de l'année précédente

Figure II.4 : Types des roseaux communs (*phragmites australis*) [28]

II.4.3. Applications de roseau commun

Jusqu'au XXème siècle, par difficulté de transport de la matière première (tiges de roseau), la plante a été utilisée à des fins domestiques de façon artisanale comme agricole pour la litière du bétail [29].

Les roseaux étaient utilisés localement, dans les toitures des maisons et pour fournir de la litière aux animaux. Ils constituent un abri de choix pour les passereaux et les petits mammifères. Ils sont aussi largement utilisés dans les stations d'épurations à filtre planté de roseaux (phytoépuration) En effet, les racines (rhizomes) assurent une grande surface de contact entre sol-eau usés. Ces derniers produisent des exsudats toxiques pour les bactéries pathogènes [30].



Chapitre III
Généralités sur le polyéthylène
haute densité (PEHD)

III.2. Le polyéthylène haute densité (Définition, Structure et Synthèse)

Le Polyéthylène haute densité (PEHD) est un polymère thermoplastique de grande diffusion, il se présente généralement sous forme de granulés cylindriques. A l'état pur ces granulés sont incolores. Sa structure chimique est la suivante : $-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_2-$

Les premières unités de production datent du milieu des années cinquante, la première fut construite en 1955 par la société PHILLIPS au Texas, ce fut ensuite HAECST qui démarra la première unité selon le procédé ZIEGLER en 1956 [33].

➤ Le procédé ZIEGLER NATTA

Les catalyseurs « Ziegler- Natta » sont constitués d'un composé halogéné d'un métal de transition des groupes IV ou V (titane, vanadium...) et d'un composé alkyle comme la montre la figure (III.2). Leur productivité est supérieure à 30 kg de polymère par gramme de catalyseur. Ils sont généralement déposés sur des supports solides cristallins (alumine, silice...).

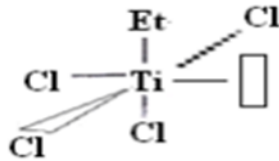


Figure III.2 : Structure d'un catalyseur de type « Ziegler- Natta » [33]

Le site actif de cette polymérisation comprend un atome de titane complexé à 4 atomes de chlore et un groupe alkyle dans une configuration octaédrique, avec un site vacant. Ce dernier permet à une molécule d'éthylène de complexer l'atome de titane. Dans l'étape suivante la molécule d'éthylène s'insère entre le métal et le groupe alkyle, créant un nouveau site vacant et permettant la répétition de l'opération qui conduit à une chaîne de PE. Le mécanisme détaillé de la synthèse du PEHD selon le procédé « Ziegler- Natta » est représenté sur la figure (III.3) [33].

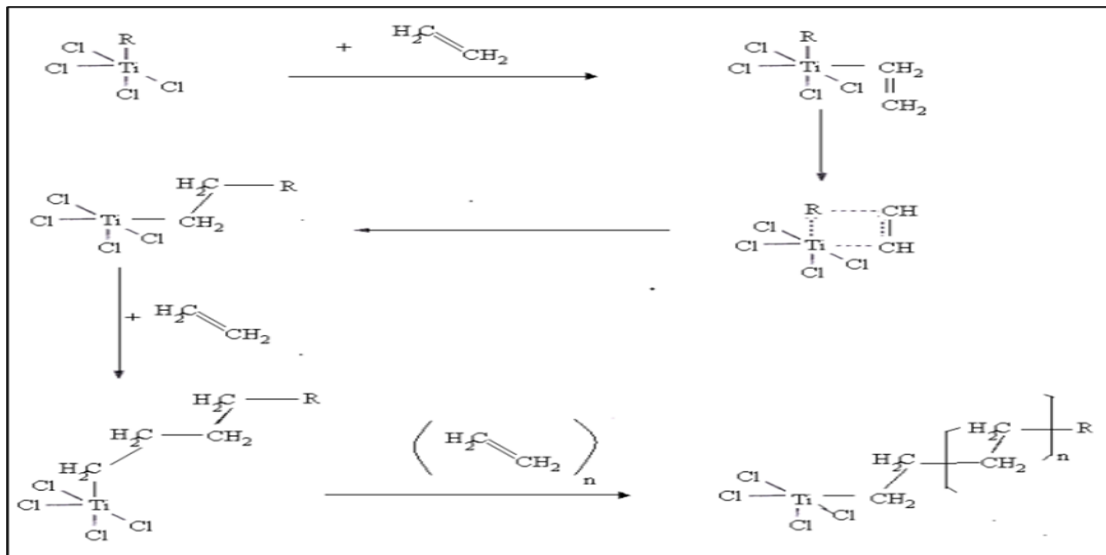


Figure4 : Synthèse du polyéthylène selon le procédé « Ziegler- Natta » [33]

➤ Le procédé PHILLIPS

Ce procédé est basé sur l'emploi d'un catalyseur à l'oxyde de chrome hexa valent (CrO_3) sur un support de silice ou d'alumine, le mécanisme est illustré sur la figure (III.4).

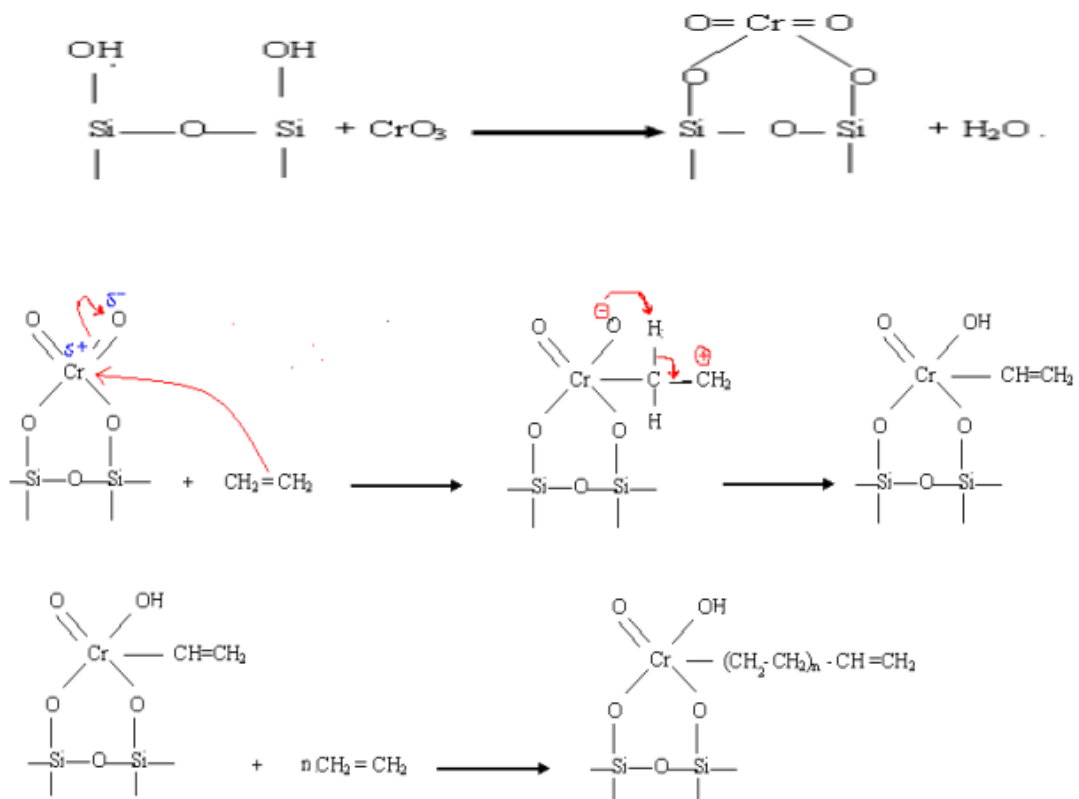


Figure 5: Synthèse du polyéthylène selon le procédé de PHILLIPS [33]

III.3. Les Propriétés de Polyéthylène Haute Densité

III.3.1. Propriétés rhéologiques

Le PEHD à l'état fondu présente un comportement viscoélastique non linéaire, cela signifie que sa viscosité diminue avec l'augmentation du cisaillement. Lors de l'extrusion, le polyéthylène est soumis à un gradient de vitesse de cisaillement, du cylindre de l'extrudeuse à la filière. Il est donc important de connaître la courbe de viscosité-vitesse de cisaillement sur l'étendue de la plage de cisaillement. La mesure de l'indice de fluidité à chaud (IF) permet d'estimer la viscosité à une vitesse de cisaillement donnée [34].

III.3.2. Propriétés physiques

La différence entre le PEHD et le PEBD est le point de ramollissement, puisqu'il se situe au-dessus du point d'ébullition de l'eau pour l'un et au-dessous pour l'autre.

Les articles fabriqués, avec le polyéthylène de haute densité, peuvent ainsi être stérilisés à la vapeur [34].

III.3.3. Propriétés chimiques

Le polyéthylène possède une très bonne stabilité chimique :

- Inattaquable par les acides (sauf les oxydants), par les solutions de sels ;
- Résistants aux solvants organiques au-dessus de 80°C ;
- Pratiquement insoluble, à des températures inférieures à 60°C ;
- Sensible à la fissuration sous contrainte en présence de savon, alcools, détergents ;
- Il refroidi lentement et plus cristallin et moins perméable aux solvants [35].

III.3.4. Propriétés électriques

Le PE présente d'excellentes propriétés d'isolation électrique quelles que soient sa masse moléculaire et sa cristallinité. Sa faible permittivité relative et son faible facteur de dissipation diélectrique font de lui un matériau de choix en isolation électrique [35].

III.3.5 Propriétés thermiques

Le point de fusion du PEHD se situe entre 120 et 136°C. La conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique linéaire sont fonction du taux de cristallinité, ils sont plus élevés pour les homopolymères que les copolymères [34].

III.3.6. Propriétés Mécaniques

La rigidité et la dureté du PEHD augmentent avec la densité, et donc avec la cristallinité. La rigidité est mesurée au moyen de module d'élasticité qui varie d'environ 1600 MPa (dans le cas du PEHD) alors que la dureté (Shore D) varie d'environ 60.

Le PE est un thermoplastique résistant au choc et à l'impact, même à des basses températures ($T < 0^{\circ}\text{C}$), due à sa faible température de transition vitreuse $\ll T_g \gg$ (jusqu'à -110°C). Cette résistance est d'autant meilleure que :

- ✓ La masse molaire est plus élevée.
- ✓ La cristallinité est plus faible
- ✓ La distribution des masses moléculaires est plus large.

Le touché paraffinique du PE lui assure un faible coefficient de friction. Sa résistance à l'abrasion augmente avec la masse moléculaire et la cristallinité. Elle est remarquable pour les PEHD de masse moléculaire très élevée [34].

III.4. Applications de PEHD

L'utilisation de PEHD est appliquée dans plusieurs domaines, on donne ici des exemples pour quelques applications :

Agriculture : films, filet de pêche, pipe d'irrigation, cageots.

Industrie : cosmétiques, alimentaire (bidons d'huile), produits d'entretien.

Emballage : pipe gaz naturel et eaux, pièces techniques et automobiles, conteneurs [36].

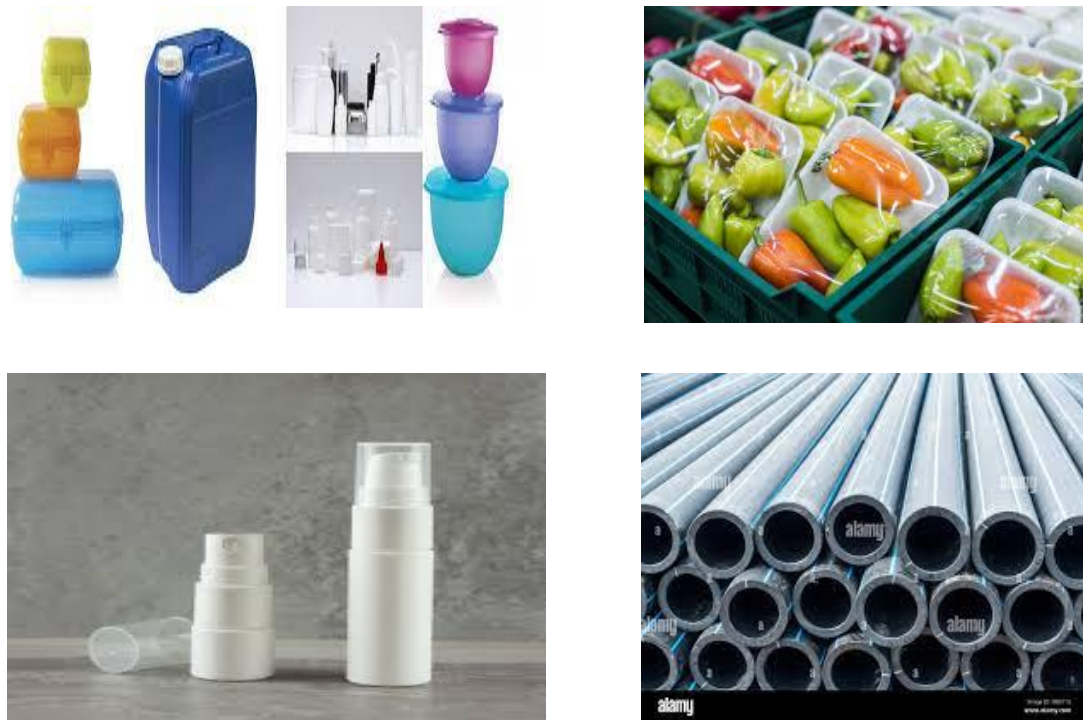


Figure III.5 : Quelques matériaux en PEHD [37]

III.5. Mise en œuvre du PEHD

III.5.1 Injection

On peut distinguer :

- ✓ L'injection simple ;
- ✓ L'injection bi matière produisant des pièces dont la peau donne l'aspect et les caractéristiques, et le cœur est fait de matière allégée ou recyclée ;
- ✓ La co-injection de gaz dans le PE-HD, qui présente un certain nombre d'avantages et inconvénients.

Avantages :

- Pièces creuses plus légères, retrait moins important, meilleur aspect de surface, moindre distorsion, tensions internes diminuées, force de fermeture réduite et refroidissement plus court.

Inconvénients :

- Impossibilité d'utiliser un moule multi empreinte, trou – à boucher – dans la pièce au niveau du point d'injection du gaz.

En général, les températures d'injection du polyéthylène haute densité varient de 200 à 280 °C et le retrait, de l'ordre de 1,5 à 3 %, qui s'opère essentiellement pendant la phase de cristallisation du polymère, dépend des conditions de mise en œuvre (températures de la matière et du moule, vitesse d'injection, pression et temps de maintien en pression), des caractéristiques du polymère (fluidité à chaud) et de l'épaisseur de la pièce.

L'injection représentait 21 % de la consommation de polyéthylène haute densité en France en 2009, soit 138 kt (source Applied Market Information Ltd – AMI). Ce marché est largement dominé par les polymères issus des procédés Ziegler [38].

III.5.2. Extrusion-soufflage

L'extrusion-soufflage représentait 45,6 % de la consommation de polyéthylène haute densité. Cette technique permet d'obtenir, en grandes séries, à coût intéressant, les corps creux les plus divers dont le volume peut aller de quelques millilitres (flacons pharmaceutiques) à plusieurs mètres cubes (réservoirs à mazout, Fosses septiques). Les critères suivants sont pris en compte pour le choix du polymère : aspect, rigidité, résistance au choc, résistance au fluage, imperméabilité, compatibilité avec le contenu, résistance à la fissuration sous contrainte et au vieillissement. Pour obtenir les propriétés recherchées pour un poids minimal, les résines utilisées doivent avoir une masse molaire et un taux de cristallinité élevés. Un compromis entre la masse molaire et la cadence de production peut être envisagé. Étant donné la diversité des corps creux qui peuvent être obtenus par extrusion soufflage, la gamme des PE-HD utilisables est très étendue. Ce marché est largement dominé par les polymères issus d'un procédé Phillips [39].

III.5.3. Extrusion en continu

- **Extrusion de tubes**

Ce procédé de mise en œuvre en continu permet de transformer les poudres et granulés en tubes ou gaines, profilés, films ou plaques dont la longueur n'est pas limitée. On introduit la matière dans un cylindre chauffant à l'intérieur duquel une vis sans fin la pousse. En avançant, la matière fond, se comprime, puis passe à travers une filière dont la forme est celle du produit à fabriquer. Celui-ci est ensuite éventuellement traité pour acquérir certaines propriétés, puis refroidi. En utilisant plusieurs machines conjointement, on réalise des produits constitués de différentes matières sous forme de couche. Cette co-extrusion permet de combiner les propriétés de plusieurs matériaux. L'extrusion est également employée pour le revêtement des fils et câbles électriques. L'extrusion est un

procédé de fabrication à haute cadence, peu coûteux et qui permet d'obtenir des formes très diverses. Le schéma ci-après montre les principales phases par lesquelles passe le produit.

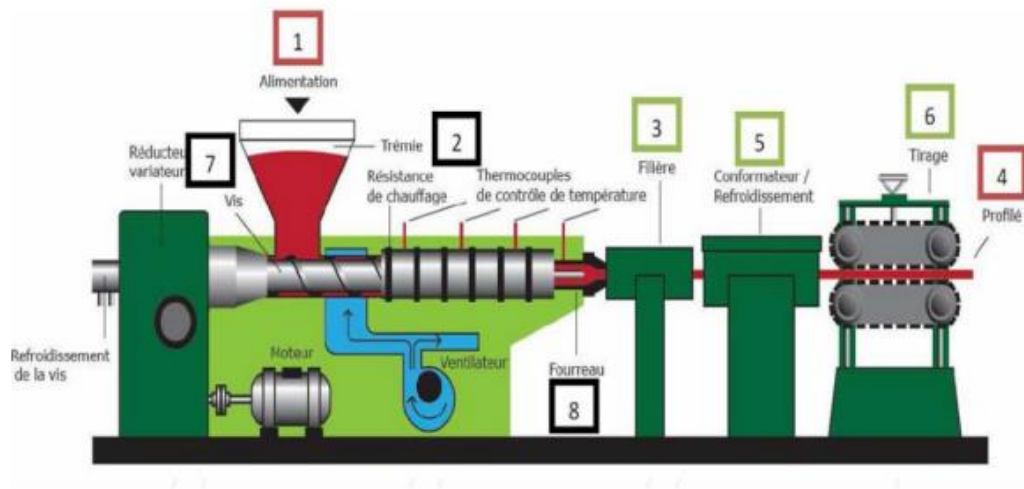


Figure III.6 : L'installations de l'extrusion des tubes [40]

III.5.4. Moulage par rotation

Son principe est simple : il consiste à faire tourner, dans deux plans perpendiculaires, un moule chaud rempli de poudre de polyéthylène. Après fusion, le moule est refroidi pour permettre le démoulage de l'objet. Les poudres utilisées sont issues du broyage mécanique de granulés. Une répartition granulométrique étroite est nécessaire pour assurer aux objets transformés le niveau de qualité optimal. Le rotomoulage est particulièrement bien adapté à la production de pièces creuses, ouvertes ou fermées, de grand volume, ou bien de pièces plus petites mais dont les séries ne peuvent justifier l'investissement d'un moule d'extrusion soufflage. Les applications sont assez nombreuses dans les domaines les plus variés : fosses septiques, cuves à engrais, conteneurs à produits chimiques, poubelles, bateaux, articles de signalisation routière (par exemple délinéateurs), réservoirs à carburants, etc [39].

III.5.5. Enduction

Pour l'enduction de tissus divers, cols de chemise par exemple, on utilise des poudres issues du broyage du polyéthylène haute densité. Les produits utilisés ont en général une fluidité élevée [39].



Chapitre IV

Les Matériaux et techniques de caractérisations

Chapitre IV : Matériaux et techniques de caractérisations**IV.1. Introduction**

Le présent chapitre résume les travaux effectués dans le laboratoire CP2K afin d'étudier l'effet de l'addition d'une charge végétale : poudre de roseau commun (RC) sur les propriétés rhéologiques et mécaniques de la matrice thermoplastique : le polyéthylène haute densité (PEHD) grade 5502.

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

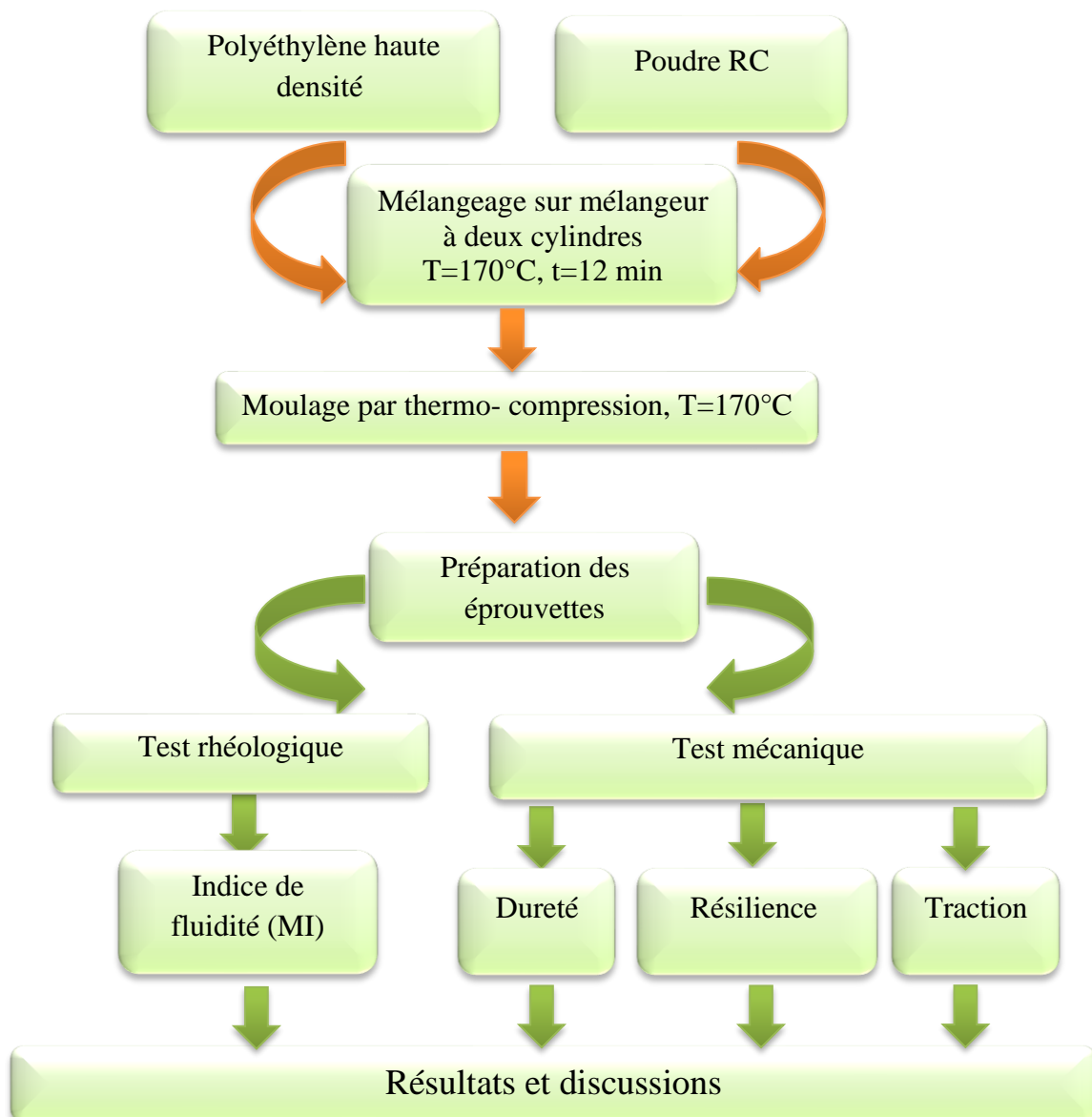


Figure IV.1 : Les différentes étapes d'élaboration et caractérisation de matériaux bio-composites poudre / PEHD

IV.2. Matériaux utilisés

IV.2.1. Polyéthylène haute densité (PEHD)

On a utilisé dans cette étude le PEHD grade 5502, produit par le complexe CP2K situé au niveau de la zone industrielle de Skikda, commercialisé sous forme d'une poudre d'une couleur blanche comme l'indique la (Figure IV.2). Ce produit est obtenu par voie radicalaire selon le procédé de PHILIPS utilisant de basses pressions.



Figure IV.2 : PEHD grade 5502

Ce grade est adéquat pour la fabrication des plaques, ses principales caractérisations sont données sur le tableaux suivant :

Tableau IV.1 : Principales caractéristiques du PEHD 5502

Propriétés	Méthode	Unité	Valeur
Générales			
-Indice de fluidité (2,16 Kg / 190°C)	ASTM D 1238	g/10min	0,35
-Densité (23°C)	ASTM D 1505		0,9540-0,9580
-Dureté Shore	ASTM D 2240		67
Mécaniques			
-Résistance à la traction à la rupture (50mm/min)	ASTM D 638 Type IV	MPa	28
-Elongation à la rupture (50mm/min)	ASTM D 638	%	> 600
-Module de flexion	Type IVASTM D 790	MPa	1200
Autres			
-Résistance à la fissuration sous contrainte (ESCR), F50	ASTM D 1693	h	20
Impact IZOD	ASTM D 256	J/m	2,735-2,738

IV.2.2. Le roseau commun (RC)

Le tableau IV.2 représente la composition chimique de la poudre RC.

Tableau IV.2 : Composition chimique de roseau commun [41]

Poudre de Roseau	Cellulose	Lignine	Hémicellulose	Centre	Silice	Autres
Composé (%)	44.72	22.80	20.00	3.00	2.00	7.48

IV.3. Technique expérimentale

IV.3.1. Préparation de la charge

IV.3.1.1. La récolte

Le roseau commun utilisé dans cette étude est récolté dans la zone de BIN ELOUIDEN-SKIKDA.

IV.3.1.2. Broyage

Les tiges du roseau commun sont coupées, lavées plusieurs fois, laissé séchée pour quelques jours afin de réduire leurs taux d'humidité. Ensuite, ils ont été coupés en petits morceaux (**figure IV.3**). Enfin, ces derniers ont subi un broyage en utilisant un Moulin METAL8 de la marque SEB.



Figure IV.3 : petits morceaux du roseau commun



Figure III.4 : Moulin à café "SEB"

IV.3.1.3. Tamisage

Les fibres ainsi broyées ont été tamisées manuellement (**figure IV.5**) dans des tamis de la marque RTSCH (**figure IV.6**) afin d'obtenir une farine ayant un diamètre inférieur ou égal à 180 μ m (0,0180mm). Ce tamisage a été réalisé au laboratoire de béton de département de Génie Civil-Skikda.



Figure IV.5 : Tamisage de la farine du roseau commun



Figure IV.6 : Tamiseuse d'analyse (AS200 basic)

IV.3.2. Préparation des mélanges PEHD/ RC

Cette partie expérimentale est réalisée au niveau de laboratoire du complexe CP2K. On a préparé les composites ainsi la fabrication des plaques et les éprouvettes.

Dans un premier temps nous nous sommes intéressées à l'étude des mélanges PEHD/RC afin d'aboutir à la proportion optimale en RC, pour cela la technique utilisée pour la préparation du mélanges PEHD/RC est celle à l'état fondu. Les proportions des mélanges PEHD/RC utilisées respectivement sont : 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 (%) comme indiquer ci-dessous :

Tableau IV.3 : Tableau représentatif des pourcentages des composites PEHD/RC.

Composite PEHD /RC (%)	PEHD (g)	Poudre de RC (g)
100/0	150	0
90/10	135	15
80/20	120	30
70/30	105	45

Chaque formulation des composites PEHD/RC est mise dans une bouteille fermée et mélangée jusqu'à ce que le mélange devient homogène.



Figure IV.7 : Mélanges PEHD/RC à différents pourcentages

IV.3.3. Le malaxage

Des feuilles des composites PEHD/RC de l'ordre de 1mm d'épaisseur ont été préparé à l'aide d'un mélangeur à deux cylindres de marque IQAP, LAP, PLA-30 représenté sur la figure (IV.8). La température est maintenue 170°C, le malaxeur est réalisé pendant 12 min [42].



Figure IV.8 : L'opération de malaxage sur un mélangeur de deux cylindres

En suite la réalisation de découpage des feuilles en petits morceaux.



Figure IV.9 : Les feuilles coupées en petits morceaux

IV.3.4. Moulage par thermo compression

Cette méthode a été utilisée pour produire des plaques de 2 et 3 mm d'épaisseur à l'aide d'une presse hydraulique de thermocompression à plateaux de marque IQAP LAP, PLA-30 (figure IV.10), utilisée pour la préparation des éprouvettes qui sont destinées aux essais mécaniques (traction, IZOD et dureté).



Figure IV.10 : Photo représentatif d'une presse hydraulique automatique

IV.3.5. Préparation des éprouvettes

La préparation des éprouvettes se fait selon des critères et des normes (dimension, forme...) à l'aide des appareils (Poinçonneuse et Entailleuse « Notch Vis »).

- **Poinçonneuse**

La figure (IV.11) représente un appareil qui est une presse pneumatique à découper de marque CEAST type 6053, son principe est de couper les plaques de (150x150x2mm) pour donner des éprouvettes de dimensions (115x25x2mm) selon la norme ASTM D 638-72 pour réaliser le test de traction, ou bien des plaques de (150x150x3mm) pour donner des éprouvettes de dimensions (127x12.7x3mm) comme décrit la norme ASTM D-256 afin de faire le test IZOD [43].



Figure IV.11 : Appareillage d'une poinçonneuse « Presse pneumatique à découper » [43]

- **Entailleuse**

L'appareil représenté dans la figure (IV.12) est de marque CEAST type 6951, son principe est de faire une entaille de 2.5 mm de forme « V » dans une éprouvette de dimension (127 x12.7 x3mm) après les avoir préparées comme décrit la norme ASTM D 256 pour faire le test IZOD. On place l'éprouvette sous l'étau et on la centre avec la lame puis on règle le zéro du micromètre, en fermant la portière et en appuyant sur le bouton START pour faire avancer l'échantillon vers la lame tout en tournant le bras du micromètre Cinq tours jusqu'à l'apparition d'une entaille de 2,5 mm et d'un angle de 45° [3].

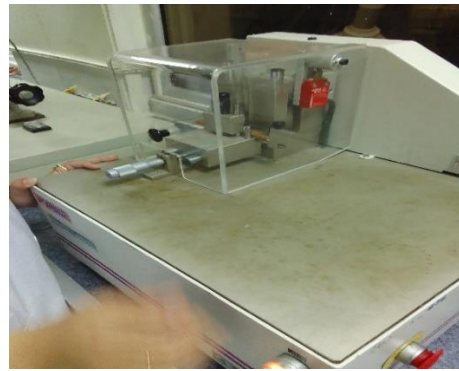


Figure IV.12 : Entailleuse pour entailler les échantillons pour le test IZOD



Figure IV.13 : les éprouvettes obtenues pour les différents essais

IV.4. Techniques de caractérisation

Cette partie décrit les différentes techniques utilisées pour la caractérisation mécanique, rhéologique des matériaux préparés.

IV.4.1. Test rhéologique : indice de fluidité (Melt Flow Index : MFI)

Le MFI est un paramètre très important pour le contrôle de la qualité du PEHD. La méthode du test est réalisée conformément à la norme ASTM-D 1238. Ce test permet de mesurer la fluidité d'une résine à l'état fondu qui donne des indications sur : la viscosité du polymère donc sur sa masse molaire moyenne et la vitesse d'écoulement et d'extrusion [44].

✚ Protocol expérimental

Le polymère est extrudé à travers une filière de diamètre 2,09 mm et de longueur de 8 mm à la température de 190°C avec une charge de 2.16 Kg. Cet essai a été réalisé suivant la norme ASTM-D 1238. On préchauffe le cylindre du Plastomère et on le nettoie d'abord, on fait placer la filière qui est déjà nettoyée tout en vérifiant son diamètre, on la préchauffe d'abord à 190±2°C pendant au moins 15 min avant de procéder le test, on verse l'échantillon à analyser dans le cylindre et on le préchauffe sans charge pendant 3 min ensuite avec charge pendant 3 min tout on dégageant les bulles d'air puis on coupe cette partie extrudée inutile, ensuite on laisse la résine s'écoule pendant 10 min, enfin on la coupe et on la pèse pour la détermination du MFI de notre échantillon qui représente la quantité extrudée en gramme dans dix minutes [44].

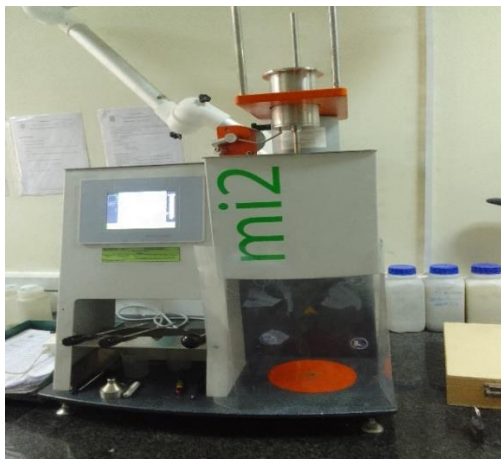


Figure IV.14 : L'appareille utiliser pour calculer du MI

IV.4.2. Analyses mécaniques

On a fait trois analyses mécaniques : test de la dureté (SHOR D), test de Choc ou ce qu'on appelle la résilience ou résistance au choc (méthode IZOD) et test de traction [45].

IV.4.2.1 Résistance au choc (la résilience)

Le choc de l'application d'une sollicitation mécanique à grande vitesse, engendrant la cassure d'une éprouvette en une fraction de seconde. Il permet de juger, dans des conditions expérimentales donnés la fragilité d'un ensemble matériau-éprouvette.

Il y a deux types d'essais suivant l'appareillage et le mode de sollicitation :

- ❖ Les méthodes pendulaires pour sollicitation uni axiale.
- ❖ Les méthodes par chutes de masses pour sollicitation multiaxiale [45].

A. Méthodes pendulaires pour sollicitation uniaxiale

La résistance (résilience) au choc caractérise l'énergie absorbée au cours de la cassure d'une éprouvette préalablement entaillée. L'essai se réalise sur une machine appelée mouton-pendule rotatif. La résilience s'exprime par unité de l'épaisseur (J/mm), ou résilience transversale en (J/m^2) ou la résilience volumique en (J/m^3). Chaque appareil est équipé de plusieurs pendules (marteaux) interchangeables de 0.5 à 50 J. L'entaille que l'on introduit comme amorce de rupture dépend de multiples paramètres : la géométrie (entailles en U ou en V), le rayon de courbure, la largeur, la profondeur, le mode de sollicitation et les conditions de réalisation. On distingue ainsi deux méthodes (Charpy, IZOD).

B. Méthode IZOD (Méthode par flexion d'éprouvette encastrée à une extrémité)

La méthode la plus courante est connue sous la référence IZOD (ISO180). Elle est très utilisée aux Etats-Unis (ASTM D-256), mais limitée en France à la caractérisation des polystyréniques (T51-911 identique à la norme ISO 180 et voisine de la norme ASTM D-256). La géométrie des éprouvettes et de l'entaille (en V) est analogue à celle des éprouvettes Charpy [45].

La relation de la résilience des éprouvettes entaillées est exprimée par :

$$a_k = (A_k/e) \dots\dots\dots (IV.1)$$

Où :

a_k : Résilience de l'éprouvette avec entaille (J/mm) ;

A_k : est l'énergie cinétique en joule absorbée par l'éprouvette (J)

e : l'épaisseur de l'éprouvette (mm)

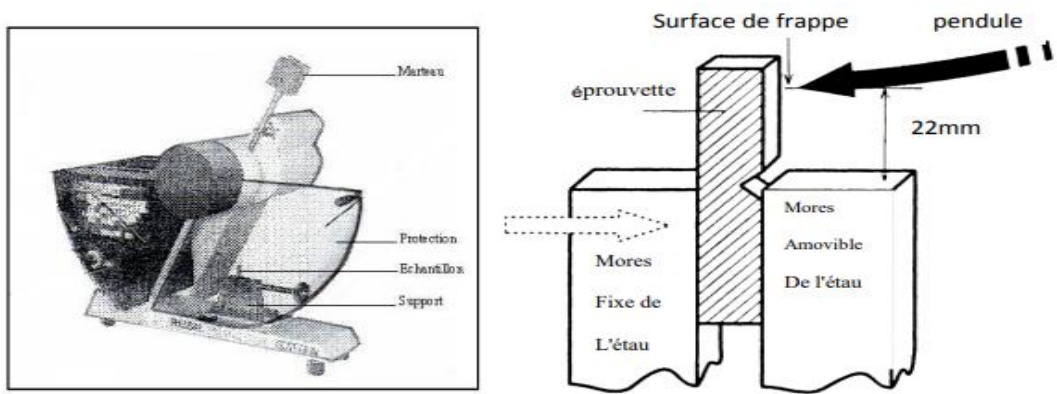


Figure IV.15 : Appareillage et agencement expérimental pour le calcul de la résilience IZOD [46]

🛠 Protocole expérimentale pour le calcul de la résilience IZOD : (Norme ASTM D-256)

A partir d'une plaque de 3 mm d'épaisseur on confectionne des échantillons de dimension : L = 100 mm et l = 12,7 mm sur lesquels une entaille centrale (en V) de 2,5

mm de profondeur pour un souci de reproductibilité des résultats, trois essais sont réalisés et la valeur moyenne est retenue.

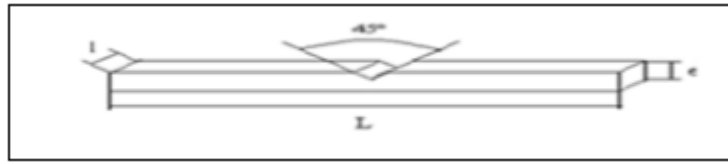


Figure IV.16 : L'éprouvette du test de choc [45]

IV.4.2.2 Test de dureté SHOR D

La dureté est la mesure de la résistance d'un matériau à la pénétration d'un corps dur, une technique très simple et efficace.

Le principe de ces essais est la mesure de l'entaille provoquée par l'indication d'une bille en acier ou d'un cône en diamant sous une charge standard. Des dispositifs de pénétration de taille différente sont employés pour des différentes grammes de dureté et en même temps que les valeurs numériques de la dureté.

C'est une propriété complexe à mesurer qui exprime la résistance à la déformation. Elle est normalement déterminée selon des méthodes légèrement modifiées initialement employées dans les essais des métaux, les normes applicables étant les normes ASTM D 785-51 et ASTM D 2240. Il existe quelque type de la dureté shore : shore A, shore B, shore D, shore C, et O, dans ce cas nous utiliserons la dureté shore D. Elle mesure la dureté des matières plastiques dures. Cette dureté est mesurée sur une échelle de 0 à 100. Plus le nombre est élevé, plus le matériau est dur. [47]



Figure IV.17 : Appareillage de mesure de la dureté Shore D

✚ Protocole expérimental

Selon la norme ASTM D-2240, les échantillons en plaque de 2 mm d'épaisseur sont préparés, puis placés sous l'aiguille. En agissant sur le bras du levier jusqu'à pénétration de l'aiguille on peut lire la valeur indiquée par celle-ci. Trois essais sont réalisés en différents points, puis la moyenne est calculée [47].

IV.4.2.3 Test de traction

Ce test consiste à appliquer un effort F sur une éprouvette et à mesurer l'allongement correspondant ΔL ou inversement imposé allongement ΔL et mesurer l'effort F . Il est utilisé pour déterminer la capacité de matériau à se déformer, soumis à un effort à la température ambiante [43].

Les propriétés en traction (module d'élasticité E , contrainte à la rupture σ_r , contrainte au seuil d'écoulement σ_y , déformation à la rupture ε_r) sont évaluées à partir des courbes contrainte-déformation [48].

Le module d'élasticité s'exprime comme suit :

$$E = \sigma / \varepsilon \text{ (MPa)} \dots \dots \dots \text{ (IV.2)}$$

E : Module d'élasticité (MPa) ;

σ : Contrainte (MPa) ;

ε : Déformation (%) ;

La contrainte est donnée par l'expression suivante :

$$\sigma_r = F/S \text{ (MPa)} \dots \dots \dots \text{ (IV.3)}$$

F : Charge de traction supportée par l'éprouvette (N).

S : Section initiale (mm²).

Déformation à la rupture est indiquée en pourcentage sous la forme suivante :

$$\varepsilon_r = \Delta l / l_0 (\%) \dots \dots \dots \text{ (IV.3)}$$

$\Delta l = l - l_0$: Allongement ;

l_0 : longueur initiale de l'éprouvette ;

l : longueur finale de l'éprouvette [48].

✚ Protocol expérimental

Tous d'abord on va préparer l'éprouvette de 35 mm de longueur initiale (l_0), de 5 mm de largeur et 2 mm d'épaisseur. La vitesse d'étirement égale à 5 mm/min. Le test est réalisé sur une machine de marque **Gmbh** représentée sur la figure (IV.18) et suivant la norme ASTM D 638. L'éprouvette est fixée entre deux mors, puis après la vérification de tous les paramètres on met la machine en marche. Lorsqu'on arrive à la rupture de l'éprouvette on arrête le test et on obtient la courbe de traction qui donne la variation de la force en fonction de l'allongement.

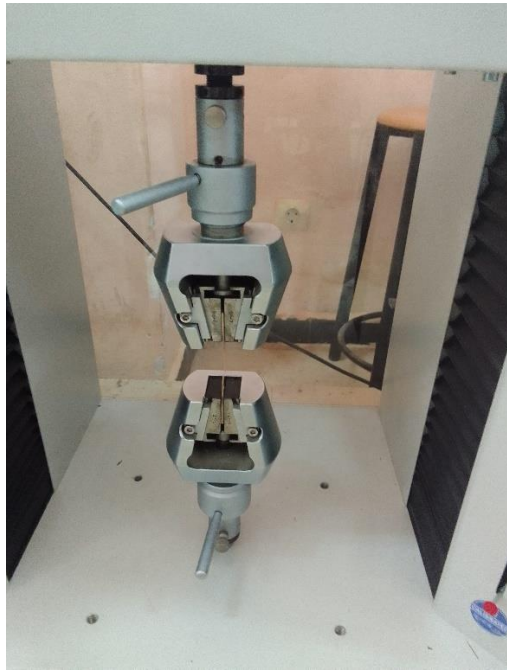
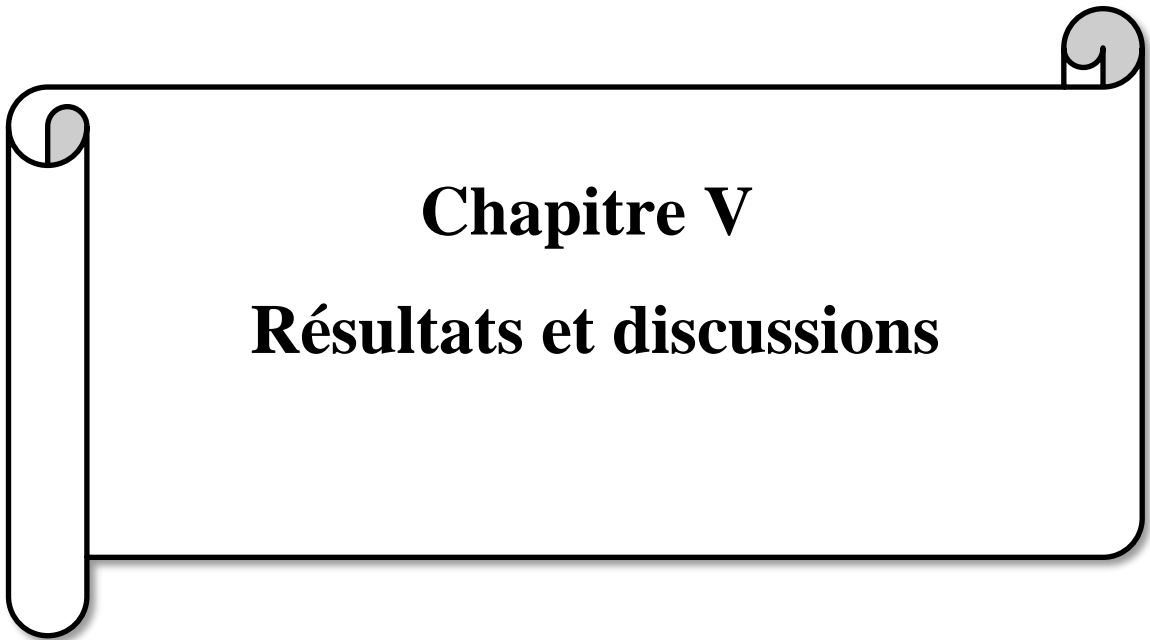


Figure IV.18 : Appareil pour l'essai de traction



Chapitre V
Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1 Introduction

A partir des différents tests effectués (Indice de Fluidité, Traction, Dureté, Résistance au Choc) sur les échantillons préparés, on peut étudier l'effet du taux de RC sur les différentes propriétés des mélanges (PEHD/RC).

V.2 Test Rhéologique : Indice de Fluidité

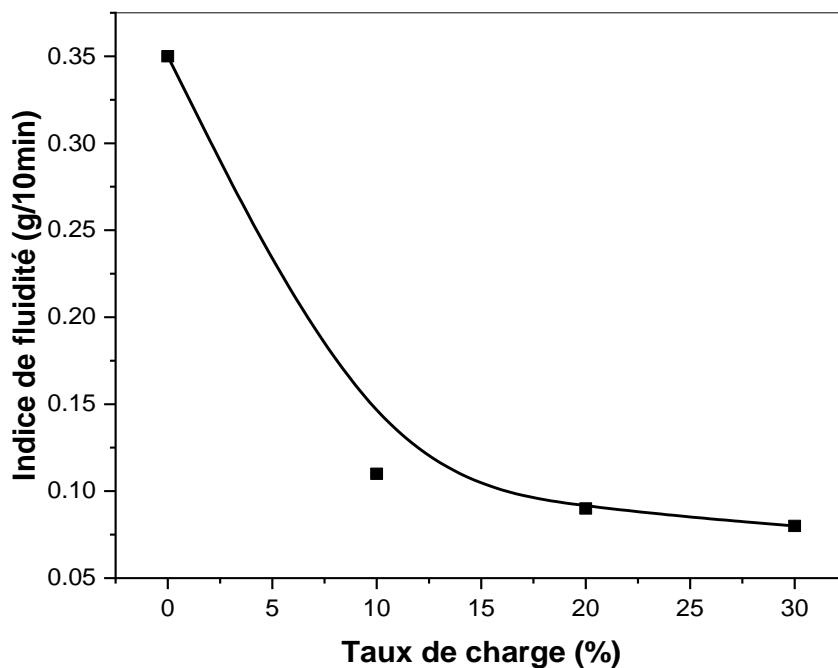


Figure V.1 : L'évolution de l'indice de fluidité des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge

La figure (V.1) représente la variation de l'indice de fluidité des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge, on remarque que l'indice de fluidité diminue avec l'augmentation du pourcentage de la charge. Ceci est expliqué par l'augmentation de la viscosité des mélanges en présence de la charge ainsi la présence des particules solides du renfort constituent un obstacle et empêchent l'écoulement du matériau.

V.3. Tests Mécaniques

V.3.1. Résistance au Choc

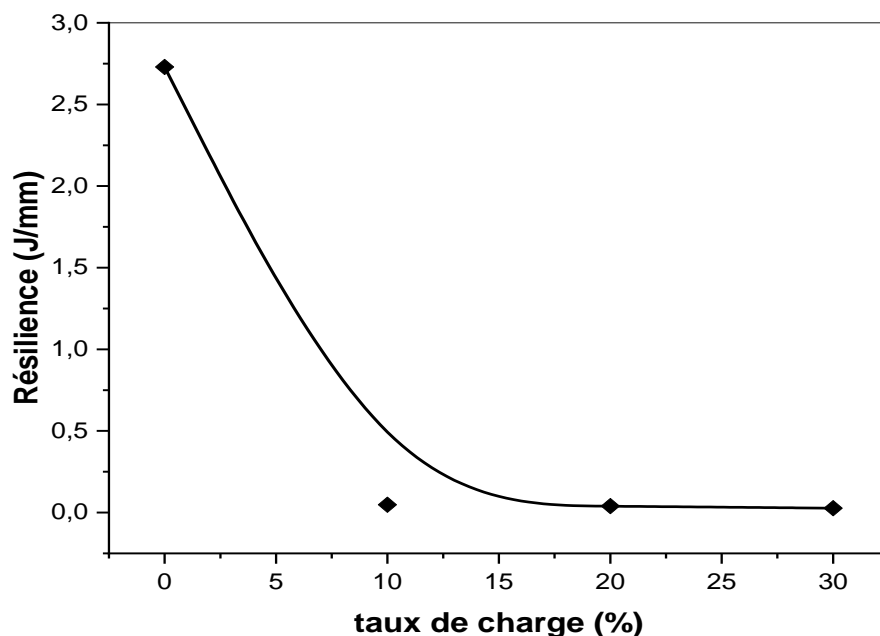


Figure V.2 : L'évolution de la résistance au choc des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge

D'après la figure (V.2), on observe que la résistance au choc des composites PEHD/RC diminue avec l'augmentation du pourcentage de poudre.

Cette diminution est due au manque d'interactions PEHD/RC, dans ce cas une force externe plus faible peut causer le décollement PEHD/RC conduisant à la fragilisation du matériau.

V.3.2. La Dureté SHORE D

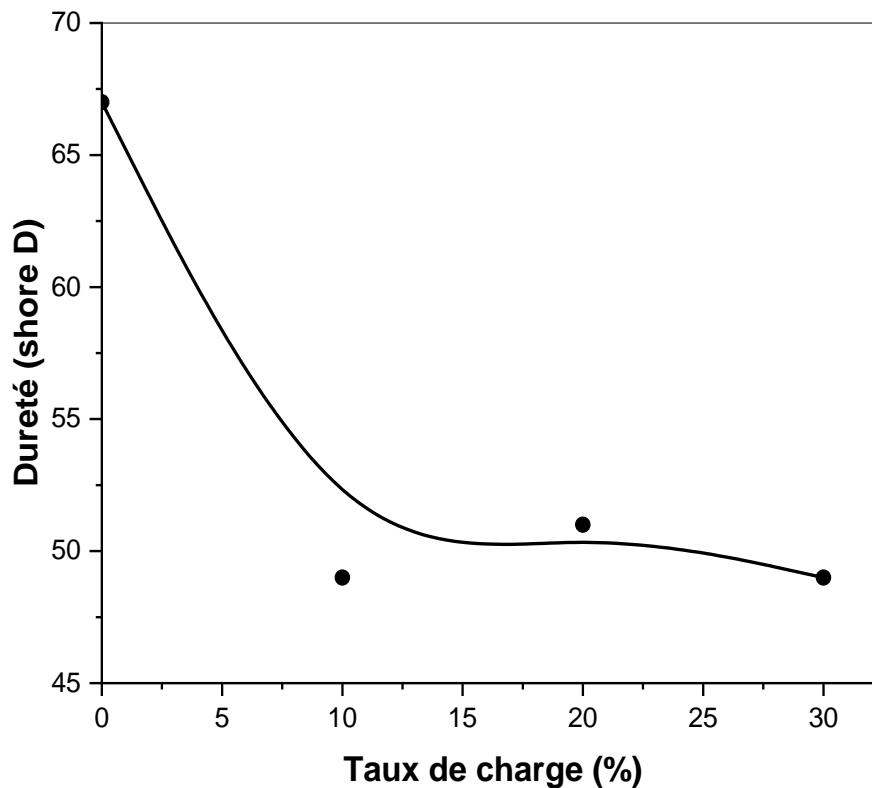


Figure V.3 : L'évolution de la dureté shore des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge

D'après cette figure, on remarque que la dureté pour mélange de PEHD/RC de pourcentage 10% en RC a diminué par rapport au PEHD pur, tandis qu'on observe une augmentation de la dureté avec le taux du RC pour le pourcentage 20% et une deuxième diminution pour le pourcentage de 30%.

La diminution de la dureté du PEHD avec l'addition de la charge est due à la mauvaise dispersion de la poudre (RC) dans la matrice thermoplastique (PEHD).

V.3.3. Test de traction

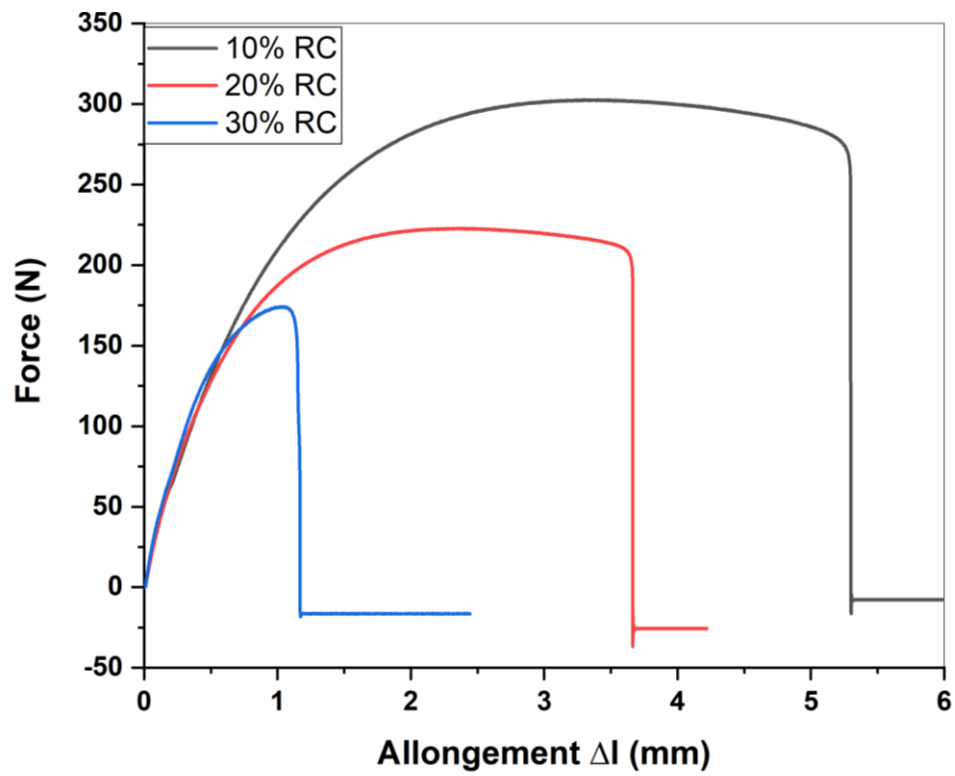


Figure V.4 : Courbes de traction : variation de la force des composites PEHD/RC à différents pourcentages de la charge végétale en fonction de l'allongement

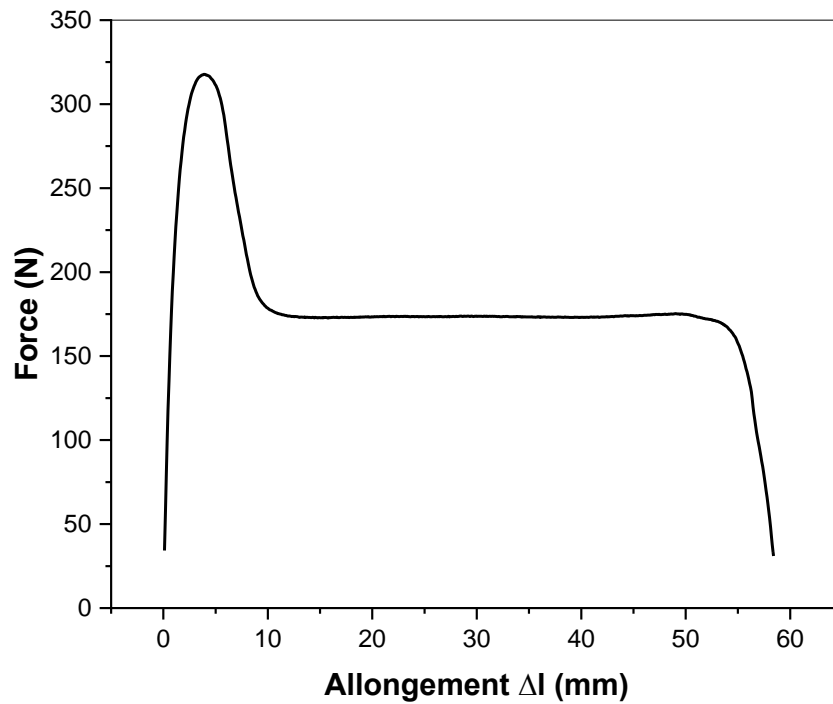


Figure V.5 : Courbe de traction du PEHD pur

Les figures (V.4) et (V.5) représentent la variation de la force en fonction de l'allongement des composites PEHD/RC et du PEHD pur. On remarque que en augmentant le pourcentage de la charge dans le PEHD, la force, l'allongement et la déformation diminuent. Cette diminution est due à l'augmentation de la rigidité et le changement du comportement mécanique du PEHD pur. Le PEHD présente un allongement élevé par rapport aux composites.

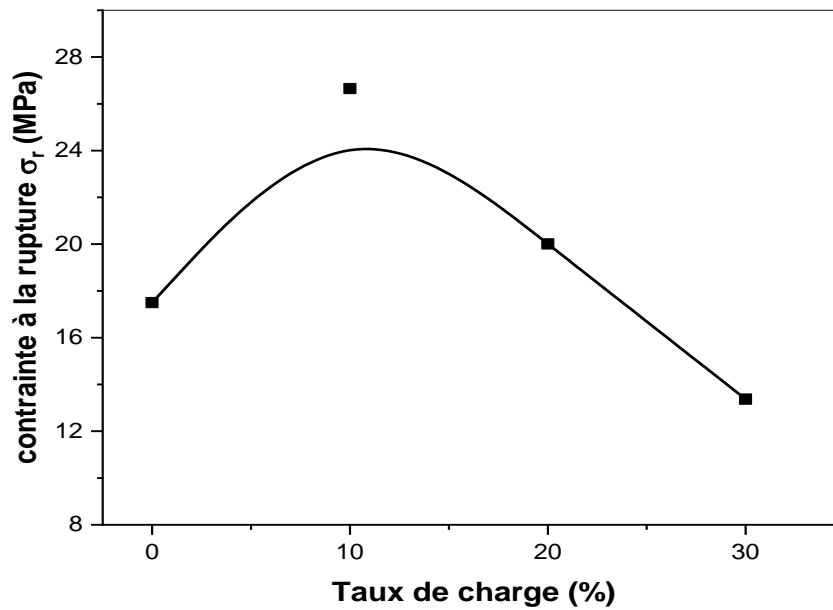


Figure V.6 : variation de la contrainte à la rupture des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge

La figure (V.6) représente la variation de la contrainte à la rupture des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge. D'après cette figure, on remarque une augmentation de la contrainte à la rupture pour les taux de charge égale à 10% et 20%, ensuite une diminution de ce paramètre à 30% de RC. La contrainte à la rupture est améliorée dans le cas où le taux de charge inférieur à 30%, ceci est expliqué par l'existence d'une quantité élevée de poudre végétale RC dans la matrice PEHD. La diminution de la contrainte est dû à l'incompatibilité entre le PEHD et le RC ainsi peut être à la mauvaise dispersion de la poudre végétale dans la matrice thermoplastique.

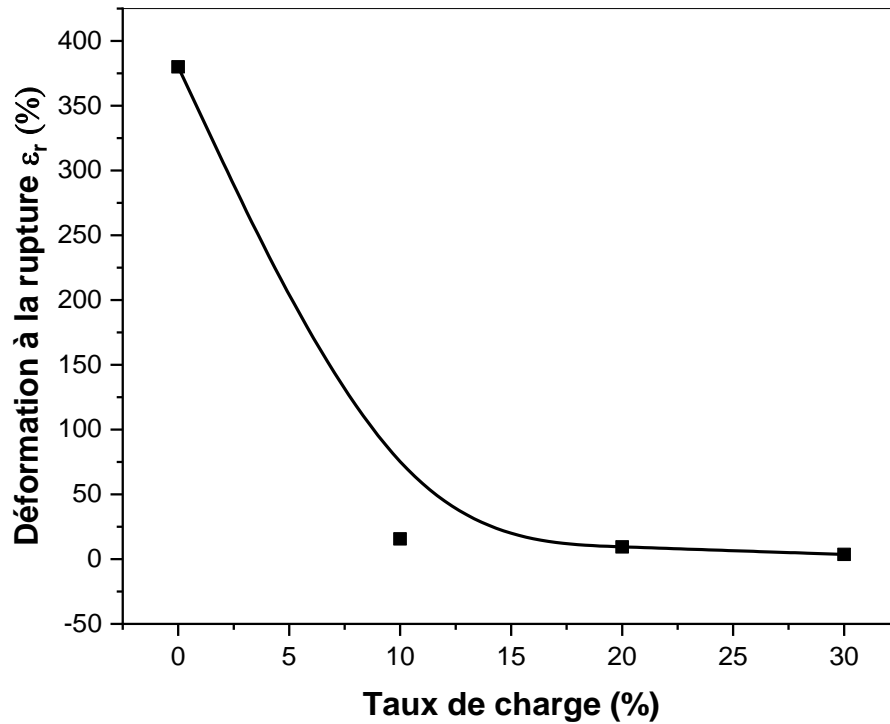


Figure V.7 : variation de la déformation à la rupture des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge

La figure (V.7) montre la variation de la déformation à la rupture des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge. D'après cette figure on peut expliquer la diminution de la déformation à la rupture des composites avec l'augmentation de taux de charge par l'augmentation de la rigidité de ces matériaux donc la diminution de l'élasticité (diminution de l'allongement).

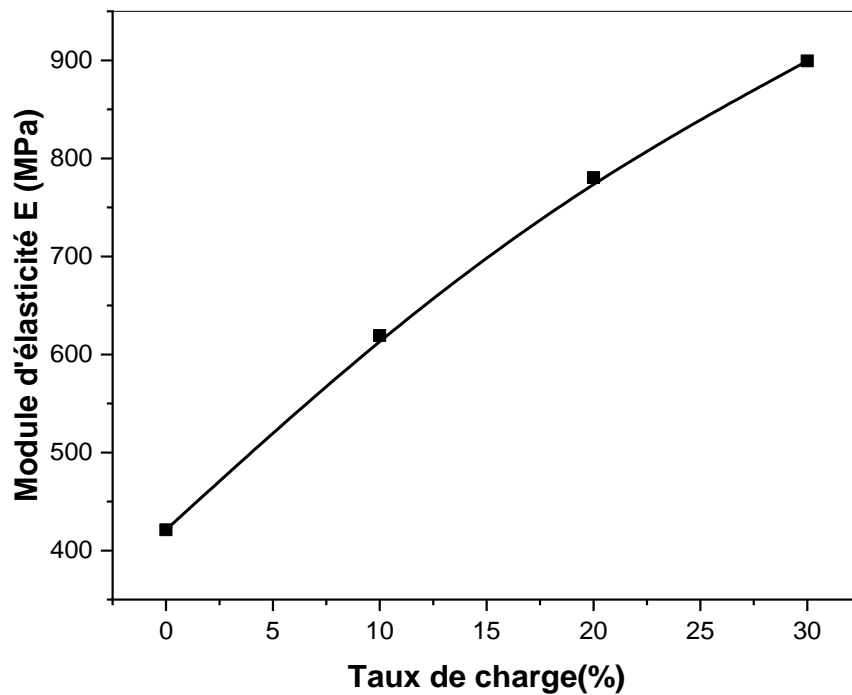


Figure V.8 : variation de Module d'élasticité des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge

La figure (V.8) montre la variation du module d'élasticité des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge. Le module augmente avec l'augmentation de taux de charge, ceci est due à une rigidité élevée.

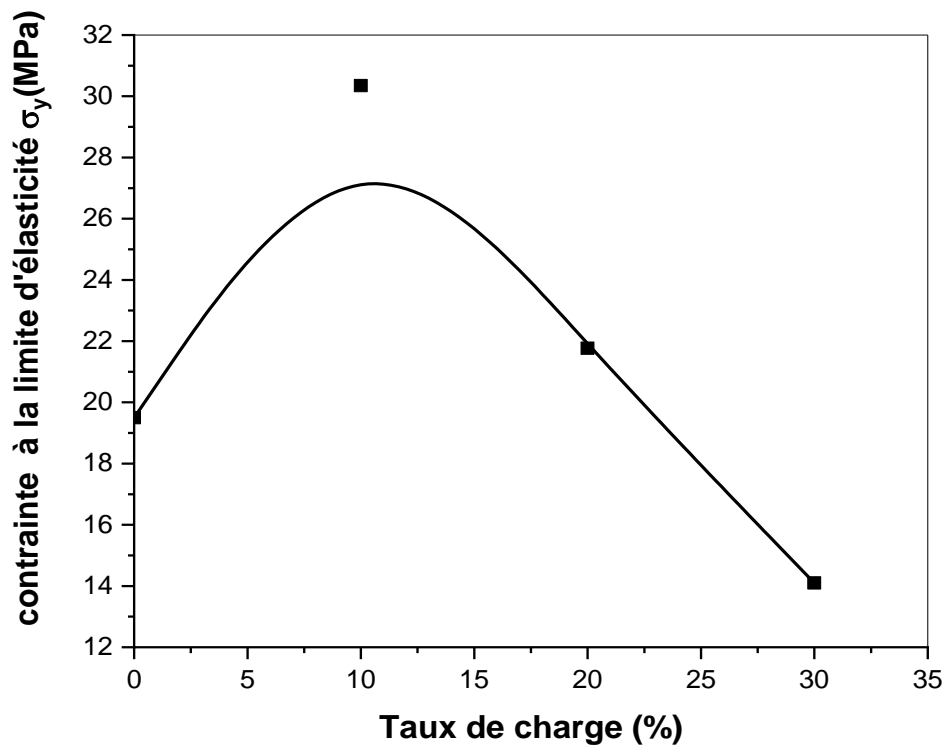


Figure V.9 : Variation de la contrainte d'élasticité des composites PEHD/RC en fonction du taux de charge

La figure (V.9) représente la variation de la contrainte au seuil d'écoulement des composites PEHD/RC en fonction de taux de charge. D'après cette figure on remarque une augmentation de la contrainte au seuil d'écoulement pour les taux de charge égale à 10% et 20%, ensuite une diminution de ce paramètre à 30% de RC. La contrainte au seuil d'écoulement est améliorée dans le cas où le taux de charge inférieur à 30%, ceci est expliqué par l'existence d'une quantité élevée de poudre végétale RC dans la matrice PEHD. La diminution de la contrainte est dû à l'incompatibilité entre le PEHD et le RC ainsi peut être à la mauvaise dispersion de la poudre végétale dans la matrice thermoplastique.



Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principale de ce travail était l'étude de l'effet de l'addition d'une charge végétale (RC) sur les propriétés du polyéthylène haut densité (PEHD). Quelques techniques ont été utilisées pour la caractérisation du matériau, et à partir des résultats nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

Propriétés rhéologiques :

- Diminution l'indice de fluidité avec la croissance de la quantité de RC ce qui rend le matériau plus visqueux.

Propriétés Mécaniques :

- L'étude de la résilience a permis de montrer que lorsque la poudre RC est ajoutée à la matrice thermoplastique PEHD, le comportement mécanique du PEHD devient dur et rigide.
- La dureté du PEHD diminue avec l'addition de la charge végétale (RC).
- Pour Le pourcentage 10% de la charge végétale RC on a une bonne propriété par contre pour 30% des mauvaises propriétés à cause de la mauvaise adhésion entre le polymère et la charge végétale.

Références bibliographiques

- [1] **F. BEKBI, M. LAID**, « Contribution à l'analyse de l'endommagement des matériaux composites », Thèse Doctorat LMD en Matériaux et Structure, Université MOUHEMED KHAIDER-BESKRA, 2016.
- [2] **D. BENMENDDOR**, « Elaboration et caractérisation d'un matériaux composites à basse de fibre végétale : Application à la plante d'alfa, Mémoire de Magister en Comportement Mécanique des Structures », Université DJILALI LIABAS de SIDI BEL ABBES, 2012.
- [3] **H. BOUSSEHEL**, « Etude des moyens de stabilisation des composites à base de polystyrène », Thèse de Doctorat en Chimie, Université MOHAMED KHIDER-BISKRA, 2018.
- [4] **M. BENDI FALLAH**, « Travail de recherche sur les matériaux à mémoire viscoélastique parfaitement élastiques pour une nouvelle prothèse totale hanche », Mémoire de Magister en Construction Mécanique, Université HADJ LAKHDAR-BATNA, 2012.
- [5] **A. GHARBI**, « Analyse des fissurations des matériaux composites et détermination de leur délaminage utilisant des capteurs piézo-électriques », Mémoire Magister en Génie Construction Mécanique, Université MENTOURI-CONSTANTINE, 2005.
- [6] **H. L. BOUDJEMA**, « Elaboration de matériaux composites biodégradables issus de ressources renouvelables », Thèse de Doctorat L.M.D en Sécurité Industrielle et Environnement, Université D'ORAN 2 MOHAMED BEN AHMED, 2016.
- [7] **K. ROUAM**, « Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles », Mémoire de Magistère en Physique et Mécanique des Matériaux, Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2014.
- [8] **B. HAMI**, « Elaboration et caractérisation physico- mécaniques d'une structure sandwich multicouches », Thèse de Doctorat en Matériaux de Structure, Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDAS, 2018.

- [9] **E. CHABERT**, « Matériaux composites à matrice vitrimère et polymère supramoléculaire », Thèse de Doctorat en Physique et Chimie des Matériaux, Université PIERRE ET MARIE CURES, 2015.
- [10] **T. ACHOUR**, « Etude des techniques de réparation des structures composites endommagées », Mémoire de Magister en Mécanique Appliquée en Engineering, Université MENTOURI CONSTANTINE, 2011.
- [11] **S. BENFERDI**, « Caractérisation du comportement micromécanique d'un matériau composite par Différentes Approches mathématiques ». Mémoire de Magister en Mécanique Appliquée en Engineering, Université MENTOURI CONSTANTINE, 2010.
- [12] **F. MOUISSA**, « Contribution à la compréhension et à la modélisation du comportement mécanique thermique et acoustique de matériaux composites à base de déchets », Thèse de Doctorat LMD en Matériaux Composites et Environnement, Université BOUDIAF-M'SILA, 2021.
- [13] **S. ACHOURI**, « Etude de l'influence de la stratification sur les propriétés et le comportement mécanique d'un matériaux composite perlon-verre-Acrylique », Mémoire de Magistère en Construction Mécanique, Université BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2007.
- [14] **L. AMAURY**, « Elaboration de matériaux composites à basse de filaments de cellulose et de polyéthylène », Thèse de Docteur en Science et Génie des Matériaux Lignocellulosiques, Université de LIMOGES, 2017.
- [15] **M. ZOUAOUI, A. LARGUET**. « Les composites hybrides à fibres végétales », Mémoire de Master en Chimie des Matériaux, Université MOHAMED EL BACHIR ELIBRAHIMI, BORDJ BOU ARRERIDJ, 2021.
- [16] **L. KHERBOUCHE**. « Introduction aux modélisations et aux méthodes de calcul des matériaux composites », Mémoire de Magister, Université MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU, 2010.
- [17] **N. GHEBRID**. « Etude des problèmes de conduction thermique dans un matériau composite à matrice polymère pigmenté de dioxyde de titane », thèse de doctorat en Génie chimique, Université FERHAT ABBAS –SETIF1,2018.

- [18] **M. HADDADI**, « Etude numérique avec comparaison expérimentale des Propriétés thermo physiques des matériaux composites à matrice polymère », Mémoire Master en Energie et développement durable, Université EL HADJ LAKHDAR BATNA, 2010.
- [19] **M. SOUAKIR**, « Élaboration et caractérisation des composites hybrides PEHD/fibre PET recyclés /montmorillonite organophile : étude des effets de la composition et du traitement de surface de la fibre PET », Mémoire Magister en Génie de polymères, Université SETIF1, 2014.
- [20] **S. HATAB**, « Maintenance Et Réhabilitation Des Structures Par Matériaux Composites », Mémoire de Magister en Génie Mécanique, Université MOHAMED CHERIF MESSAADIA DE SOUK - AHRAS, 2016.
- [21] **G. ALLAIRE**, « Analyse numérique et optimisation », édition de l'école polytechnique, centre de mathématiques appliquées, PALAISEAU, FRANCE 2005.
- [22] **L. METTOUCHI**, « Influence de la charge particule de cuivre et du renfort couches de fibres de verre sur le comportement mécanique d'un composite », Mémoire de Master en Génie des Matériaux, Université Mouloud MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [23] **Y. TAHI, A. HENANE**, « Simulation numérique des orientations préférentielles d'un renfort dans un matériau composite », Mémoire de Master en Fabrication Mécanique et productique, Université ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA ,2020.
- [24] **B.E. YOUSNADJ, M. BENSABA**, « Elaboration et caractérisation d'un matériau composite PEHD / Fibres PET recyclé », Mémoire Master en Pétrochimie et Procédés des Polymères, Universités de 20 AOÛT 1955 SKIKDA, 2017.
- [25] **A. GUESMI**, « Caractérisation d'un matériau composite stratifié à fibres de verre mat et flexion trois points statique », Mémoire Master en Mécanique Avancée, Université BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2016.
- [26] **F. MESSAI**, « Effet du taux de l'agent de traitement de surface et de comptabilisant sur les propriétés des composites à matrice thermoplastique /carbonate de calcium », Mémoire Magister, Université SETIF-1, 2015.

- [27] **L. AGRED, S. AMOKRANE**, « Elaboration et caractérisation d'un nouveau matériau composite à base de PVC/ Roseau commun », Mémoire Master en Protection de l'environnement, Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2017.
- [28] **Z. DEBIT**, « Caractérisation chimique du bois de chêne zen (*Quercus canariensis* Wild.) et du roseau commun (*Phragmites australis*) : Dosage des polyphénols », Mémoire de Master en Chimie de L'environnement, Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2015.
- [29] **H. Mathilde**, « Mise au point de nouveaux bio-composites verts innovants à base de roseau commun *Phragmites australis* Application en plasturgie et éco-construction pour le bâtiment », Thèse De Doctorat en Génie des Matériaux, L'université BRETAGNE SUD, 2020.
- [30] **A. AGROUCHE, O. DJEDJIGA**, « Elaboration et caractérisation d'un nouveau matériau composite à base de PVC et farine de roseau commun et de grignon d'olive », Mémoire de Master en Chimie de L'environnement, Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2017.
- [31] **Q. DESHOULLES**, « Influence du vieillissement des polymères sur la formation et le comportement des microplastiques en milieu marin », thèse de Doctorat en Chimie macromoléculaire, Université de BRETAGNE OCCIDENTALE, 2020.
- [32] « les Matériaux plastiques » [En Ligne] disponible sur : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re_plastique
- [33] **M. IHEMOUCHENE, C. BENMERAD**, « Effet du traitement de surface les propriétés physico_ mécaniques et thermique des composites polyéthylène haute densité/Farine de grignon d'olive », mémoire de Magister, en Génie des Polymères, Université ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA, 2009.
- [34] **M. BOUTERFA**, « Etude de la détermination du paramètre d'interaction entre deux polymères par voie mécanique ' effet du compatibilisant sur ce paramètre', Mémoire De Magister, Université FARHAT ABBAS SETIF, 2011.
- [35] **H. RACHEDI**, « Etude des mécanismes de rupture Du polyéthylène », Mémoire de Master en Génie des Matériaux, Université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.

- [36] **S. SADOON**, « contribution à l'étude expérimentale d'un polyéthylène haute densité /effet de la température, de la vitesse de déformation, Thèse de Doctorat en Sciences, Université BADJI MOKHTAR-ANNABA-, 2007.
- [37] Applications du PEHD [en ligne] disponible sur <https://images.app.goo.gl/htmHLY7SH3MoYHv46>
- [38] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/matieres-thermoplastiques-monographies-42147210/polyethylene-haute-densite-pe-hd-am3315/mise-en-oeuvre-et-applications-am3315niv10005.html>
- [39] **A. KERMOUN**, « Etude du comportement du polyéthylène à haute densité en fluage et relaxation », Mémoire de Magister, Université MOULOUD MAMMARI de TIZI OUZOU, 2013.
- [40] **S. BENMESLI**, « Mise en œuvre des polymères », cours, en Génie des Polymères, Université 20 AOÛT 1955 SKIKDA, 2022.
- [41] **A. A.Y. LAOUIRA, A.A. CHAOUIT**, « Elaboration et Caractérisation d'un nouveau matériau composite à base de PVC/roseau commun », Mémoire de Master en Génie des Polymères, Université de 20 AOÛT 1955 Skikda, 2020.
- [42] **S. BOUREGA, S. LOUCHI**, « L'effet de l'incorporation d'une charge végétale (cypres) sur les propriétés de PEHD », Mémoire de Master en Génie des Polymères, Université de 20 AOÛT 1955 SKIKDA, 2019.
- [43] **H. ALIDRA, D. BOUROUIS**, « Influence Des Additifs (Noir De Carbone) Sur La Qualité Du Polyéthylène Haute Densité », Projet Professionnel de fin de formation en Pétrochimie, Ecole IAP-BOUMERDES, 2017.
- [44] **Y. MEKSEN, A. MERZOUGUI, A.H. BRIK**, « le contrôle de qualité du polyéthylène à haute densité », Mémoire de fin de formation en chimie industrielle, institut national spécialisé de la formation professionnelle (MOUHAMED BOUGUERRA) -cité MERDJ EDDIB-SKIKDA,2019.
- [45] **S. BOUZIANE, A. LEDMANE**, « l'effet de l'incorporation d'une charge minérale (chaux vive CaO) sur les propriétés du PEHD de grade 5502 », Mémoire de Master en Génie des Polymères, Université 20 AOÛT 1955-SKIKDA, 2019.

[46] **H. CHETTOUM**, « Synthèse et caractérisation des composites PEHD/CaCO₃ », Mémoire de Master en Analyse Chimique en Control Industriel et Environnement, Université de 20 AOÛT 1955 SKIKDA, 2016.

[47] **R. BERKOUS. S, SOUFI**, « Elaboration et caractérisation d'un bio-composite à base de PEHD recyclé et de la fibre de lin », Mémoire de Mater en Génie des Matériaux, Université 8 mai 1945 GUELMA, 2019.

[48] **S. BOUHANK**, « Elaboration de matériaux composites PVC/fibre de Genêt d'Espagne : formulations et caractérisations », Mémoire de Doctorat en Matériaux Polymères, Université FERHAT ABBAS-SETIF 1-, 2017.



Annexe

ANNEXE

Présentation de l'unité CP2K.

A.1. Implantation de CP2K

Le Complexe Pétrochimique CP2K est implanté à l'intérieur de la zone industrielle de Skikda, d'une superficie de 166800 m² dont 10% bâtis. Il se trouve à 6 km à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Skikda et à une hauteur moyenne d'environ 6 m au-dessus du niveau de la mer. Il est limité au nord par la mer Méditerranée, au sud par la route principale de la zone industrielle, à l'est la force d'intervention et de réserve (FIR) et à l'ouest CP1K (Complexe Pétrochimique 1 de SKIKDA) comme présente la figure A.

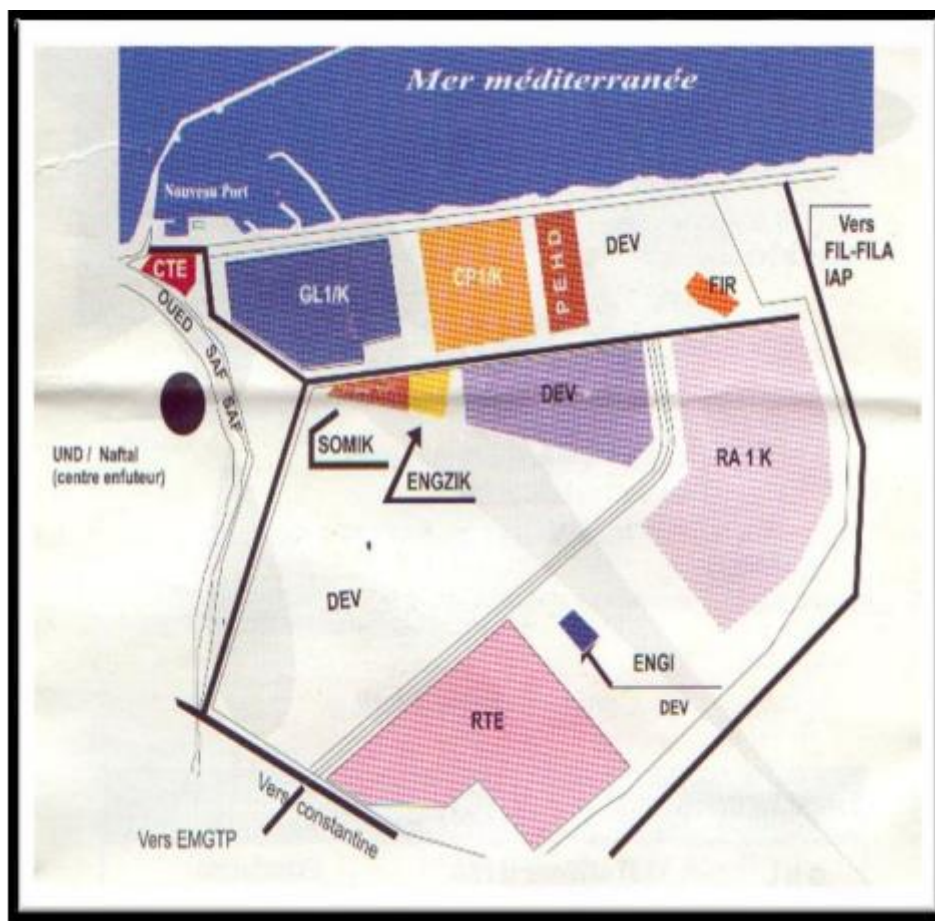


Figure A.1 : Position géographique du CP2K

Activités du complexe CP2K

Le CP2K est conçu pour produire du polyéthylène haute densité (PEHD) d'une capacité de 130 000 tonnes/an.

Description du complexe CP2K

Le complexe est composé de 4 zones principales citées ci-dessous :

a) Zone d'off site.

Elle comporte les utilités (chaudières, air, azote, eau distillée, eau anti-incendie, eau potable et détente de gaz), l'activation du catalyseur.

b) Zone humide.

Elle s'appelle aussi zone de réaction, les matières premières avant d'entrer au réacteur passent par les traiteurs afin d'éliminer les impuretés.

c) Zone sèche

Elle contient : l'extrudeuse, les soufflantes, les silos de stockage du produits (poudre et granulé) et l'ensachage.

d) Zone bâtiment

Elle englobe : le bloc administratif, la cantine et les vestiaires, le bloc sécurité et l'infirmerie, le magasin de la pièce de rechange et l'atelier de maintenance, le bloc exploitation, la sous station haute et basse tension ainsi que la salle de contrôle et le laboratoire.

Les installations de procédé

Les principales installations présentées dans la figure B sont :

- Le réacteur : Tuyauterie en boucle fermée destinée pour la polymérisation ;
- L'extrudeuse : Système de finition de produit sous forme de granulés ;
- L'ensachage : Système automatique d'emballage du PEHD.

Il existe d'autres installations auxiliaires nécessaires pour le procédé et qui sont :

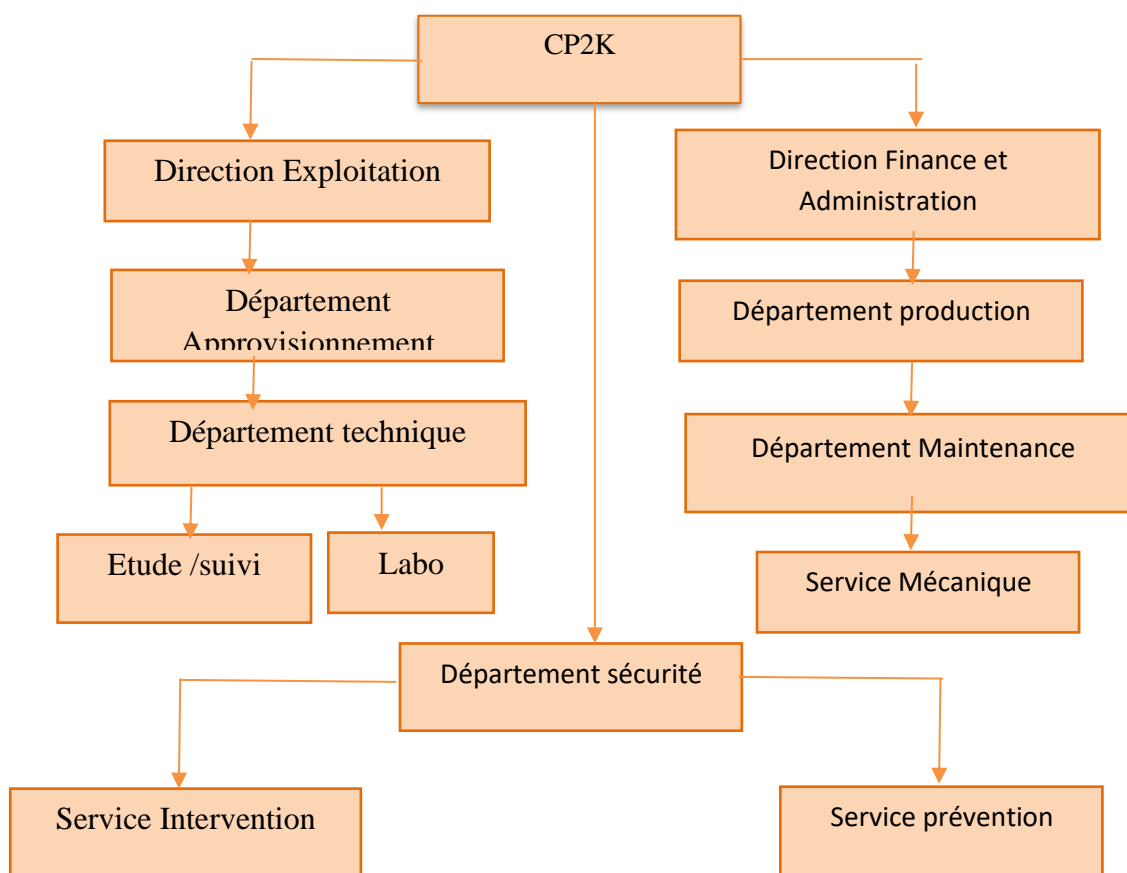
- Production de vapeur, électricité, air etc.....
- Traitement des effluents.
- Stockage de la matière première et des additifs
- Magasin de stockage du produit fini.



Figure B : Photo représentatif des principales installations de l'unité CP2K

Organisation du complexe CP2K

Le complexe CP2K est organisé comme suit :



ANNEXE B

Tableau B.1 : Valeurs des paramètres obtenues lors du test de traction

Taux de charge RC (%)	Contrainte à la rupture moyenne (MPa)	Contrainte à la limite d'élasticité moyenne (MPa)	Déformation à la rupture Moyenne (%)	Module d'élasticité Moyen (MPa)
0	17.5	19.5	380	421.17
10	26.65	30.35	15.65	619.3
20	20.01	21.77	9.46	780.43
30	14.1	13.37	3.59	899.44

Tableau B.2 : Valeurs obtenues lors du test de dureté shore

Taux de charge RC (%)	0	10	20	30
Dureté shore D moyenne	67	49.33	51.66	43.33

Tableau B.3 : Valeurs obtenues lors du l'indice de fluidité

Taux de charge RC (%)	0	10	20	30
Indice de fluidité g/10min	0.35	0.11	0.09	0.08

Tableau B.4 : Valeurs obtenues de la résistance au choc

Taux de charge RC (%)	0	10	20	30
Résistance au choc (J/mm)	2.73	0.048	0.040	0.027

Résumé

L'objectif de ce travail est de rendre le polyéthylène haute densité (PEHD) un polymère biodégradable par l'ajout d'une charge végétale (farine de Roseau commun). La poudre est préparée au laboratoire, elle est obtenue par broyage et tamisage pour avoir une granulométrie moyenne (180 µm) et composites ont été élaborés sur un mélangeur à deux cylindres au niveau du complexe CP2K. Les caractérisations effectuées sont, la mesure de l'indice de fluidité, la résistance au choc et le test de traction. Les résultats obtenus montrent qu'il y'a absence d'adhésion entre la poudre végétale et la matrice PEHD.

Mots clé : matériaux composites, PEHD, roseau commun, charge végétale, biodégradation.

Abstract

The objective of this work is to make high density polyethylene (PEHD) a biodegradable polymer by adding a vegetable filler (Common reed flour) The powder is prepared in the laboratory, it is obtained by grinding and sieving to have a medium grain size (180 µm) and composites were prepared on a two-roll mixer at the CP2K complex. The characterizations carried out are the measurement of the melt index, the impact resistance and the tensile test. The results obtained show that there is no adhesion between the plant powder and the PEHD matrix.

Keywords: composite materials, PEHD, Common reed, plant load, biodegradation.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو جعل البولي إيثيلين منخفض الكثافة (PEHD) بوليمر قابل للتحلل الحيوي عن طريق إضافة حشو نباتي (دقيق القصب العادي)، تم تحضير دقيق القصب في المختبر، الذي تم الحصول عليه عن طريق الطحن و الغريلة إلى حجم جزيء واحد (180 ميكرومتر) و المركبات تم اجرائها على خلاط ثنائي الاسطوانة في مجمع الخصائص هي قياس مؤشر الذوبان مقاومة الصدمات اختبار الشد.

أظهرت النتائج أنه لا يوجد إلتصاق بين مسحوق القصب و مصفوفة (PEHD).

الكلمات المفتاحية : المواد المركبة، دقيق القصب العادي، البولي إيثيلين منخفض الكثافة (PEHD)، شحنة نباتية، التحلل البيولوجي.