

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de  
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane MIR-Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de Génie des Procédés



## Mémoire de Fin de Cycle

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie des Procédés  
Option : Génie des Polymères  
Thème

**Effet des fibres du péricarpe des glands modifiées sur les propriétés du polystyrène choc (HIPS) recyclé des déchets issus d'équipements électriques et électroniques (D.E.E.E.)**

Présenté par:

Mlle **BENABBAS LYNDA** et Mlle **AMEZA LYDIA**

Soutenu le 03/07/2023 devant un jury composé de :

**Dr KERROUCHE Djamila**

**Présidente**

**Pr REZGUI Farouk**

**Examineur**

**Dr BAOUZ Touffik**

**Encadreur**

**Mlle DJERRAD Nour El Houda**

**Co-encadreur**

**Année universitaire 2022-2023**

# Remerciements

Le remerciement infini avant tous est à dieu le plus puissant qui nous a comblé des bienfaits de l'islam et de la Science.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur **Dr BAOUZ Touffik** encadreur de ce mémoire, pour son aide précieuse, sa confiance, sa patience et son soutien favorable pour l'aboutissement de ce travail. Nos remerciements à notre co-encadreur **N.H. Djerrad** pour sa disponibilité, sa patience et ses encouragements ses conseils fructueux qu'elle n'a cessé de me prodiguer.

Aux membres du jury qui nous avons fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions nos très chers parents, nos familles et nos amis, qui grâce à leurs prières et leurs encouragements, nous avons pu surmonter les obstacles. Nous remercions également toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'exécution de ce travail.

# *Dédicaces*

Pour commencer je remercie et je dédis ce modeste travail :

A mes chères parents, ceux qui ont donné un sens à mon existence, qui m'ont soutenu nuits et jours durant tout mon parcours, qui m'ont tout offert sans contre partie: de l'amour, du temps... mais sur tout de l'éducation. A vous mon père Abdenour ainsi que ma mère Fahima, je vous remercie, que dieu vous garde pour moi.

A mes frères et sœurs : Yanis, Dilane, Zouina

A toute ma famille du petit au grand

A mes chers amis

A ma binôme Lynda et sa famille

A tous ceux que je connais de près et de loin

**AMEZA LYDIA**

# *Dédicaces*

Pour commencer je remercie et je dédis ce modeste travail :

A mes chères parents, ceux qui ont donné un sens à mon existence, qui m'ont soutenu nuits et jours durant tout mon parcours, qui m'ont tout offert sans contre partie: de l'amour, du temps... mais sur tout de l'éducation à vous, monpère Abdelkader ainsi que ma mère Karima, je vous remercie, que dieu vous garde pour moi.

A mon frère et sœurs :Salim, Silia, kahina

A toute ma famille du petit au grand

A mes chers amis

A ma binôme Lydia et sa famille

A tous ceux que je connais de prés et de loin

**BENABBAS LYNDA**

## Liste des abréviations

**ABS:** Acrylonitrile Butadiène-Styrène

**CD :** Compact Disc.

**CFC:** Chlorofluorocarbure.

**D.E.E.E. :** Déchets des équipements électriques et électroniques

**DVD :** Digital Versatile Disc.

**E.E.E. :** Équipements électriques et électroniques.

**HIPS:** Polystyrène au choc.

**IRTF :** Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier

**PA :** Polyamide.

**PB:** Polybutadiène.

**PE :** Polyéthylène.

**PP :** Polypropylène.

**PU :** Polyuréthane.

**PS :** Polystyrène.

**PVC :** polychlorures de vinyle

**SAN:** Styrène-acrylonitrile

**SBS :** Styrène-butadiène-styrène

**SEBS :** Styrène éthylène butylène styrène.

**Tg :** Température de transition vitreuse.

## Liste des figures

<b>Figure I.1.</b> Les déchets d'équipements électriques et électroniques .....	9
<b>Figure I.2.</b> La répartition des D.E.E.E. par types de polymères.....	10
<b>Figure I.3.</b> Les différentes classes de polymères styréniques .....	13
<b>Figure I.4.</b> Le polystyrène choc (HIPS).....	13
<b>Figure I.5.</b> La représentation semi-développée de la chaîne macromoléculaire du polystyrène choc (HIPS).....	14
<b>Figure II.1.</b> Le schéma illustratif d'un matériau composite .....	22
<b>Figure II.2.</b> Les principaux renforts pour les polymères .....	23
<b>Figure II.3.</b> Les classifications des biocomposites	
<b>Figure II.4.</b> La conception et applications innovantes des biocomposites en fibres de bambou dans : (a) l'aéroport Adolfo-Suárez de Madrid-Barajas et (b) Parking garage (Zoo de Leipzig, Allemagne... ..	26
<b>Figure II.5.</b> L'illustration de quelques fibres végétales .....	27
<b>Figure II.6.</b> Le schéma de principe de la structure d'une fibre végétale .....	27
<b>Figure II.7.</b> La classification des fibres végétales selon l'origine.....	28
<b>Figure II.8.</b> La représentation de la molécule de la cellulose .....	29
<b>Figure II.9.</b> La structure d'un type de xyloglucane .....	29
<b>Figure II.10.</b> La structure de base de la lignine.....	39
<b>Figure II.11.</b> Les différentes parties du chêne liège .....	30
<b>Figure II.12.</b> Le schéma explicatif de la structure d'un gland .....	31
<b>Figure IV.1.</b> Organigramme représentatif des étapes de la partie expérimentale .....	46
<b>Figure IV.2.</b> Les étapes de préparation de la poudre .....	47

<b>Figure IV.3.</b> Le prétraitement des fibres du gland.....	48
<b>Figure IV.4.</b> Le traitement des fibres du gland par NaOH .....	49
<b>Figure IV.5.</b> La préparation des composites (HIPS/PA) .....	50
<b>Figure IV.6.</b> Le moule utilisé pour injecter des éprouvettes.....	51
<b>Figure IV.7.</b> L'extrudeuse bis-vis de type 15cc micro Twin Screw Compouder.....	51
<b>Figure IV.8.</b> L'image des éprouvettes obtenue .....	51
<b>Figure IV.9.</b> La microscopie optique utilisé .....	53
<b>Figure V.1.</b> La résistance à la traction de HIPS et les biocomposites à différent taux de fibre non-traité (F.NT).....	55
<b>Figure V.2.</b> La résistance à la traction de HIPS et les biocomposites à différent taux de fibre traité (F.T).....	56
<b>Figure V.3.</b> Le module de traction en fonction de taux de la fibre gland non-traité(F.NT).....	57
<b>Figure V.4.</b> Le module de traction en fonction de taux de la fibre gland traité(F.T).....	57
<b>Figure V. 5.</b> La quantité d'absorption d'eau de composite à différentes taux de la fibre .....	58
<b>Figure V.6.</b> Le spectre infrarouge des fibres gland.....	59
<b>Figure V.7.</b> Le spectre IRTF de HIPS et les biocomposites non-traité.....	60
<b>Figure V.8.</b> Le spectre IRTF de HIPS et les biocomposites traité.....	60
<b>Figure V.9.</b> L'analyse microscopie optique des fibres de glands <b>A</b> : non-traité et <b>B</b> : trait ..	61

## Liste des tableaux

<b>Tableau I .1:</b> Les caractéristiques du HIPS .....	16
<b>Tableau II.1. :</b> La composition chimique du péricarpe et de la cupule du gland.....	31
<b>Tableau IV. 1 :</b> Les caractéristiques du HIPS .....	44
<b>Tableau IV. 2 :</b> Les produits chimiques utilisés.....	45
<b>Tableau IV.3:</b> Les Conditions opératoires de l'extrusion des biocomposites .....	50



---

# Sommaire

---

# Sommaire

Remerciements .....	i
Dédicaces .....	ii
Liste des abréviations .....	iv
Liste des figures .....	v
Liste des tableaux .....	vii
Introduction.....	1
Références.....	3
 <b>Chapitre I : Les déchets des équipements électriques et électroniques (D.E.E.E.)</b>	
I.1. Les plastiques et l'environnement.....	5
I.2. Les déchets plastiques .....	5
I.2.2. La définition des déchets plastiques .....	6
I.2.3. Les classifications des déchets plastiques .....	6
I.2.3.1. Les déchets plastiques industriels .....	6
I.2.3.2. Les déchets plastiques de post-consommation... ..	6
I.2.3.2.1. Les déchets ménagers.....	6
I.2.3.2.2. Les déchets agricole.....	7
I.2.3.2.3. Les déchets électriques et électroniques.....	7
I.2.3.2.4. Les déchets du bâtiment et des travaux publics .....	7
I.2.3.2.5. Les déchets commerciaux ou de distributions .....	7
I.3. La pollution des plastiques .....	7
I.3.1. L'impact des déchets plastiques sur la santé publique et l'environnement .....	7
I.3.1.1. L'impact des déchets plastiques sur la santé publique.....	7

I.3.1.2. L’impact des déchets plastique sur l’environnement.....	7
I.4. Les déchets des équipements électriques et électroniques (D.E.E.E.).....	8
I.4.1. La définition des D.E.E.E. ....	8
1.4.2. Les catégories des D.E.E.E.....	9
I.4.3. Pour quoi gérer les D.E.E.E.?.....	9
I.4.4. La répartition des D.E.E.E. par type de polymères .....	10
I.4.5. L’impact des D.E.E.E. sur l’environnement .....	10
I.4.6. Le recyclage des D.E.E.E.....	11
I.5. Les polymères styréniques.....	12
I.5.1. Généralité sur les polymères styréniques.....	12
I.5.2. Le polystyrène choc (HIPS).....	13
I.5.2.1. La structure du HIPS.....	14
I.5.2.2. La polymérisation du HIPS.....	14
I.5.2.3. La mise en œuvre du HIPS.....	15
I.5.2.4. Les propriétés du HIPS .....	16
I.5.2.5. Les applications du HIPS .....	16
Références bibliographiques.....	18

## **Chapitre II : Les matériaux composites et biocomposites**

Introduction.....	22
II.1. Les matériaux composites.....	22
II.1.2. Les constituants d’un matériau composite.....	22
II.1.2.1. La matrice .....	22
II.1.2.2. Le renfort .....	23

II.2. Les biocomposites .....	24
II.2.1. Les catégories des biocomposites .....	24
II.2.2. Les biocomposites à fibres végétales .....	25
II.2.3. Les avantages des biocomposites .....	25
II.2.4. Domaines d'applications des biocomposites .....	26
II.3. Les fibres végétales .....	26
II.3.1. La structure d'une fibre végétale.....	27
II.3.2. La classification des fibres végétales .....	27
II.3.4. La composition chimique des fibres végétales.....	28
II .4. Généralités sur les glands .....	30
II .4.1. Bref aperçu .....	30
Références bibliographiques .....	32
<b>Chapitre III : Etat de l'art sur les biocomposites à base de polymères styréniques et des fibres végétales.....</b>	<b>36</b>
Références bibliographiques .....	41
<b>Chapitre IV : Partie expérimentale</b>	
Objectif... ..	44
IV. 1. Les matériaux utilisés (HIPS, fibre naturelle)... ..	44
IV.1.1. La matrice polystyrène choc (HIPS)... ..	44
IV.1.2. Les fibres de gland... ..	45
IV.1.3. Les produits chimiques utilisés.....	45
IV.2. Organigramme de la partie expérimentale .....	46
IV.3. Méthode .....	46

IV. 3.1. La préparation des fibres du gland.....	46
IV.3.2. Le prétraitement des fibres du gland .....	47
IV.3.3. Le traitement des fibres du gland.....	48
IV.3.3.1. Le traitement chimique des fibres du gland.....	48
IV.3.4. Détermination de la densité des fibres du gland... ..	49
IV.3.5. La préparation des composites.....	50
IV.3.6. La préparation des éprouvettes .....	50
IV. 4. L'analyse structurale des composites .....	51
IV.4.1. Spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)...	51
IV.4.2. L'essai de traction.....	52
IV.4.3. Test d'absorption d'eau.....	52
IV.5. L'observations microscopiques.....	53

## **Chapitre V : Résultats et discussions**

V.1. L'interprétation des résultats du test de traction.....	55
V.2. L'interprétation des résultats de test d'absorption d'eau.....	59
V.3. L'interprétation de l'analyse par spectroscopie infrarouge.....	59
V.3.1. Le spectre infrarouge de la fibre du gland.....	58
V.3.2. Le spectre infrarouge des biocomposites et du HIPS.....	59
V.4. L'interprétation de l'analyse microscopie optique.....	61
Conclusions.....	62

---

# Introduction

---

Depuis le début des années 1970, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et touche chaque individu. Les déchets en général connaissent une forte croissance dans le monde entier en particulier les déchets électroniques et électriques. Les déchets d'équipements électriques et électroniques sont une catégorie de déchets constitués d'équipements en fin de vie, fonctionnant à l'électricité ou via champs électromagnétique ainsi que d'équipements de production, de transfert et de mesure de ces courants et champs tels que l'ordinateur, le réfrigérateur, la télévision et les téléphones portables. Parmi les polymères présents dans les D .E.E.E., certains font partie de la famille des polymères dits « techniques ». Il s'agit, de l'acrylonitrile- butadiène-styrène (ABS), du polystyrène choc (HIPS, High impact polystyrène en anglais) et du polycarbonate/ acrylonitrile-butadiène-styrène (PC/ABS). Nous avons choisi dans ce mémoire d'étudier le recyclage de polystyrène choc renforcé par une fibre naturelle pour plusieurs raisons afin de préparer un mélange technique pour des applications ciblées. Ce matériau offrant une résistance accrue aux chocs. C'est l'un des matériaux les plus tolérants disponibles pour les applications de thermoformage, possédant une large fenêtre de température de formage thermique. Il est polyvalent, léger et peu coûteux de très bonnes propriétés mécaniques.

Dès l'apparition des matériaux composites, les recherches se sont orientées essentiellement vers l'amélioration des propriétés mécaniques sans se soucier de l'impact environnemental. Ainsi, et au fil du temps, les constructeurs ont nettement augmenté les propriétés mécaniques des matériaux composites jusqu'à ce qu'on arrive aux matériaux dits à hautes performances utilisés dans le domaine de l'aéronautique et l'aérospatiale.

Récemment, il y a eu un intérêt croissant pour la fabrication des composites polymères renforcés des fibres naturelles/particules qui ont d'excellentes offres dans divers domaines d'application tels que l'emballage, la construction, l'ameublement, l'électronique et les industries automobiles. Pour renforcer les matrices plastiques, l'utilisation des charges naturelles au lieu des matériaux de renforcement traditionnels offre des avantages tels que un traitement facile, un coût inférieur et une pollution environnementale moindre [1]. L'augmentation de la disponibilité des structures composites biosourcées de nouvelle génération conduit à la diminution de l'utilisation de produits toxiques à base de pétrole. La fibre de coco, la fibre de kénaf, la fibre de palmier à huile, la coque de pistache, la coque d'arachide, la coque de noix et la balle de riz ont été combinées avec des matrices thermodurcissables ou thermoplastiques pour constituer des composites [2].

Dans cette étude, nous avons élaboré un nouveau matériau composite Polystyrène choc (High impact polystyrène) fibres du gland. Ensuite nous avons effectué des essais de traction pour identifier le comportement mécanique de ce matériau, et nous avons aussi effectué l'analyse spectroscopie, et le test d'absorption d'eau.

Nous présenterons dans ce travail, une structure composée de plusieurs chapitres :

► Une étude bibliographique, qui contient les rubriques suivantes :

**Le premier chapitre**, présente les déchets des équipements électriques et électroniques des matériaux polymères ainsi que les polymères styréniques.

**Le second**, présente les matériaux composites et biocomposites à fibres végétale

**Le troisième chapitre**, consacré à l'état de l'art sur les études qui ont été déjà faites sur les biocomposites et polymères styréniques et fibre végétale.

► Une deuxième partie expérimentale composée de :

**Le quatrième chapitre**, décrit la méthodologie expérimentale ainsi que les techniques de caractérisation utilisées au cours de ce travail.

**Le cinquième chapitre**, présente tous les résultats de la caractérisation ainsi que leur discussion sont aussi présentées avec des illustrations.

**Le dernier chapitre**, expose les principales conclusions de cette étude.



### Références bibliographiques

[1]: X. Li, L. Tabil, S. Panigrahi.(2007). Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review, Journal of Polymer and Environment, v.15, p.25-33.

[2]: B.Karagül.(2014).Use of ground pistachio shell as alternative filler in natural rubber/styrenebutadiene rubber based rubber compounds,Polymer Composites,v.35,p. 99-245-252.

---

# **Chapitre I**

## **Les déchets des équipements électriques et électroniques (D.E.E.E.)**

---

# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

---

## **I.1. Les plastiques et l'environnement**

Les plastiques sont constitués de polymères organiques synthétiques qui sont largement utilisés dans différentes applications allant des bouteilles d'eau, vêtements, emballages alimentaires, fournitures médicaux, les produits électroniques, les matériaux de construction, etc. Au cours de ces dernières décennies, les plastiques sont devenus un produit indispensable et polyvalent avec une large gamme d'applications. Bien que le plastique ait d'abord été considéré comme inoffensif et inerte, cependant, de nombreuses années d'élimination du plastique dans l'environnement ont entraîné divers problèmes associés.

L'environnement est tout ce qui nous entoure. C'est l'ensemble des éléments naturels et artificiels au sein duquel se déroule la vie humaine. Avec les enjeux écologiques actuels, le terme environnement tend à prendre une dimension de plus en plus mondiale.

La pollution de l'environnement est l'ensemble des éléments qui y sont présents et qui endommagent, nuisent et mettent en danger la sécurité, les conditions de vie, le bien-être et les caractéristiques des écosystèmes ainsi que la flore et la faune qui les habitent.

En résumé, on pourrait dire que la pollution environnementale est tout ce qui porte atteinte à l'air, au sol, à l'eau, à la flore et à la faune. Une partie de cette pollution est naturelle, la majeure partie de la pollution environnementale est produite par les activités humaines, que ce soit à travers les plastiques dans la mer, les déchets dans les montagnes ou l'émission de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

## **I.2. Les déchets plastiques**

Durant les quarante dernières années, on a assisté à une augmentation du niveau de vie et à une modification des modes de consommation qui ont généré une augmentation importante des déchets plastiques. En même temps, les matériaux à base de polymères ont été de plus en plus largement utilisés dans tous les domaines. En effet en Europe les déchets plastiques ne représentent pas moins de 12,5 millions de tonnes par an et seuls quelques 7% de cette quantité sont destinés à une filière de recyclage [1].

Les déchets plastiques suscitent de plus en plus d'intérêt du fait des enjeux environnementaux, sanitaires et économiques qu'ils présentent pour la collectivité. Cependant, la valorisation de ces déchets est capable de transformer les défis qu'ils

# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

crystallisent en opportunités pour le développement d'un territoire, notamment sur le plan économique.

La pollution plastique est l'accumulation dans l'environnement de produits plastiques synthétiques au point qu'ils créent des problèmes pour la faune et ses habitats ainsi que pour les populations humaines.

Le problème des déchets plastiques est aggravé davantage par la tendance haussière de la production et de la consommation des matières plastiques. La valorisation est l'une des pistes les plus prometteuses pour gérer les déchets plastiques. Il faut souligner que dans la hiérarchie des modes de gestion des déchets définie dans le cadre de l'Agenda 21, la valorisation vient en deuxième position après la prévention de la production des déchets ou la réduction à la source.

## **I.2.2. La définition des déchets plastiques**

Les déchets plastiques proviennent des résidus de processus de production, de transformation et de consommation des matériaux plastiques [2].

## **I.2.3. La classification des déchets plastiques**

Il existe donc plusieurs types de déchets plastiques tels que [2] :

### **I.2.3.1. Les déchets plastiques industriels**

Ces déchets sont constitués de tous les déchets issus des procédés de production de résines (trouvés principalement sur les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en produits finis. Les déchets de production proviennent des arrêts des réacteurs de polymérisation, de la désinfection des réacteurs et des lots déclassés [2]. Ils ont la particularité d'un faible degré de pollution, voire inexistant. On retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PP, PS et PVC). Quant aux déchets de transformation, ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie, qui permettent la production de produits finis (extrusion, injection, soufflage, polissage, etc.).

### **I.2.3.2. Les déchets plastiques de post-consommation**

C'est l'ensemble des déchets issus de la consommation industrielle ou des particuliers. On distingue :

**I.2.3.2.1. Les déchets ménagers :** comme les récipients alimentaires, bouteilles de boissons gazeuses, sacs d'emballage [3].

# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

**I.2.3.2.2. Les déchets agricoles :** tels que les films, sacs d'alimentation, fûts et bidons de produits phytosanitaires, etc. [3].

**I.2.3.2.3. Les déchets électriques et électroniques :** comme les appareils électroménagers, ordinateurs, câbles en tout genre, les réfrigérateurs, etc. [3].

**I.2.3.2.4. Les déchets du bâtiment et des travaux publics :** tels que les revêtements de sols, fils, câbles, mousses d'isolation, tuyaux, etc. [4].

**I.2.3.2.5. Les déchets commerciaux ou de distributions :** comme les emballages industriels et commerciaux, les fûts, bidons, sacs, etc. [2].

## **I.3. La pollution plastique**

La pollution plastique est considérée comme un problème environnemental majeur engendrée par l'accumulation de déchets plastiques, il est corrélé au faible coût du plastique qui entraîne une utilisation massive de ce dernier [5]. Cette pollution peut avoir des effets nuisibles sur la terre, les mers et les océans, ainsi que dans les cours d'eau en affectant la vie sauvage, l'habitat et secondairement ou par rétroaction des êtres humains.

### **I.3.1. L'impact des déchets plastiques sur la santé publique et l'environnement**

#### **I.3.1.1. L'impact des déchets plastiques sur la santé publique :**

La gestion des déchets, en partant de la collecte, en passant par le transport pour enfin arriver aux filières de traitement ; pose un problème d'exposition pour les populations (travailleurs, riverains, usagers). En effet, l'homme peut être exposé à des nuisances et/ou à des substances dangereuses émises par les installations de traitement des déchets. Les voies d'exposition sont multiples : les voies directes et les voies indirectes [6].

#### **I.3.1.2. L'impact des déchets plastiques sur l'environnement**

##### **► L'impact sur l'eau**

Le rejet abusif des déchets dans les océans fait partie des principaux problèmes environnementaux de la planète. Le déversement de matières toxiques, de plastiques et d'eaux usées dans nos rivières et nos mers pollue les eaux et tue les poissons, les mollusques et autres organismes, affectant également les humains qui les consomment.

# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

---

## **► L'impact sur les sols**

La pollution plastique a un impact négatif sur l'agriculture car elle réduit la qualité du sol et rend difficile pour les agriculteurs de cultiver des cultures saines. La pollution plastique augmente également le risque de contamination bactérienne et fongique du sol, ce qui entraîne une perte de productivité agricole. En outre, elle augmente également le risque d'inondations car elle empêche l'absorption naturelle de l'eau par le sol [7].

## **► L'impact sur l'air**

- ◆ Les biogaz des décharges sont à l'origine d'importantes nuisances qui sont parfois très graves pour la santé et pour l'environnement.
- ◆ Les méthodes de broyages ou d'incinération des déchets libèrent aussi des particules qui diffusent dans l'air et dégradent sa qualité.
- ◆ L'incinération des déchets en plein air dégage des gaz (CO<sub>2</sub>) qui représentent des risques d'asphyxie.
- ◆ Les composés organiques volatils toxiques au niveau des biogaz peuvent entraîner des cancers.

## **I.4. Les déchets des équipements électriques et électroniques (D.E.E.E.)**

Dans les nombreux débats des dernières années portant sur l'impact environnemental et la gestion des déchets, les D.E.E.E. ont occupé une place importante [8]. Cela s'explique d'une part par la quantité croissante et la grande diversité d'E.E.E. utilisées par la société moderne. Les évolutions rapides de la société ces 30 dernières années dans les modes de vie, de travail, de communication ont en effet fortement augmenté les E.E.E. qui du fait d'une innovation sans cesse plus grande et d'une évolution rapide des technologies, deviennent très vite obsolètes. La gestion des D.E.E.E. est devenue un enjeu logistique, environnemental et sociétal majeur. Progressivement, les D.E.E.E. ont été reconnus comme une source de déchet distincte et importante parmi les nombreux déchets solides.

### **I.4.1. La définition des D.E.E.E.**

Un D.E.E.E. est un Déchet d'Équipement Électrique et Électronique, c'est-à-dire un équipement ou une partie d'E.E.E. arrivé en fin de vie ou ayant perdu son usage initial. Les appareils fonctionnant grâce à un courant électrique ou à un champ électromagnétique, ou

# Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques

encore les appareils de mesure de ces courants et champs, conçus pour être utilisés à une tension dépassant pas 1000 volts en courant alternatif et 1500 volts en courant continu. Ces déchets issus de produits nécessaires à notre vie professionnelle ou personnelle sont en augmentation constante depuis plusieurs décennies [9].



**Figure I .1 . Les déchets d'équipements électriques et électroniques [9]**

## **I.5.2. Les catégories des D.E.E.E.**

Les D.E.E.E. sont classés en 10 catégories [10].

- ▶ **Catégorie 1** : Gros appareils ménagers.
- ▶ **Catégorie 2** : Petits appareils ménagers.
- ▶ **Catégorie 3** : Équipements informatiques et de télécommunications.
- ▶ **Catégorie 4** : Matériel grand public.
- ▶ **Catégorie 5** : Matériel d'éclairage.
- ▶ **Catégorie 6** : Outils électriques et électroniques (à l'exception des gros outils industriels fixes).
- ▶ **Catégorie 7** : Jouets, équipements de loisir et de sport.
- ▶ **Catégorie 8** : Dispositifs médicaux (à l'exception de tous les produits implantés ou infectés).
- ▶ **Catégorie 9** : Instruments de surveillance et de contrôle.
- ▶ **Catégorie 10** : Distributeurs automatiques

## **I.5.3. Pourquoi gérer les D.E.E.E. ?**

Les D.E.E.E. contiennent des matériaux polluants et des matériaux valorisables. La collecte et le traitement des D.E.E.E. en filière REP permet d'une part de limiter le gaspillage

# Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques

des ressources naturelles nécessaires à leur conception et d'autre part, d'éviter la dissémination de certains polluants.

- ▶ Les polluants : les gaz CFC, le plomb, le mercure...
- ▶ Les matériaux valorisables : Les métaux ferreux et non-ferreux, les plastiques, le verre, les terres rares...

Se préoccuper de ses D.E.E.E. c'est donc une obligation réglementaire qui permet de réduire sensiblement son empreinte environnementale [9].

## I.5.4. La répartition des D.E.E.E. par type de polymères

Les types de polymères issus des Déchets d'Équipement Électrique et Électronique (D.E.E.E.) sont représentés dans la Figure I.2.

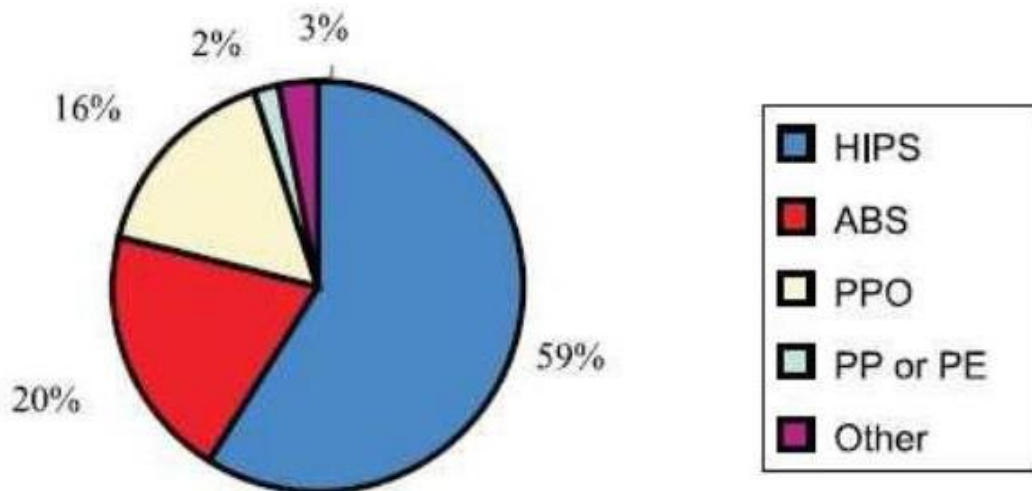


Figure I.2. La répartition des D.E.E.E. par types de polymères [11]

Les polymères ou mélanges de polymères composent ces D.E.E.E., dont l'ABS, le HIPS, le PP, le PS, le SAN, le PU, le PA, les mélanges PC/ABS et HIPS/PPO. Les deux polymères majoritaires sont le HIPS et ABS, utilisés pour leur propriété de résistance aux chocs [11].

## I.5.5. Les impacts des D.E.E.E. sur l'environnement

Les conséquences environnementales de la production des biens électriques et électroniques dépassent de loin celles de la fabrication d'autres produits. Depuis le début des années 90, le problème lié aux déchets électroniques est en point de mire des milieux spécialisés. De plus, la quantité de déchets électroniques produite augmente en raison du



# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

nombre croissant d'appareils utilisés dans les ménages, les bureaux et plus généralement dans le monde moderne.

Lors de sa vie utile, un équipement informatique ne pose généralement pas de problème d'émission de substances toxiques. En tant que déchet électronique par contre, ces équipements sont potentiellement en mesure d'émettre de nombreux éléments toxiques si la gestion de la fin de vie de ces équipements n'est pas assurée adéquatement et ne respecte pas l'environnement. Tout cela a des conséquences néfastes sur l'environnement, car environ 70 % des matières premières des déchets spécifiques sont contaminées et ne sont pas toujours correctement traitées. En outre, dans de nombreux pays, la population n'a pas conscience des problèmes engendrés par les déchets informatiques et cela augmente le problème. Les appareils électriques et électroniques sont des produits complexes, fabriqués à partir de nombreuses matières ayant des effets sur l'environnement et l'élimination et le recyclage de ce genre de déchets constitue un problème à cause de ces matières polluantes comme le plomb, le cadmium ou le biphénylène surchloré [12].

## **I.5.6. Le recyclage des D.E.E.E.**

Le recyclage des D.E.E.E est une étape importante dans les stratégies de traitement des D.E.E.E en fin de vie. La maximisation de la valorisation des matériaux précieux et la minimisation conséquente de l'élimination reposent sur les technologies utilisées dans le processus.

Les producteurs sont invités à financer la collecte, le traitement, la récupération et l'élimination écologiquement rationnelle de ces déchets. Elle impose un taux de recyclage élevé pour tous les produits visés. Ce taux varie de 50% à plus de 80% selon le type de déchet. La stratégie comprend : la collecte, le tri, la remise à neuf, le démontage, le broyage, le traitement des composants/matériaux recyclables, le traitement des composants/substances dangereux, et la mise en décharge ou l'incinération (avec récupération de chaleur) des déchets non recyclables et non valorisables.

Les consommateurs sont tenus de coopérer dans le transfert des appareils utilisés aux détaillants ou aux municipalités, et de payer les frais nécessaires pour la collecte, le transport, et le recyclage. Dans les entreprises de recyclage, les D.E.E.E sont triés, traités, démontés et écrasés. Les matériaux précieux, tels que le verre, l'aluminium, certains types de matières plastiques, le cuivre et le fer sont récupérés par centrifuge électromagnétique, et les techniques de séparation

# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

par gravité, tandis que les substances dangereuses sont récupérées et détruites par des procédés thermiques ou chimiques [13].

Parmi les différents déchets électriques et électroniques (D.E.E.E) on peut citer les polymères styréniques tels que l'ABS, le HIPS, le PP, le PS, le SAN, le PU, le PA. Nous dans ce travail nous nous intéressons à des déchets plastiques issus de polystyrène choc HIPS.

## **I.5. Les polymères styréniques :**

### **I.5.1. Généralité sur les polymères styréniques :**

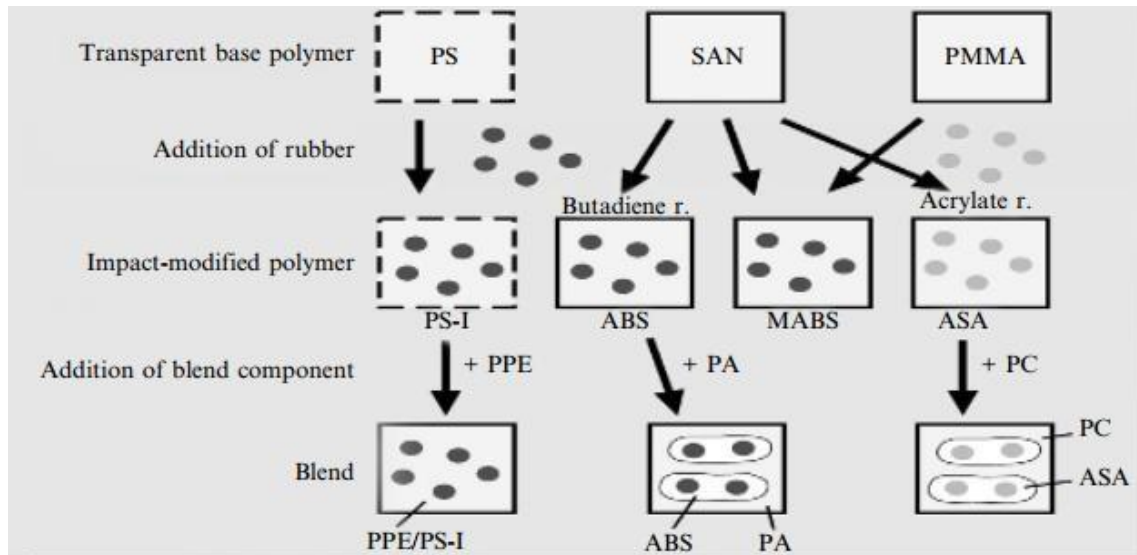
Le polystyrène est l'un des matériaux thermoplastiques les plus utilisés. Derrière les polyoléfines et le PVC. En raison de leur profil de propriétés particulier, les styrènes sont placés entre les polymères de base et les polymères spéciaux. Depuis son introduction commerciale dans les années 1930 jusqu'à nos jours, le polystyrène a fait l'objet de nombreuses améliorations. Les principaux axes de développement visaient la copolymérisation du styrène avec des comonomères polaires tels que l'acrylonitrile, les (méth)acrylates ou l'anhydride maléique, lors de la modification au choc avec différents caoutchoucs ou copolymères à blocs styrène-butadiène et lors du mélange avec d'autres polymères tels que le polyphénylène éther (PPE) ou les polyoléfines [14].

Pour pallier la fragilité du PS, le matériau a été modifié par incorporation de polybutadiène. Le polystyrène choc modifié (HIPS) a été inventé par Ostromislensky et est commercialisé depuis les années 1950. HIPS se compose d'une matrice de polystyrène avec des particules de caoutchouc cellulaire incorporées. Par caoutchouc durcissement, cependant, la transparence est perdue. L'utilisation du bloc styrène-butadiène copolymères au lieu de polybutadiène donne un polystyrène choc translucide avec une morphologie particulière noyau/coque [14].

Les copolymères styréniques sont des matériaux capables de traitement thermoplastique qui, en plus du styrène (S), contiennent également au moins un autre monomère dans la chaîne polymère principale. Les copolymères styrène-acrylonitrile (SAN) sont les plus éléments représentatifs et de base importants de toute la classe de produits. En ajoutant des caoutchoucs au SAN soit de l'ABS (acrylonitrile butadiène-styrène) ou des polymères ASA (acrylate-styrène-acrylonitrile) sont obtenus selon le type de composant en caoutchouc utilisé. Ces deux classes de produits donnent mélanges composés d'ASA et de polycarbonate (ASA+ PC) ou d'ABS et de polyamide (ABS+ PA). Polymères MABS

# Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques

(méthacrylate de méthyle–acrylonitrile–butadiène–styrène) associés à des mélanges composés de polyphénylène éther et résistants aux chocs le polystyrène (PPE/PS-I) fait également partie du produit copolymère styrénique gamme. La Figure 2.1 donne un aperçu des différentes classes de produits et noms commerciaux. Une propriété caractéristique est leur nature amorphe, c'est-à-dire stabilité dimensionnelle élevée et propriétés mécaniques largement constantes en dessous de la température de transition vitreuse  $T_g$  [14].



**Figure I.3.** Les différentes classes de polymères styréniques [14]

## I.5.2. Le polystyrène choc (HIPS)

Ce matériau résulte de la polymérisation du styrène en présence d'un élastomère renforçant. Le PS choc est également un polymère amorphe constitué de deux phases distinctes : l'une continue, composée de PS, appelée matrice et l'autre discontinue comprenant des nodules de polybutadiène dispersés dans la matrice.



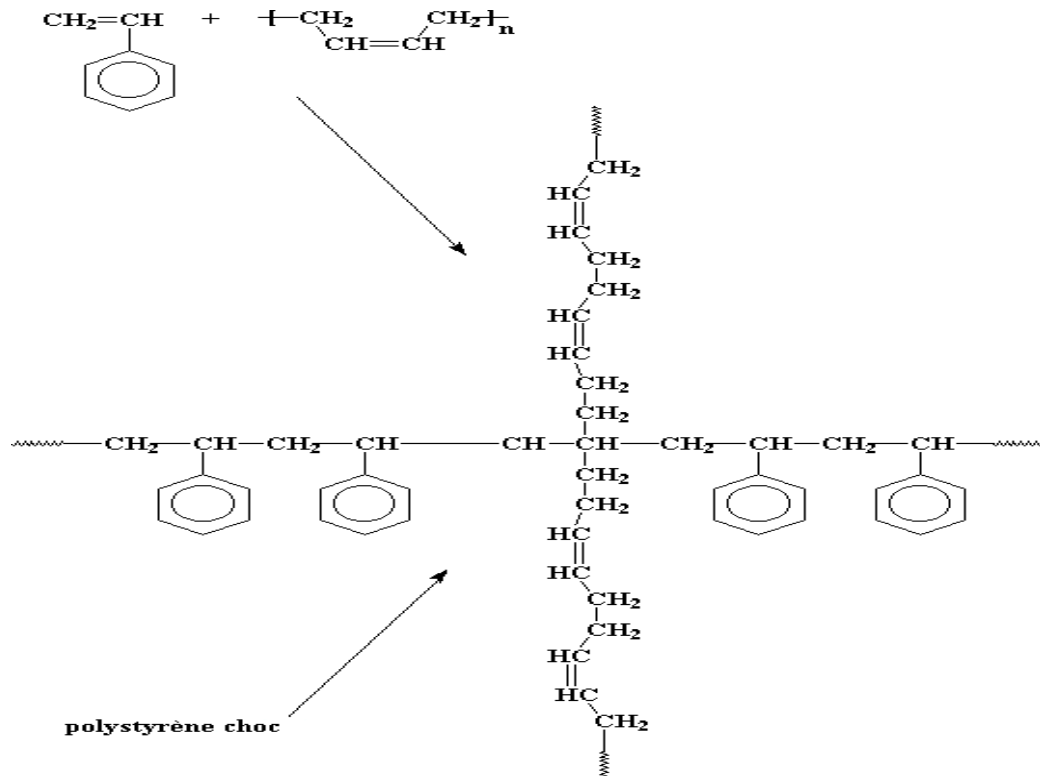
**Figure I.4.** Le Polystyrène choc (HIPS) [15]

# Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques

La couleur du PS choc va de translucide à opaque, car les deux phases n'ont pas le même indice de réfraction. Sa résistance au choc est aussi une conséquence de cette structure à deux phases. Le niveau de résistance est lié à la teneur en polybutadiène [16]. Les PS chocs supportent des impacts plus importants que le PS normal.

## I.5.2.1. La Structure du HIPS

Le copolymère polybutadiène/styrène, appelé aussi PS choc (HIPS) est opaque.



**Figure I.5:** Représentation semi-développée de la chaîne macromoléculaire du polystyrène choc (HIPS) [17]

## I.5.2.2. La polymérisation du HIPS

Le procédé de polymérisation HIPS en masse comprend trois étapes principales:

- Pré polymérisation du styrène (St).
- Polymérisation de finition.
- Dé volatilisation.

Le système réactif n'est homogène que jusqu'à 1% –5% de conversion de monomère [18] (bien que ces valeurs aient été déterminées à l'aide de mélanges, non réellement mesurés pendant la polymérisation), après quoi le PS et le PB ne sont plus miscibles, et deux phases

# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

sont séparées : une phase continue riche en PB et une phase dispersée PS-St [19].

Certains auteurs qualifient ce système d'émulsion polymère huile dans huile [20]. Des études expérimentales — utilisant des mélanges de St, PS et PB ont montré que St est réparti presque uniformément entre les deux phases et que chaque polymère se sépare presque complètement de l'autre, malgré la viscosité élevée des espèces macromoléculaires. Cette incompatibilité entre les chaînes PS et PB, qui est prédite dans la théorie de Flory – Huggins, peut être améliorée avec la présence de poly (styrène-g-butadiène) comme le montrent les mesures des mélanges St – PS – PB préparés par White et Patel [21].

## **I.5.2.3. La mise en œuvre du HIPS**

### **► Injection**

Les polystyrènes chocs sont au contraire plus fluides que les polystyrènes standards et peuvent être injectés à des températures un peu plus basses, les caractéristiques optimales s'obtiennent en injectant dans un moule dont la température de refroidissement est comprise entre 70 et 90°C [22].

### **► Extrusion**

La diversité des types d'extrudeuses et de leurs caractéristiques font que les conditions optimales de travail varient assez sensiblement d'une machine à l'autre. L'extrusion étant très sensible à l'humidité contenue dans le HIPS, l'étuvage des granulés est obligatoire. D'ailleurs cette opération ne présente que des avantages, car elle procure un produit de texture plus uniforme et augmente souvent la vitesse d'extrusion [22].

### **► Thermoformage**

Les installations de thermoformage sont quelquefois montées après l'extrusion de la feuille ointégrées chez les laitiers. Ce procédé concurrence le moulage par injection qui a des limites. Il est utilisé, d'une part, pour les pièces de grandes surfaces, et d'autre part, pour des petits objets de très grande série à cause du faible coût de fabrication. C'est également dans le domaine de l'emballage alimentaire et de la vaisselle jetable [23].

# Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques

## I.5.2.4. Les propriétés du HIPS

Tableau I .1: Les caractéristiques du HIPS [24].

Rhéologiques	Valeurs
Indice de fluidité (200 °C-5 kg). (g/10min)	2 à 25
<b>Thermiques</b>	
Température Vicat (50N) (montée en température=50°C/h)(°C)	78 à 95
Température de fléchissement sous charge (1,8 MPa recuit) ... (°C)	76 à 94
Coefficient de dilatation linéaire (mm/°C)	$9 \cdot 10^{-5}$
Conductivité thermique (W/m.K)	0.17
Capacité thermique massique à 23 °C. (J/kg. °C)	Environ 1 300
<b>Mécaniques</b>	

Choc Charpy entaillé (kJ/m <sup>2</sup> )	4 à 15
Choc Izod barreau entaillé (kJ/m <sup>2</sup> )	4 à 15
Résistance au seuil d'écoulement (MPa)	18 à 32
Contrainte à la rupture (en traction) (MPa)	16 à 36
Allongement à la rupture (%)	20 à 60
Module d'élasticité en traction. (MPa)	1 600 à 2 300
Module d'élasticité en flexion (MPa)	1600 à 2500
<b>Electriques :</b>	
Rigidité diélectrique (kV/mm)	150
Résistivité superficielle (W)	$> 10^{13}$

## I.5.2.5. Les applications du HIPS

Les applications du PS standard, cristal ou choc sont très variées comme par exemples :

Boîtiers pour CD, cassettes audio et vidéo, DVD

La fabrication de boîtiers pour CD arrive en troisième position pour la

## **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

---

consommation de polystyrène. Le PS cristal sert aux pièces transparentes tandis que le PS choc se retrouve dans le support. On utilise aussi, dans une moindre mesure, du PS pour les cassettes audio et vidéo et parfois les DVD [25]. Le PS choc se substitue à l'ABS pour l'habillage de réfrigérateurs congélateurs au niveau des parois intérieures et des accessoires comme les bacs à légumes [24]. Vu que les propriétés du polystyrène choc recyclé diminuent telle que sa résistance au choc on le renforce par l'ajout de charge ou bien des additifs pour former des composites.

# **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

## **Références bibliographiques**

- [1] : Panda A., Singh R., Mishra D. (2010). Thermolys est des déchets plastiques au combustible liquide une méthode appropriée pour la gestion des déchets plastiques et la fabrication de produits à valeur ajoutée d'une perspective mondiale. Examens énergétiques renouvelables et durables, 14(1), p. 233–248.
- [2] : Bemmami K., Tchouar A. (2017). Conception et réalisation d'une unité de recyclage-plastique. Projet de fin d'étude, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, p.23.
- [3]: Djeflal H and Chaouche Y. (2017). Le recyclage des déchets plastiques dans le cadre du développement durable : cas des entreprises de recyclage de la wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master en Science Économiques, Université Mouloud Mammeri, p.23.
- [4] : Eriksen M., Lebreton M., Carson H et al. (2014). Pollution plastique dans les océans du monde : plus de 5 000 milliards de morceaux de plastique pesant plus de 250 000 tonnes à flot en mer. Plos Université, 9(12), p. 111-913.
- [5]: Becker C., Bergfeld W., Belsito V et al. (2014). Évaluation de la sécurité des polymères de téréphtalate modifiés tels qu'utilisés dans les cosmétiques. Journal international de toxicologie , 33(3), p. 36–47.
- [6]: Ausra S and Juan G. (2012). Impact de la production des déchets sur environnement, URL [<http://owl-ge.ch/travaux-d-eleves>].
- [7]: Les conséquences de la pollution plastique et nanoplastique pour l'agriculture et l'écosystème. Pourquoi le plastique pollue les sols - Alcor Controles. [En ligne], (2001), [<https://www.alcor-controles.fr/pourquoi-le-plastique-pollue-les-sols>].
- [8]: Townsend T. (2011). Enjeux environnementaux et stratégies de gestion des déchets d'équipements électroniques et électriques. Journal de l'Association de gestion de l'air et des déchets, 61(6), p. 587-610.
- [9] : Dechets équipements-electriques et électroniques. « Qu'est-ce-qu'un-dechets-d-equipements-electriques et électroniques ». [En ligne], (2023), [<http://www.e-dechet.com/deee/qu-est-ce-qu-un-dechets-d-equipements-electriques-et-electroniques-deee-ou-d3e.htm>].
- [10] : Reygner.B. (2018). [En ligne], Available. [<http://eco3e.eu/reglementations/deee2>].
- [11] : Boubaker A. (2014). Thèses Structuration des Mélanges ABS/PC en vue du Recyclage des DEEE. Université de HAL Open Science, p.22.



## **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

[12] : Apia S. (2018). « Déchets électroniques dans le Pacifique : stratégie régionale et plan d'action ». Progress dans Polymère Science. Secrétariat du Programme régional océanien de l'environnement, 23, p. 707–757.

[13]: Wenzhi H., Guangming L., Xingfa M. et al. (2006). Stratégies de valorisation des DEEE et statut de traitement des DEEE en Chine. Journal des Matériaux Dangereux,36 (3),p. 502-12.

[14]: John.W.(2010).jürgen Schellenberg, “Synthèse, caractérisation, traitement et application du polystyrène syndiotactique p.371.

[15]: Polystyrène à fort impact (HIPS). [En ligne],(2023),[<https://www.preferredplastics.com/high-impact-polystyrene-hips-extrusion.html>].

[16]: Heim P., Vuilleman B., Machon J-P., Seguela B., Wirth R. et Verney V. (2012). Polymères styréniques. Matière plastique. Propriété, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères (Chap. 8, p. 191-209). 3 édition.

[17]: Ernault E. (2016). Thermo-oxydation de résines époxy/amine (Thèse de doctorat, Paris, ENSAM).

[18]: Casis, N., Estenoz, D., Gugliotta, L., Oliva, H. and Meira, G., (2006.), Polymérisation massive hétérogène du styrène en présence de polybutadiène : Calcul de la structure macromoléculaire. Journal de science appliquée des polymères.99, p.3023-3039.

[19] : Sotehi,N.(2010). Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation. (Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine).

[20]: White, J.L. and Patel, R.D.,(1975). Phase séparation conditions dans polystyrène–styrene– (butadiene–styrene) copolymère solutions. Journal d'Appliqué Polymère Science, 19, p.1775- 1778

[21]: Mansouri A., BS.(2015). Elaboration et Caractérisation de composite simples a base de Polyester (case of nuts and olive leaves). Journal d'Appliqué Polymère Science, 19, p.1675-1678

[22]: Polystyrène choc.(2022).[En ligne]: [<http://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-polystyrene-caracteristiques-et-applications-1383.html>].

## **Chapitre I Les déchets des équipements électriques et électroniques**

[23]: Bedjaoui, K., Krache R., Marcos-Fernández A. et Guessoum M. (2019). L'effet du compatibilisant SEBS sur les propriétés mécaniques, morphologiques et thermiques du copolymère polystyrène/poly (styrène-co-acrylonitrile) mélanges. *Materials Research Express*, 6, p.1053-1074.

[24]: Debbah, I., Krache R., Aranburu N., Etxeberria A., Pérez, E. and Benavente, R.( 2020). Influence du type d'ABS et du comptabilisant sur les propriétés thermiques et mécaniques des mélanges PC/ABS. *Traitement international des polymères*,35(1), p.83-94.

[25]: Application du HIPS. (2022). [<https://daiaplastic.com/en/hips-masterbatch-and-application/>].

---

*Chapitre II*  
**Les matériaux composites et biocomposites**

---

## Introduction

Les matériaux composites sont des matériaux à hautes performances mécaniques, façonnables à volonté au gré du concepteur et donc doué d'un potentiel illimité. Les matériaux composites se développent aujourd'hui dans pratiquement tous les domaines et sont à l'origine de formidables challenges dans diverses réalisations de haute technologie [1].

### II.1. Les matériaux composites

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux de natures différentes. Leur association est complémentaire et permet d'aboutir à un matériau dont les performances recherchées seront supérieures à celles des composants pris séparément. Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phase discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue, appelée **renfort** ou **matériau renforçant**, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée **matrice** [2].

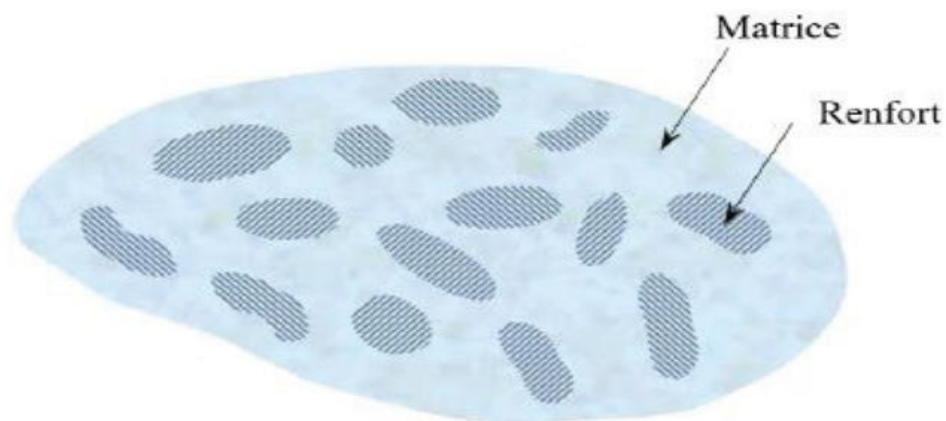


Figure II.1. Le schéma illustratif d'un matériau composite [3]

#### II.1.2. Les constituants d'un matériau composite

##### II.1.2.1. La matrice

Le premier rôle de la matrice est de maintenir les renforts dans une forme compacte et de donner la forme voulue au produit final. Elle sert également à protéger les fibres contre l'abrasion et un environnement agressif, contrôler le fini de surface et assurer le transfert de charges entre les fibres [4].

► **Les matrices thermodurcissables**

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants. Les résines polyesters insaturées, les résines de condensation (phénoliques, aminoplastes, furaniques) et les résines époxy sont des résines thermodurcissables [5].

► **Les matrices thermoplastiques**

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles. Ces résines sont dures et solides qui nécessitent une transformation à très haute température. Les polychlorures de vinyle (PVC), les polyéthylènes, polypropylène, polystyrène, polycarbonate polyamide sont quelques exemples de ces résines thermoplastiques. De même que pour les résines thermodurcissables, les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible [5].

**II.1.2.2. Le renfort**

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite et un grand nombre de renforts sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel ou plus) [5].

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure suivante :

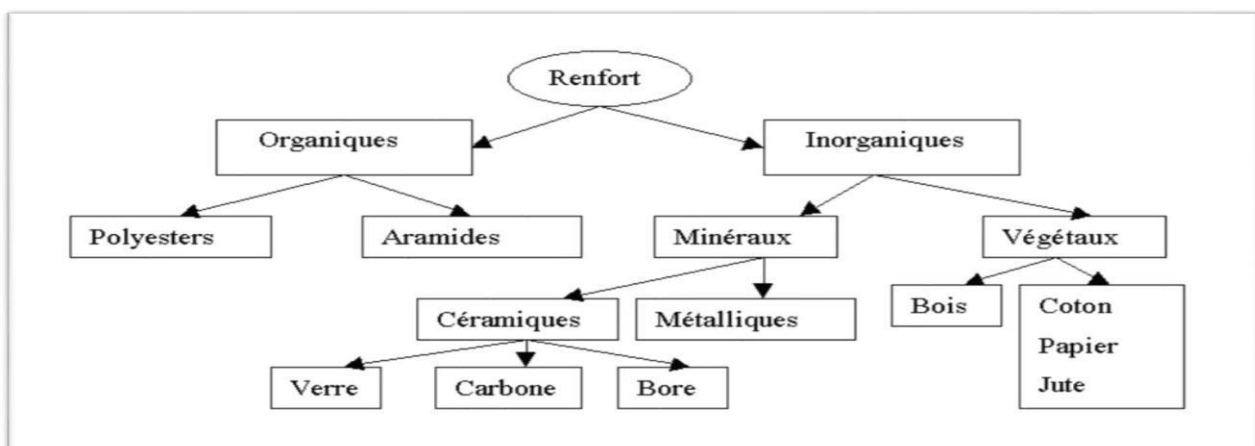


Figure II.2. Les principaux renforts pour les polymères [6]

Il existe deux catégories de fibres qui peuvent être utilisées comme renforcement.

- **Les fibres inorganiques**

Les fibres les plus courantes de cette catégorie sont les fibres d'aramides (kevlar) et les fibres de polyester.

- **Les fibres organiques**

Cette catégorie englobe les fibres minérales (comme les fibres de verres, de carbones, de bores, et de céramiques); les fibres métalliques (comme les fibres d'acier et de fonte); les fibres naturelles qui se divisent en fibres animales (comme les fibres de poil, de laine, et de soie, etc.) et fibres végétales (comme les fibres de jute, de sisal, de coir, de bois, de bambou, et de palmier) [7].

## **II.2. Les biocomposites**

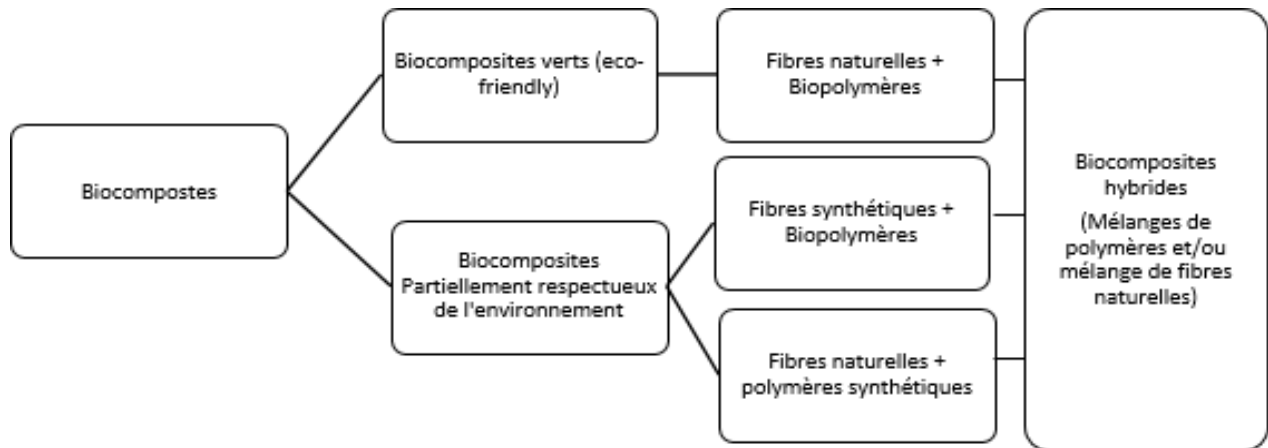
De nos jours, l'utilisation des ressources renouvelables dans les matériaux composites devient de plus en plus fréquente, exigeantes et étudiées, en raison de leurs importance économique, environnementale et mécanique, et leur larges applications, sont des matériaux aux appellations diverses (biocomposite, biodégradable, biocompatible, etc.) [8]. Un bio composite est un matériau composite dont l'une des parties au moins, renfort ou matrice, est issue de ressources renouvelables, tels que des renforcements de fibres naturelles ou des bio polymères. Les biocomposites présentent différents niveaux de respect de l'environnement en fonction de leurs matériaux constitutifs et de leur biodégradabilité. La Figure (II.3) présente un schéma de ces catégories de biocomposites d'après la définition actuelle. Selon le type de polymère utilisé, ces composites peuvent également être entièrement biodégradables, suggérant ainsi le plus haut niveau d'avantages économiques et environnementaux [8].

### **II.2.1. Les catégories des biocomposites**

Trois (03) catégories de biocomposites sont à distinguer :

- Biocomposites à matrice naturelle et renfort synthétique.
- Biocomposites à matrice et renfort naturels.
- Biocomposites à matrice synthétique et renfort naturel.

La dernière catégorie est aussi dénommée biocomposites verts (Green biocomposites). Le schéma ci-dessous résume la classification des biocomposites



**Figure II.3.** La classification des biocomposites [9]

### II.2.2. Les biocomposites à fibres végétales

Les fibres végétales ou de cellulose présentent un ensemble d'avantages importants, tels qu'une large disponibilité à un coût relativement bas, biorenouvelabilité, capacité de recyclage, biodégradabilité, nature non dangereuse. L'incorporation des fibres végétales à savoir le lin, le chanvre, le jute, le ramie, le sisal, le kenaf, le coco, l'abaca et d'autres fibres, dans des matériaux thermoplastiques ou thermodurcissables en remplacement des fibres de verre est un concept qui commence à être industrialisé et commercialisé. Les composites renforcés par des fibres végétales trouvent des applications dans la fabrication des habitacles de plusieurs marques de voitures, de petits bateaux et kayaks, et même dans la boiserie et les constructions en génie civil ou bien dans des structures secondaires dans des applications qui répondent au souci de la préservation de l'environnement [10].

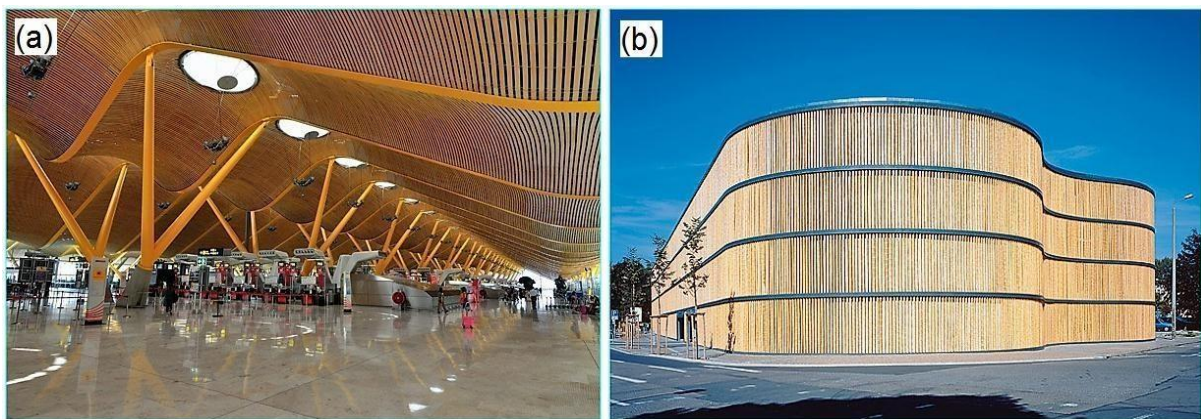
### II.2.3. Les avantages des biocomposites

Les produits en matériaux biocomposites ne se distinguent pas seulement des produits en plastique pur, mais ils sont plus attrayants, sont très agréables au toucher et contiennent une plus faible proportion de plastique grâce à l'utilisation de bois et de fibres naturelles. Certains sont même totalement exempts de matériaux à base de pétrole, ce qui améliore l'empreinte écologique. De nombreux matériaux courants offrent également des propriétés spéciales exigées par les fabricants, comme le comportement acoustique, la légèreté de la construction ou les propriétés antibactériennes. Toutefois, il est essentiel que les produits soient bien accueillis par les consommateurs et bénéficient d'une grande attention de la part du public [11].

### II.2.4. Les domaines d'applications des biocomposites

L'industrie des biocomposites renforcés avec les fibres naturelles a connu une croissance continue en raison des progrès technologiques et des applications accrues pour ces matériaux, leur utilisation s'inscrit dans une démarche d'éco-conception. Le développement de granulés thermoplastiques renforcés par des fibres naturelles végétales est utilisé dans des différents domaines (cosmétique, automobile, horticulture, électroménager, mobilier urbain, outillage...) [12].

La Figure II.4. Montrent quelques ces applications.

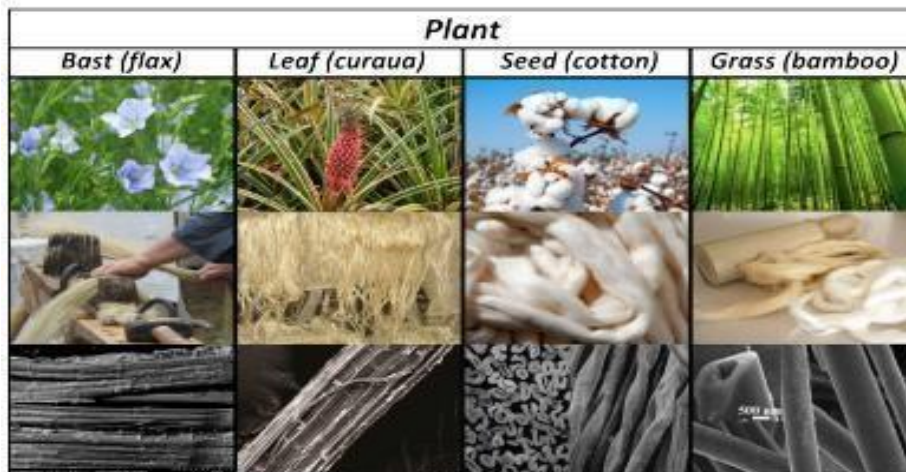


**Figure II.4.** Les conceptions et applications innovantes des biocomposites en fibres de bambou dans : (a) l'aéroport Adolfo-Suárez de Madrid-Barajas et (b) Parking garage (Zoo de Leipzig, Allemagne) [13]

### II.3. Les fibres végétales

Les fibres végétales dites encore fibres ligno cellulosiques, sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante. Les fibres végétales sont considérées comme élément de différenciation, elles peuvent limiter les répercussions environnementales liées à la fabrication et à l'utilisation des plastiques et répondre à l'épuisement des ressources fossiles. Ainsi les composites renforcés par les fibres végétales peuvent présenter des aspects [14].

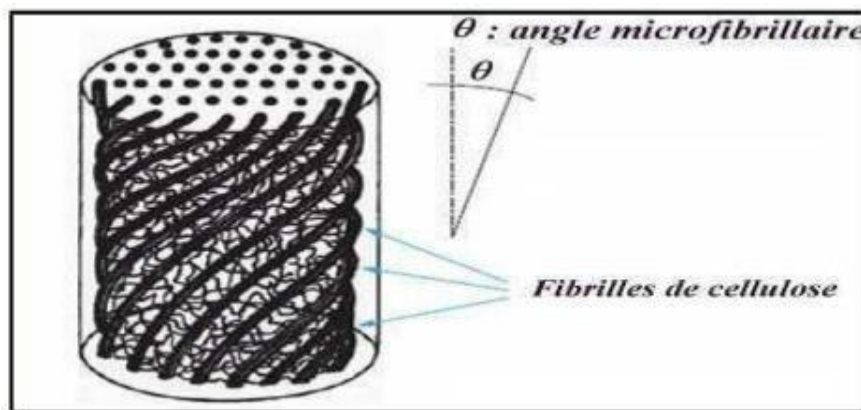




**Figure II.5.** L'illustrations de quelques fibres végétales [15]

### II.3.1. La structure d'une fibre végétale

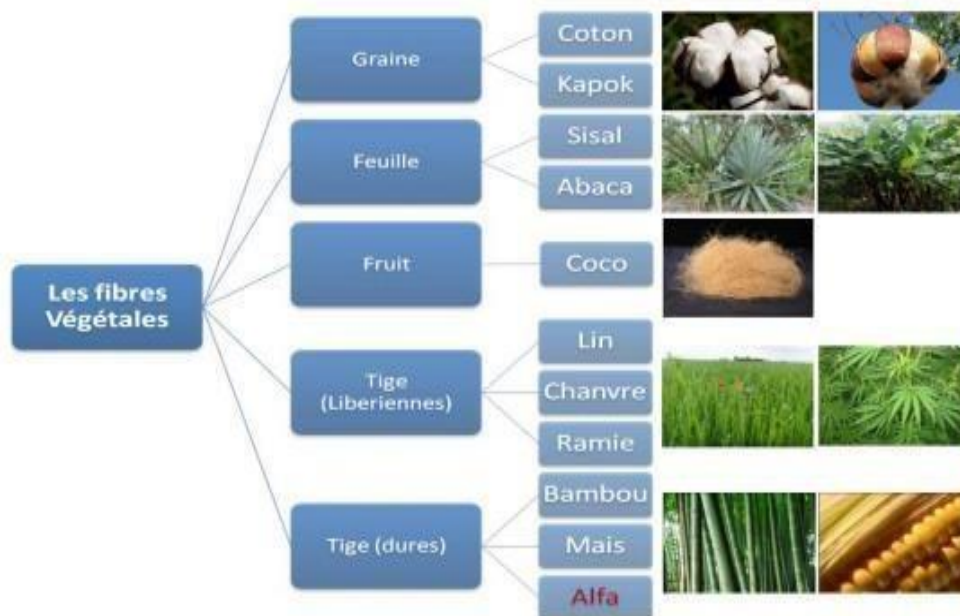
Une fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibrille cellulose en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [16].



**Figure II.6.** Le schéma de principe de la structure d'une fibre végétale [16]

### II.3.2. La Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres:



**Figure II.7.** La classification des fibres végétales selon l'origine [17]

Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (Kéna, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abaca, paille de graminée) [17]

Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigides) et les fibres non ligneuses (douces, souples) [17].

Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories : fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles, et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues [17].

### II.3.3. La composition chimique des fibres végétales

#### ► Cellulose

La cellulose est un constituant polysaccharidique de la paroi des cellules des plantes de formule  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . La cellulose est un polymère naturel dont les molécules, formées de longues chaînes, sont constituées de D-anhydroglucopyranoses liés par des liaisons  $\beta$ -(1,4)-glycosidiques en position C1 et C4. Le degré de polymérisation (DP) est d'environ 10 000, il varie selon l'espèce végétale. Chaque unité de répétition comporte trois groupes hydroxyles. Ces groupes hydroxyles et leur capacité à réaliser des liaisons hydrogène jouent un rôle majeur pour la cristallinité [18].

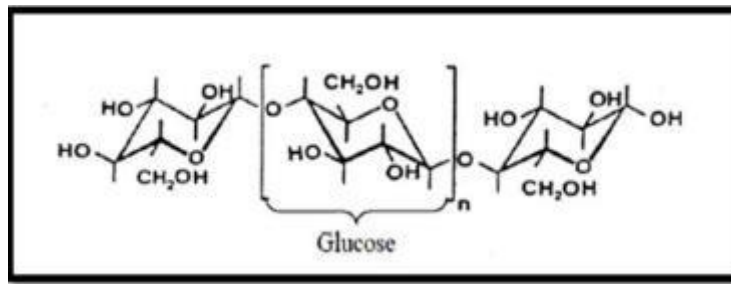


Figure II.8. La présentation de la molécule de la cellulose [18]

### ► Hémicelluloses

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle-même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance [19].

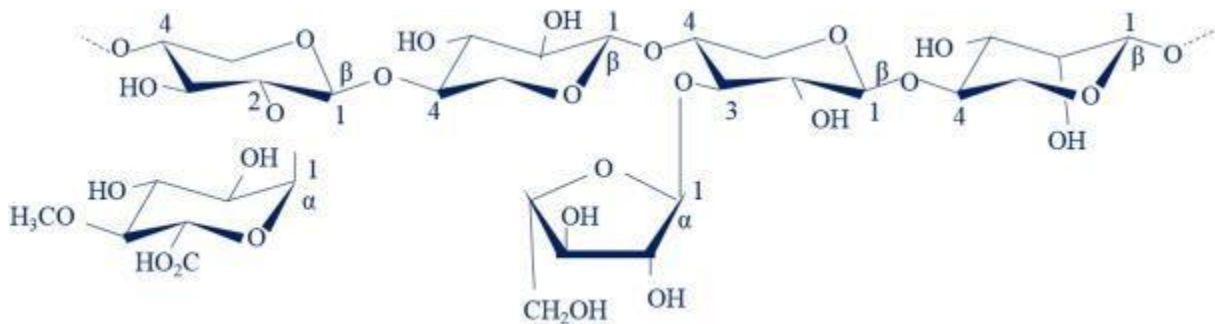


Figure II.9. La structure d'un type de xyloglucane [19]

### ► Lignine

La lignine est une macromolécule extrêmement hétérogène composée de polymères aromatiques. La lignine est responsable de la rigidité et de la dureté des bois et plantes. Peu sensible à la dégradation biologique, elle crée une barrière morphologique à la pénétration et à la progression des agents pathogènes, et contribue à la protection naturelle des végétaux contre certaines attaques parasitaires [20].

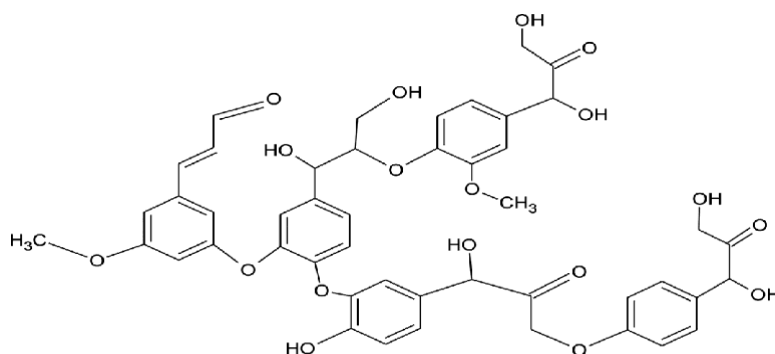


Figure II.10. La structure de la lignine [20]

## II .4. Généralités sur les glands

### II .4.1. Bref aperçu

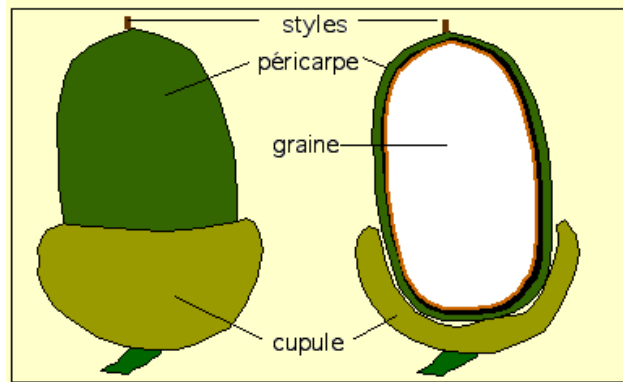
Le fruit ou le gland de chêne liège, connu en Algérie sous le nom « ballot » caractéristique de genre *Quercus*, Il est implanté essentiellement dans le bassin méditerranéen (Portugal- Espagne Algérie- France- Italie- Tunisie-Maroc) et pousse aussi en Asie en Europe moyenne et en Amérique du nord où les conditions climatiques sont favorables à sa végétation, c'est fruit sec ou akène. Il est constitué d'une graine enveloppée par un péricarpe assez coriace de couleur brune. Le péricarpe est formé de trois couches : vers l'extérieur par un épiderme externe ou épicarpe ; vers l'intérieur par l'endocarpe ; au centre par le mésocarpe. La graine est protégée par un tégument assez mince et nervuré. Elle comprend deux cotylédons qui cachent du côté du micropyle un embryon composé d'une radicule, d'une tigelle et d'une gemmule [21].

Les caractères botaniques sont sur la Figure II.11.



**Figure II.11.** Les différentes parties du chêne liège [22]

Un gland est un akène, contenant une seule semence (rarement deux graines). Mûrissent généralement dans l'année même de la floraison. Ils sont de grosseur qui varie de 1 à 6 centimètres de long et de 0,8 à 4 centimètres de large et leur chute s'échelonne d'octobre à janvier. Les glands prennent de 6 à 24 mois (selon les espèces) pour arriver à maturité. Le gland est entouré par une sorte de coupe qui est la cupule est portée par un gros pédoncule très court. Les écailles légèrement saillantes croissent en longueur à partir de la base [23].



**Figure II.12.** Le schéma explicatif de la structure d'un gland [24]

Lorsque les glands sont arrivés à maturité, ils tombent au sol : il ne vous reste plus qu'à les ramasser. Laissez ceux qui sont encore attachés dans l'arbre, ils ne sont pas encore mûrs. La période de récolte se situe au mois d'octobre, parfois dès la fin septembre [25].

Le péricarpe du gland (PG) est riche en cellulose et en lignine et comparée aux fibres végétales non alimentaires, la PG présente des avantages comme une résistance mécanique élevée, une résistance à la pourriture, une stabilité chimique élevée et haute hydrophobicité trouvent leur application avec succès dans plusieurs matrices telles comme Polyéthylène et résine époxy renforcée [22].

**Tableau II.1:** Composition chimique du péricarpe et de la cupule du gland [22]

Particules renforcement	Hémicellulose	Lignin	Cellulose	Extractives
péricarpe de gland	46.55	25.83	22.62	5.00
Cupule de gland	56.18	36.24	2.82	4.75

**Références bibliographique**

- [1] : Jean M.B. (2012). Matériaux composites, Comportement mécanique et analyse de la structure. IBBN ,5 édition, p. 1. Université Lavoisier Paris.
- [2]: Berlin A.A., Volfson S.S., Enikolopian N.S., et Negmatov S.S. (1986). Principale de polymère composite,1 édition Université Berlin.
- [3] : Chouaib A. (2012).Etude comparative du comportement des différents matériaux Composites (différentes matrices). Mémoire de magister, université de M’hamed Bouguera, Boumerdes. Algérie.
- [4] : Jérémie A.(2009).Etude comparative du comportement de composites à matrice thermoplastique ou thermodurcissable. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, p.6.
- [5] : Gornet L. (2008). Généralités sur les matériaux composites. Ecole d’ingénieur,p. 2-3.
- [6] : Mettouchi L. Influence de la charge particule de cuivre et du renfort couches de fibres de verre sur le comportement mécanique d’un composite. Thèse de fin d’étude,université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, p.6.
- [7] : Gornet L. (2011). Généralité sur les matériaux composites, Ecole d’ingénieur,Centre Nantes, p.7.
- [8] : BOUGHEDIRI S. (2019).Réalisation d'un nouveau matériau biocomposite à base de matrice résine. Thèse de fin d’étude .université Mohamed Khider de Biskra ,p.16-25
- [9]: Mohanty A.K., MISRA, M., Drzal, L. T. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. Journal of Polymers and the Environment, 2002, v. 10, p. 19-26.
- [10] : N I., Yousfi H.(2020). Etude comparative sur les composites a fibres du palmier dattier. Thèse de fin d’étude .Université Mohamed Boudiaf de M'sila.
- [11] : Le marché de bio composites.[en ligne],(2023).[ <https://www.agrocomposites.fr/biocomposites-definition/>]
- [12]: Sreekala M.(2000) . Composites de phénol-formaldéhyde renforcés de fibres de palmier à huile : influence des modifications de la surface des fibres sur les performances mécanique. 7(5-6): p. 295-329.
- [13]: Suhaily S.S. (2013). Bamboo a base des matériaux biocomposites, conception et applications. en sujets avancés en science des matériaux.
- [14] : Biagiotti, J., D. Puglia, J.M. K. (2004). A review on natural fibre-based compositespart I: structure,processing and properties of vegetable fibres. Journal of Natural Fibers,1(2):

p. 37-68.

[15]: Illustration de quelques fibres végétale,[en ligne],(2022).[https://www.sandatlas.org/basalt/ ]

[16]: Fung K.L., Li R.K.Y., Tjong S.C. (2002). Interface Modification on the Properties of Sisal Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*,85,p. 169-176.

[17]: Boudache Dj.,Tayebi Kh. (2017). » Caractérisation de la Fibre d'Alfa ». [En ligne],. [file:///C:/Users/toshiba/Downloads/M%C3%A9moire%20(3).pdf].p.8 et 23

[18]: Djebali S. (2013). (Caractérisation des éléments de structures en béton de fibre métallique). université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou thèse doctorats.

[19] : Chaaoui T., difli O. (2021). L'étude de l'influence des traitements chimique sur l'interface des composites fibre matrice. Université Mohamed Boudiaf M'sila , p 10

[20] : Ragoubi M. (2010). Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne. Thèse de doctorat, l'université Henri Poincaré Nancy 1.

[21] : Bedjaoui F. Khelouf M. Lalaoui S.,(2022), Le pouvoir germinatif de *Castanea sativa*.L. et les paramètres morphométriques de six espèces de chêne (*Quercus* sp.). Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila, p. 27

[22] : Jabri M., Oulidi O., Loulidi I., Amar A., Kali A., Boukhelifi F. (2022). Valorisation des déchets de glands comme renfort dans un composite de polystyrène : une étude comparative. Dans : El Himer, S., Ouaiassa, M., Emhemed, AAA, Ouaiassa, M., Boulouard, Z. (eds) Intelligence artificielle des objets pour une gestion intelligente de l'énergie verte. Études sur les systèmes, la décision et le contrôle, v. 446.

[23] : Saccardy L. (1938). Le Chêne-Liège et le Liège en Algérie. . In: *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*. 18<sup>e</sup> année bulletin n°203, p. 489.

[24] : Schéma explicatif d'un gland.[ En ligne],2023.[https://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/gland.htm].

[25] : Le gland : Récolte, conservation et utilisation des glands.[En ligne],(2023). [https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1463-glands-recolte-conservation-utilisation.html]

---

**Chapitre III**  
**Etat de l'art sur les biocomposites à base de**  
**polymères styréniques et fibres végétales**

---



## Etat de l'art sur les biocomposites/polymères styréniques et fibre végétale

Dans ce chapitre, un bref aperçu des différentes études qui se sont intéressé à l'élaboration et caractérisation d'un bio composite à matrice polymère et renfort nature (fibre naturelle) en utilisant le HIPS, plus particulièrement, dans le but d'améliorer ses performance et ses propriétés mécaniques, rhéologiques etc..., sont résumés ci-dessous, ainsi que quelques travaux qui ont utilisé l'ABS, le PS, le SBS et le HIPS comme matrice.

Elaboration et caractérisation d'un biocomposite a matrice polymère et renfort nature (fibre naturelle)

**E.H. Agung et al. [1]**, ils ont étudié les propriétés mécaniques d'un composite polymère qui est influencée par de nombreux facteurs tels que la fibre et la matrice polymère. Pour l'amélioration ils ont travaillé sur le HIPS et la fibre d'abaca de différents taux de charge (30, 40 et 50 %). Pour la modification du choc ils ont rajouté 3 % d'anhydride maléique. Les résultats des analyses statistiques des propriétés mécaniques a donné une précision du modèle très satisfaisante, car le coefficient de détermination était de 0,9817 pour la résistance aux chocs, et 0,9789 pour la résistance à la traction.

**E. C. Silva et al. [2]**, ont étudié les propriétés structurales, thermiques, morphologiques et mécaniques de polystyrène à fort impact (HIPS) renforcé de fibres d'açaï (*Euterpe oleracea*). Ils ont été fabriqués à partir de fibres d'açaï à 5 % en poids traitées avec 5 % de NaOH (FT5) et 7 % de NaOH (FT7). Selon les analyses ils ont trouvé que allongement plus élevé, ( $2,9 \pm 0,5$  %), ( $98 \pm 2$ ) J/m et l'impact de résistance ( $98 \pm 2$ ) J/m dû à la présence d'un ancrage mécanique, qui améliore ses propriétés mécaniques ils ont montré aussi une légère augmentation de la résistance à la traction par rapport à celle du HIPS pur.

**Clívia Danúbia Pinho et al. [3]**, Dans cette étude ils ont travaillé sur l'influence de la fibre d'açaï en tant qu'élément de renforcement dans les thermoplastiques recyclés à usage quotidien à l'aide d'une méthodologie simple et peu coûteuse a été évaluée. Des matrices recyclées de polystyrène et de polypropylène à fort impact ont été moulées par compression à chaud à partir desquelles les composites de fibres ont été obtenus. Les résultats montres que les polymères recyclés à une résistance à la traction plus faible à la rupture lorsqu'il est combiné avec des fibres.

**Dragan Kusić et al. [4]**, caractérise le comportement de l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), du polystyrène choc (HIPS) et du polyéthylène haute densité (HDPE) renforcé de fibres courtes de bananes des îles Canaries. Plusieurs tests ont été réalisés tels que les essais mécaniques de traction et l'indice de fluidité à chaud (IFC) dans des composites avec différents pourcentages de fibres de banane. Les résultats obtenus montrent que le test mécanique indique une augmentation de la rigidité et une amélioration de la contrainte en augmentant la teneur en fibres dans les composites.

**Marie Jabri , Oumayma Oulidi et al. [5]**, ont concentré sur les intérêts d'élaboration de plastiques renforcés par des déchets organiques, ils ont utilisé le gland comme bio renforcement, et le polystyrène comme une matrice, le PS a été renforcé par le péricarpe du gland et la cupule du gland , séparément. Plusieurs tests ont été réalisés tels que FTIR. Les résultats des spectres FTIR montrent l'apparition de la bande OH.

**S. Bahar Baştürka et al. [6]**, ont étudié les composites de résine époxy renforcée avec des charges/poudres de glands et de pommes de pin. Les propriétés de traction des composites ont été évaluées en fonction du type et du contenu de la charge ajoutées au polymère avec trois rapports différents (10 %, 20 % et 30 % en poids) et fabriquées avec la méthode de coulée. Enfin les résultats qu'ils ont obtenus et que les composites à base de pomme de pin ont montré des résultats légèrement meilleurs par rapport aux échantillons renforcés de glands. En plus de cela, les composites indépendants du type de charge ont montré des propriétés de traction plus élevées avec l'augmentation de la teneur en particules.

**José Carlos et al. [7]**, dans leur travail ont étudié les propriétés telles que, la dureté et la résistance à la traction de copolymère séquencé styrène-butadiène-styrène (SBS) et qui renforcé de 5, 10 et 20 % en poids de fibre de sisal et par l'ajout de 2 % en poids de l'anhydride maléique comme agent de couplage entre la fibre de sisal et le SBS .Ils ont trouvé que la dureté du composite a augmenté avec l'augmentation de la teneur en fibres de sisal dans le composite et la diminution de la résistance ultime à la traction avec la teneur en fibre, l'allongement à la rupture a diminué. Cependant, le module de Young a augmenté.

**Dandi Bachtar et al. [8]**, ont étudié les effets d'un traitement alcalin et d'un agent compatibilisant sur les propriétés de traction de composites de polystyrène choc renforcé de fibres de palmier à sucre. Deux concentrations d'une solution alcaline (4% et 6%) et deux pourcentages d'un agent compatibilisant (2% et 3%) ont été utilisés dans cette étude. et pour le traitement de la fibre ils ont immergé la fibre dans une solution alcaline à 4%. 40 % poids de fibre de palmier à sucre (SPF) a été mélangé avec du HIPS et l'agent compatibilisant à l'aide d'un mélangeur à fusion Brabender à 165 °C. Les résultats obtenus ont montré une amélioration de la

risistance à la traction par rapport aux composites non-traités, cependant, il n'y a pas eu d'amélioration du module de traction.

**Boussehel Hamida.[9]**, étudié la valorisation des déchets lignocellulosiques. Un intérêt particulier a été porté à la farine de grignon d'olive comme chargé dans l'élaboration de matériaux composites à matrice polystyrène avec des taux de charge variant de 10 à 30 %. Deux types de traitements ont été choisis, dont le premier consiste en la modification de la farine de grignon d'olive par mercerisation (NaOH). Le deuxième c'est la modification avec un agent de couplage de type silane (3- (triméthoxysilyl) propyl méthacrylate). Différents analyses ont été examinées telle que l'analyse IRTF qui a identifié des groupements fonctionnels issus des traitements chimiques.

**Boumerdassi, K.[10]**, son étude porte sur l'élaboration et la caractérisation des composites à matrice polystyrène et à charge d'origine végétale : sciure d'épicéa et microcristaux de cellulose. Ces derniers sont obtenus par l'extraction de cellulose à partir de la farine d'épicéa. Les éprouvettes composites ont été élaborées par injection/compression. Les essais mécaniques, ont montré qu'il s'est produit une nette augmentation de la rigidité des deux matériaux avec une augmentation de la résistance au choc pour le composite « microcristaux de cellulose /PS » et une diminution dans le cas de composite « charges d'épicéa/PS »

**Isabella LM Costa, Paulo HF Pereira et al. [11]**, cette étude présente une alternative à la réduction des déchets solides, améliorant le concept des composites verts. Ils ont utilisé la fibre de pomme de pin comme renfort dans les filaments composites d'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) comme potentiel pour le stylo 3D. Le mélange composites ABS/fibres de pomme de pin de taux 2 et 5 % en poids a été traité, et ensuite ont été préparés par une mini extrudeuse. Les filaments ont été caractérisés par différentes analyses en utilisant la spectroscopie infrarouge (FTIR). Les résultats ont indiqué que les fibres étaient liées par des liaisons hydrogène aux chaînes ABS et augmentaient la densité du filament. Ainsi, il est possible d'affirmer que l'ajout de fibres de pomme de pin à l'ABS et malgré la faible concentration de fibres naturelles sur les composites étudiés dans ce travail, l'obtention réussie d'ABS renforcé de fibres naturelles biodégradables.

**Karavana Hüseyin et al. [12]**, ont travaillé sur les coupes de glands et les déchets de glands pour la production de semelles de chaussures obtenus après l'extraction du tanin comme matériaux de renforcement pour les composites à base de caoutchouc styrène-butadiène avec différents ratios (2, 4 et 6 % en poids), ont été mélangés avec SBR par Banbury et préparés des composites avec différentes charges qui a été réalisée par moulage et par compression.

Les résultats ont révélé que la dispersion homogène des charges végétales dans la matrice élastomère a été réalisée avec succès et les matériaux bio-composites obtenus se sont avérés être un bon candidat pour un matériau de semelle biosourcé dans la production de chaussures.

**Kc Manikandan nair et al. [13]**, ont étudiées les propriétés de traction composites du polystyrène renforcé avec des fibres de sisal courtes et des fibres de sisal benzoylé. Ils ont évalué l'influence de la longueur des fibres, de la teneur en fibres, et de l'orientation des fibres et de la benzoylation de la fibre sur les propriétés de traction du composite. Les résultats expérimentaux indiquent une meilleure compatibilité entre la fibre benzoylée et le polystyrène et les propriétés de traction des composites alignés uni-directionnellement augmentent progressivement au-delà de 20 % de charge, bien que la résistance à la traction ultime montre une amélioration marginale.

**Benini et al. [14]**, ont étudié les propriétés mécaniques du polystyrène choc (HIPS) ainsi que du HIPS renforcé avec des composites de fibres de bagasse de canne à sucre mercerisées et blanchies. Après une période d'altération accélérée de 900 h, sous des cycles réguliers de rayonnement UV-B et d'humidité, ils ont étudié aussi les modifications des propriétés mécaniques par des essais de traction. L'étude a montré qu'il n'y a pas de changements dans la traction ultime du HIPS probablement en raison de la courte période d'exposition, d'autre part, l'exposition a fourni une petite augmentation du module de traction.

**Missoum, Ali Abderraouf et al. [15]**, cette étude a comme objectif de concevoir des matériaux composites à base de polystyrène PS renforcé avec des fibres végétales issues de la plante de Luffa. Ces composites ont été réalisés après avoir traité les fibres de Luffa à deux traitements chimiques distincts : traitement au NaOH, puis compressé en variant le nombre de couches des fibres végétales de 1 à 3 en poids. Des échantillons furent prélevés après formation des plaques composites puis soumis à différents tests qui sont les suivants : l'essai de traction, la spectroscopie IRTF. Les résultats obtenus indiquent une augmentation générale de la valeur du Module de Young.

**Carvalho, KC, et al. [16]**, ont étudié l'effet de la modification chimique des fibres sur les propriétés mécaniques des composites base de polystyrène choc (HIPS) et les fibres de noix de coco qui ont été traitées avec la solution (NaOH 10%) puis blanchies avec du chlorite de sodium ( $\text{NaClO}_2$ ) et de l'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Les fibres traitées ont été mélangées avec du polystyrène choc (HIPS) et placées dans une chambre d'injection afin d'obtenir des éprouvettes pour les essais de traction. Les résultats des tests de traction ont montré que l'ajout de 30% de fibres traitées à l'alcali et blanchies renforçant la matrice HIPS a apporté des changements considérables dans les propriétés mécaniques des composites par rapport au HIPS pur.

**Borba, P. M et al. [17]**, ont étudié l'effet de l'ajout de nanoparticules de renforcements sur les propriétés mécaniques des composites de fibres SBS/Curauá avec l'ajoute d'argile montmorillonite - MMT) qui a été utilisés comme agents de renforcement à différents taux. Des composites avec 5, 10 et 20 % en poids de fibre de curauá été évalué en présence de styrène greffé à l'anhydride maléique. Le composite SBS hybride qui a montré les meilleures performances mécaniques globales était celui composé de 2 % en poids de MMT et de 5 % en poids de fibre de curauá. L'augmentation de la teneur en fibres jusqu'à 20 % en poids a entraîné une diminution générale de toutes les propriétés mécaniques ainsi que l'incorporation de 5 % en poids de MMT a entraîné une diminution de la résistance à la traction dans toutes les teneurs en fibres.

L'objectif de notre mémoire est étude et caractérisation expérimentale d'un nouveau matériau bio composite à base de polystyrène choc recyclé (HIPS) des déchets issus d'équipements électriques et électroniques (D.E.E.E.) comme matrice renforcée par une fibre végétale de péricarpe de gland dans le cadre de la valorisation des ressources naturelles locales à fin de préparer un matériau qui respect l'environnement , et ce travail n'a été jamais fait d'après toutes les recherches que nous avons faites.

## Références bibliographiques

- [1]: Agung, E. H., Sapuan, S. M., Hamdan, M. M., Zaman, H. M. D. K., and Mustofa, U. (2011). Optimization of the Mechanical Properties of Abaca Fibre-Reinforced High Impact Polystyrene (HIPS) Composites Using Box-Behnken Design of Experiments.
- [2]: E. C. Silva, A. F. da Silva, Y. S. da Rodrigues, D. S. Correia Júnior, L. M. de Oliveira, M. M. Biondo. (2023). Éco composites à base de fibres de polystyrène choc (HIPS) et d'Amazon Açai ( *Euterpe oleracea* ) : Influence du traitement NaOH sur ses propriétés structurales, thermiques et mécaniques , v. 59, N 1, p.147-158
- [3]: Castro, Clívia Danúbia Pinho da Costa, DIAS, Carmen Gilda Barroso Tavares, et FARIA, José de Assis Fonseca. (2010). Production et évaluation de polymères recyclés à partir de fibres d'açaï..v .13, p. 159-163.
- [4]: Kusić, D., Božič, U., Monzón, M., Paz, R. et Bordón, P. (2020). Caractérisation thermique et mécanique de composites renforcés de fibres de bananier pour son application en moulage par injection. *Matériaux*, 13 (16),3581.
- [5]: Jabri, M., Oulidi, O., Loulidi, I., Amar, A., Kali, A. et Boukhelifi, F. (2022). Valorisation des déchets de glands comme renfort dans les composites de polystyrène : une étude comparative. Dans *Intelligence artificielle des objets pour une gestion intelligente de l'énergie verte* (p. 213-224). Cham : Éditions Springer International.
- [6]: Baştürk, SB, Kanbur, K., Polatoğlu, İ.,Yürekli, Y. (2015). Propriétés mécaniques des composites polymères remplis de glands et de pommes de pin. *Journal américain de recherche scientifique pour l'ingénierie, la technologie et les sciences*, 14 (2), 144-153.
- [7]: José CK de VerneyM F Santos LD Maria Lenz. (2008). Propriétés des composites SBS et fibres de sisal : matériau écologique pour la fabrication de chaussures
- [8]: Bachtiar, D., Salit, M. S., Zainuddin, E., Abdan, K., Dahlan, K. Z. H. M. (2011). Effects of alkaline treatment and a compatibilizing agent on tensile properties of sugar palm fibre-reinforced high impact polystyrene composites. *BioResources*, 6(4), 4815-4823.
- [9]: Boussehel H. (2018). Etude des moyens de stabilisation des composites à base de polystyrène (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [10]: Boumerdassi, K. (2008). Elaboration et caractérisation d'un composite biodégradable à matrice thermoplastique et renfort polysaccharides (Doctoral dissertation, Université M'hamed

Bougara Boumerdes, Faculté des Sciences de l'Ingénieur).

[11]: Costa IL, Pereira PH, Claro AM, et al. (2023) .stylo d'impression 3D issu de la valorisation des résidus de pomme de pin comme renfort en acrylonitrile butadiène styrène (ABS) : Microstructure et propriétés thermiques. Journal des matériaux composites thermoplastiques .36(2), p.535-554.

[12] : Karavana, HA, Candas, AZA, Bakiler, G., akpolat, F., erdoğan, F., yilmaz, O., Seydibeyoglu, MO . (2017). L'utilisation de charges végétales comme matériau de renforcement dans les bio-composites à base de SBR. Annales de l'université d'oradea fascicule des textiles, maroquinerie , p.161-166.

[13] : José, C. Krause D Maria L.(2008). Properties of SBS and sisal fiber composites: Ecological material for shoe manufacturing

[14]: Béninia, KCCC, Voorwald, HJC, & Cioffi, MOH .(2011). Propriétés mécaniques des composites HIPS/fibres de bagasse de canne à sucre après vieillissement accéléré. Ingénierie Procedia ,10,3246-3251.

[15] : Missoum, A.A.(2022). Etude de l'effet de différentes techniques de préparation sur les propriétés des matériaux composites biosourcés (Doctoral dissertation).

[16] : Carvalho, KC, Mulinari, DR, Voorwald, HJ et Cioffi, MO .(2010). Effet de la modification chimique sur les propriétés mécaniques des composites hanches/fibres de coco. Bioressources .

[17]: Borba, P. M., Tedesco, A., & Lenz, D. M.( 2014). Effet de l'ajout de nanoparticules de renforcement sur les propriétés mécaniques des composites de fibres SBS/Curauá. Recherche sur les matériaux,17, p. 412-419.

---

# **Chapitre IV**

## **Partie expérimentale**

---



## Objectif

L'objectif de ce chapitre est de présenter les matériaux qui ont été utilisés pour la réalisation des composites à base d'un copolymère polystyrène choc, et la fibre de gland. On y a décrit, également, les techniques d'élaboration utilisées et présenté par la suite les principales techniques de caractérisation des matériaux préparés.

Notre méthodologie de travail comporte une première étape qui est le traitement de surface des fibres gland par NaOH afin d'augmenter l'affinité des fibres pour la matrice. Par la suite, nous avons procédé à l'élaboration des composites HIPS/fibres gland.

La caractérisation des matériaux, ainsi réalisés, a été effectuée, essentiellement, par l'étude des propriétés mécaniques l'essai de traction, test d'absorption et enfin par les analyses structurales en utilisant l'analyse infrarouge à transformé de Fourier (IRTF).

### IV.1. Les matériaux utilisés (HIPS, fibre naturelle)

Dans cette étude, nous avons utilisé deux composants essentiels :

#### IV.1.1. La matrice polystyrène choc (HIPS) :

Le HIPS utilisé dans cette étude est un polystyrène choc (High impact polystyrène) c'est un copolymère à greffons issu du greffage de polybutadiène au cours de la polymérisation du styrène.

**Tableau IV. 1** : Les caractéristiques du HIPS

Thermiques	
Température Vicat (50N) (montée en température=50°C/h).....(°C)	89
Température de fléchissement sous charge (1,8 MPa recuit)... ..(°C)	85
Coefficient de dilatation linéaire ..... (mm/°C)	80
Mécaniques	
Choc Charpy entaillé ..... (kJ/m <sup>2</sup> )	17
Allongement à la rupture..... (%)	40
Contrainte à la rupture (en traction) ..... (MPa)	26

**IV.1.2. Les fibres de gland.**

Les glands proviennent du village Tifritine commune de Feraoun Wilaya de Bejaia. Ils ont été cueillis manuellement et au hasard dans différents champs et différents arbres en mois de décembre.

**IV. 1.3. Les produits chimiques utilisés**

**Tableau IV. 2 :** Présente les produits chimiques utilisés dans ce travail.

<b>L'acide acétique</b>	<b>L'hydroxyde de sodium</b>
<p>L'acide acétique est un produit fourni par Biochem-Chemopharma</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Formule chimique: <math>C_2H_4O_2</math></li><li>• Mw = 60.04 g/mol</li><li>• Densité (à 20°C) : 1.0480 à 1.051</li><li>• Point de cristallisation °C: 16.3 °C</li></ul>	<p>La soude est un produit fourni par Biochem-Chemopharma</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Formule chimique: NaOH</li><li>• Mw = 40 g/mol</li></ul>

## IV. 2. Organigramme de la partie expérimentale

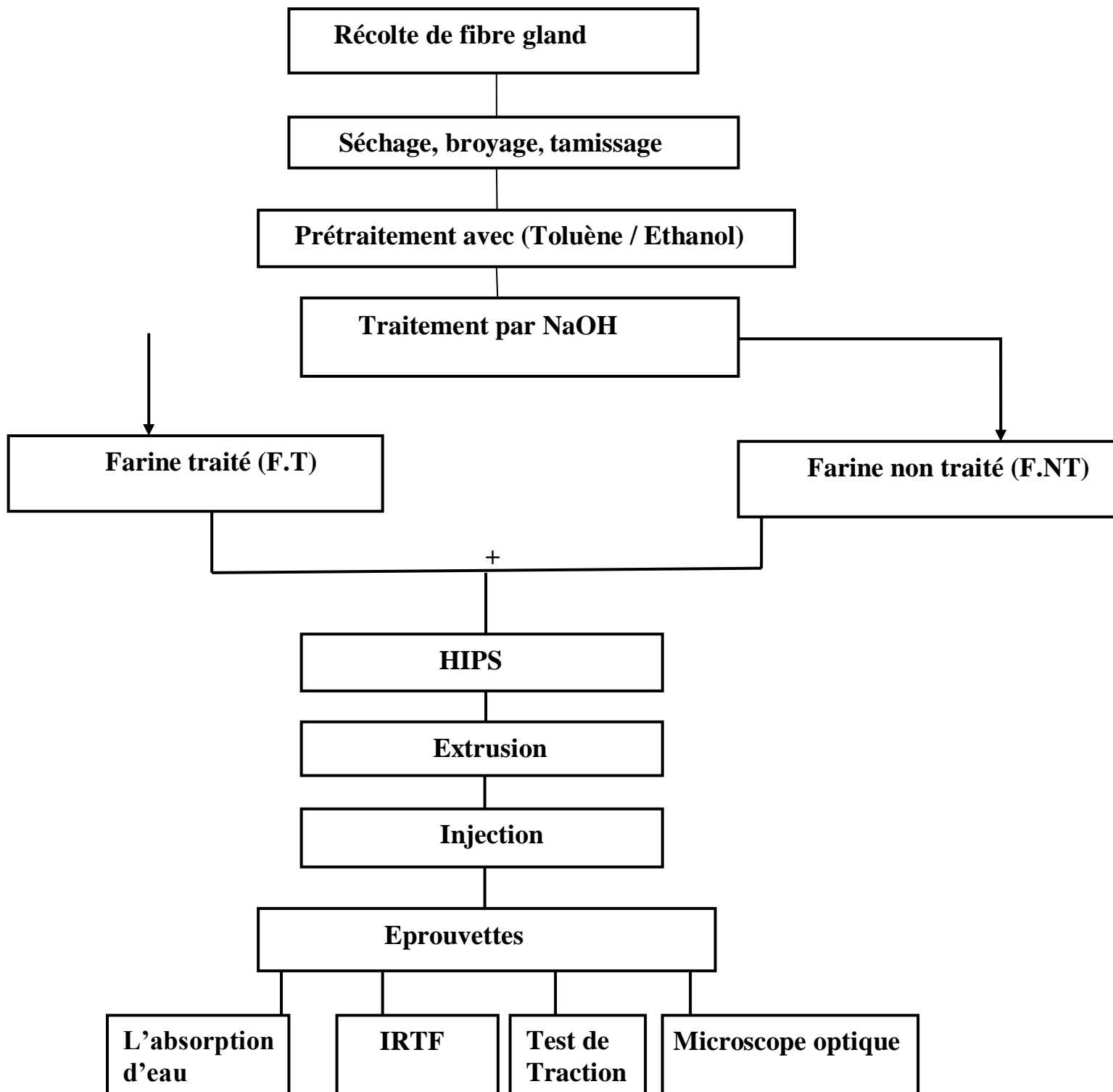


Figure IV.1. Organigramme représentatif des étapes de partie expérimentale

### IV. 3. Méthode

#### IV. 3.1. La préparation des fibres du gland

On procède à un traitement physique pour la fibre qui est :

- a. Séchage :** Il existe plusieurs méthodes pour faire sécher le péricarpe gland : en les posant au soleil durant plusieurs semaines, ou en les mettant à l'étuve à la température la plus basse jusqu'à ce qu'ils soient secs.
- b. Broyage :** après le séchage, mixer très finement les péricarpes des glands à l'aide d'un petit robot.
- c. Tamissage :** Le traitement se finit par le tamissage utilisant un tamis (50<100), la quantité obtenue est d'une masse de 200 g qui est conditionnée dans une boîte bien fermée.

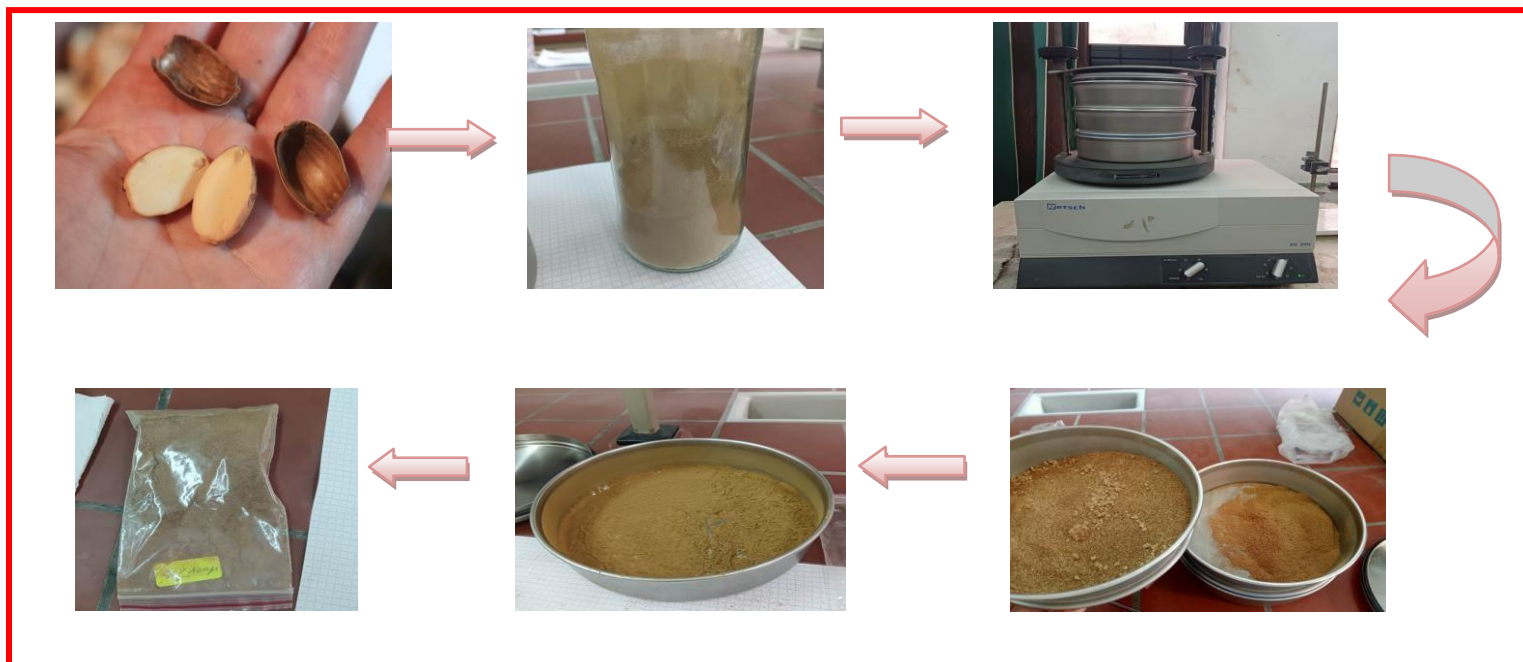
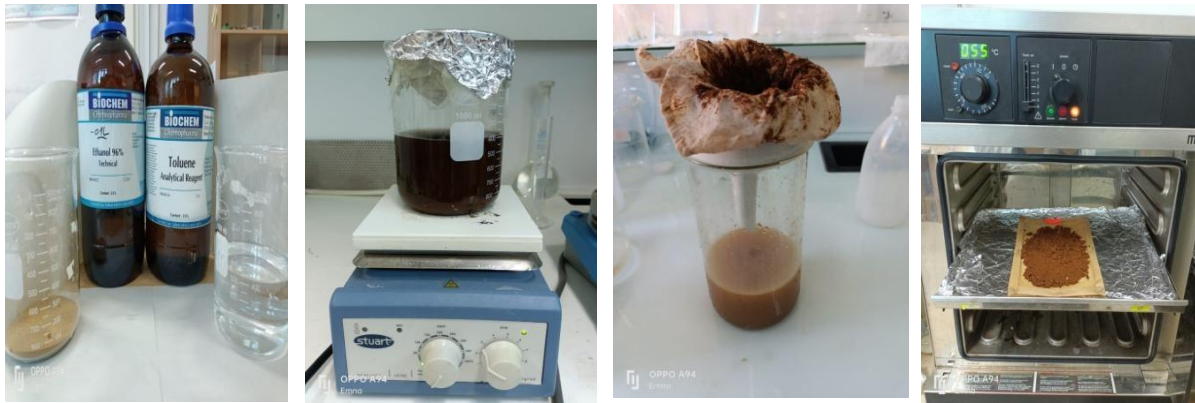


Figure IV.2. Les étapes de préparation de la poudre

#### IV.3.2. Le prétraitement des fibres du gland :

La farine a subi un prétraitement par lavage dans une solution Toluène/Ethanol (2/1) (v/v) (300 ml / 150 ml), avec agitation pendant 24 heures à la température ambiante. La farine récupérée a été lavée avec l'eau distillée, puis séchée dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures.



**Figure IV.3.** Le prétraitement des fibres du gland

### IV.3.2. Le traitement des fibres gland :

Différents traitements (physiques, chimiques et physicochimiques) ont été effectués pour modifier les propriétés de surface des fibres naturelles. Parmi ceux-ci, le traitement alcalin. Le processus d'alcalinisation affecte les fibres naturelles et apporte une nette performance vis à vis la qualité de l'adhérence fibre-matrice. Ce traitement augmente la surface de contact fibre/résine. Certains auteurs préconisent que cette amélioration est due à l'élimination des composés non cellulose (couches cuticules cireuses, huiles et impuretés) de la surface. Ainsi, il conduit à une amélioration de la liaison interfaciale entre la fibre et la matrice. Le traitement alcalin est souvent pratiqué pour extraire la lignine résiduelle, l'hémicellulose, et à éliminer les impuretés naturelles et artificielles. Il permet aussi de promouvoir la fibrillation des faisceaux. La concentration de l'alcali, la température et le temps de traitement des fibres sont des paramètres essentiels du processus de traitement. L'optimisation de ces paramètres contribue à l'amélioration des propriétés mécaniques du matériau composite.

#### IV.3.2.1. Le traitement chimique des fibres du gland :

##### ► La modification des fibres de gland par NaOH

Le traitement a été réalisé par la farine obtenue qui a été immergée dans une solution de NaOH (0,5 N) pendant un temps de (48h) à température ambiante.

Après le traitement, un lavage de la farine avec de l'eau distillée a été effectué plusieurs fois, puis une neutralisation avec une solution d'acide acétique pendant 30 min à la température ambiante.

Ensuite, un lavage avec de l'eau distillée. Enfin la farine a été séchée à 60 °C pendant 48 heures.



Figure IV.4. Le traitement des fibres du gland par NaOH

**IV.3.4. Détermination de la densité de la fibre gland**

Pour déterminer la densité de la fibre gland, on a utilisé la méthode pycnométrique. Cette dernière est expliquée brièvement dans les étapes suivantes :

- ✓ Peser le pycnomètre sur la balance, faire le zéro (M<sub>1</sub>)
- ✓ Remplir le pycnomètre de l'eau distillée jusqu'au borne puis peser son volume (M<sub>2</sub>)
- ✓ Vider le pycnomètre de l'eau et y placer la fibre, ensuite peser le lot (M<sub>3</sub>)
- ✓ Compléter le remplissage du pycnomètre avec le l'eau et peser l'ensemble eau + la fibre (M<sub>4</sub>).

$$M_4 = M_3 \text{ (masse échantillon)} + M_2 \text{ (masse de l'eau)}$$

M<sub>1</sub> :18.21

M<sub>2</sub> :27.17

M<sub>3</sub> :20.06

M<sub>4</sub> :28.01

**-Calcul de la densité :**

Pour mesurer la masse volumique d'un solide ( $\rho_s$ ), il nous faut de connaitre la densité relative, a partir les équations 1 et 2 on a

$$D_{\text{relative}} = \frac{s}{\rho_{\text{eau}}} \dots\dots\dots \text{(IV.1)}$$

$$D_{\text{relative}} = \frac{(M_3 - M_1)}{(M_2 + M_3 - M_4 - M_1)} \dots\dots\dots \text{(IV.2)}$$

$$D_{\text{relative}} = \frac{(20.06 - 18.21)}{(27.17 + 20.06 - 28.01 - 18.21)} = 1.83 \text{g/cm}^3$$

On a  $\rho_{\text{eau}} = 0.997 \text{ g/cm}^3$

A partir d'équation 1 on a :  $\rho_S = D_r * \rho_{\text{eau}} \Rightarrow \rho_S (1.83 * 0.997) = 1.82 \text{ g/cm}^3$

#### IV. 3.5. La préparation des composites (HIPS/PA)

Les composites de polystyrène choc (HIPS) renforcé de fibres gland ont été produits avec différents taux (10, 20 et 30 % en poids), les mélanges à différentes proportions massiques ont été soigneusement préparés par pesée et placés dans une étuve à 40°C pendant 8 heures.

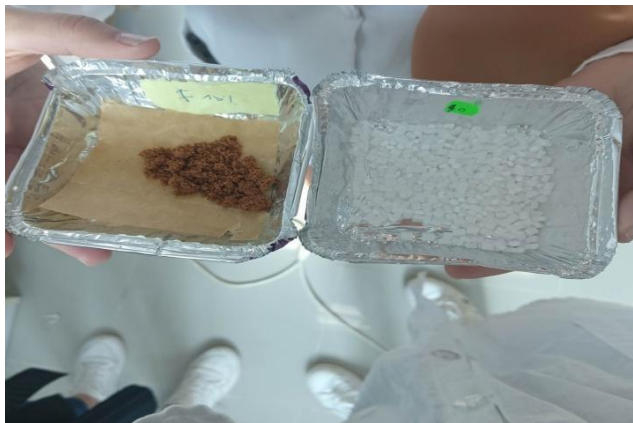


Figure IV. 5. La préparation des composites

#### IV. 3.6. La préparation des éprouvettes

La préparation des échantillons biocomposites à été réalisée par voie fondue en utilisant une extrudeuse bis-vis de type micro15cc Twin Screw Compouder. Les éprouvettes ont été produites à partir des différents composites à fibres traitées et non traitées, Les conditions de manipulation sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 2: Les conditions opératoires de l'extrusion des biocomposites.

<b>Vitesse de rotation (Tr /min)</b>	<b>50</b>
<b>Température de fusion (°C)</b>	<b>180</b>



**Figure IV. 6.** Le moule utilisé pour injecter les microéchantillons



**Figure IV. 7.** L'extrudeuse bis-vis de type 15cc Twin Screw Compounder

A la fin on récupère l'extrudat (composites) à la sortie d'extrudeuse (filière), ensuite ce dernier est mis en forme à l'aide d'une mini-press injection dans les mêmes conditions pour un produit final on échantillon d'une Norme.



**Figure IV. 8.** L'image des échantillons obtenus

#### IV.4. L'analyse structurale des composites

##### IV. 4.1. Spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Le principe de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) repose sur l'interaction entre la composante électrique de la radiation incidente avec les moments dipolaires des groupements chimiques constituant l'échantillon. Chaque bande du spectre d'absorption est caractéristique d'un mode de vibration.



#### IV.4.2. L'essai de traction

Les essais mécaniques de traction, menés sur les différents types d'éprouvettes, sont réalisés à température ambiante sur une machine de traction /compression Zwick- Roell de type Z050 (Figure 11) au niveau du Laboratoire des matériaux non métalliques (LMNM) (Institut d'optique et de mécanique de précision, Université Ferhat Abbas). La machine d'essai est équipée d'une cellule de force de 10900 N et elle est couplée au logiciel d'acquisition. La vitesse de traverse étant constante, fixée dans l'essai de traction à 1 mm/mn .Cet essai consiste à appliquer une déformation (étirement) à vitesse constante à un échantillonnet à mesurer la force résultante jusqu'à la rupture du matériau.

- la contrainte  $\sigma$  exprimée en MPa: elle correspond à la force mesurée (N) rapportée à la section de l'éprouvette :

$$\sigma = F / S \dots\dots\dots (IV.3)$$

Avec

F : force en newton (N)

S : section de l'éprouvette : épaisseur  $\times$  largeur (mm<sup>2</sup>)

- la déformation  $\varepsilon$  (sans unité) : elle correspond au rapport entre le déplacement et la longueur de référence :

$$s = \Delta l / l_0 = l - l_0 / l_0 \dots\dots\dots (IV.4)$$

Avec

l : déplacement (mm)

l<sub>0</sub> : longueur de référence (mm)

- le module de Young E (MPa) : il correspond à la pente dans la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation pour les faibles déformations :

$$E = \sigma / s \dots\dots\dots (IV.5)$$

#### IV. 4.3. Le test d'absorption d'eau

Une série d'échantillons a été prélevée dans chacune des plaques de composites afin de mesurer les cinétiques d'absorption d'eau.

Elle consiste à suivre l'évolution de masse des échantillons au cours du temps, mesurée à intervalle régulier sur une période 2 mois.

Au moment de la mesure de masse, les échantillons sont sortis du bain et légèrement essuyés à l'aide d'un papier absorbant pour éliminer la pellicule d'eau présente en surface, Les échantillons sont alors pesés et à nouveau immergés.

Une balance dotée d'une précision à 0,001 mg est utilisée pour ces mesures, nécessaires au calcul de la teneur en eau.

Après différentes durées d'immersion, les caractéristiques liées à l'absorption d'eau des composites sont déterminées par le pourcentage en masse d'eau absorbée  $M_t$  défini par l'équation :

$$M_t = \frac{(W_t - W_0)}{W_0} \times 100\% \dots\dots\dots (IV.6)$$

$W_0$  est la masse de l'échantillon non vieilli (avant l'immersion dans l'eau) à  $t = 0$

$W_t$  est la masse de l'échantillon vieilli (après l'immersion dans l'eau) à l'instant  $t$ .

#### IV .5. L'observation microscopique

Les observations microscopique ont été effectuées à l'aide d'un microscope optique de type Karl Zciss Axiovert 40 Mat à agrandissements 200 fois du laboratoire de microbiologie de l'université de Bejaia.



**Figure IV.9.** La microscopie optique à utilisé

Nous permet de visualiser la surface de la fibre gland traité et non traité permet également de distinguer l'effet du traitement.

---

# **Chapitre V**

## **Résultats et discussions**

---

Dans ce chapitre, les résultats expérimentaux obtenus des différents tests effectués, seront présentés et interprétés, nous discutons l'évolution des caractéristiques mécaniques (traction), physique (absorption) et caractérisation structurel par l'analyse spectroscopique et microscopie optique des différents composites.

### V.1. L'interprétation des résultats du test de traction:

► Les Figures 1 et 2 montrent les résultats des essais mécaniques de traction.

La Figure 1 et 2, présentait la résistance à la traction des biocomposites HIPS, les résultats ont indiqué que l'ajout de 10 à 30% en poids de fibre de gland non-traitée ou traitée a légèrement diminué la résistance à la traction des composites HIPS/gland par rapport au HIPS pur (0% de charge).

On constate que pour le composite à 30 % de fibres, la résistance moyenne à la traction est de 28 N/mm<sup>2</sup> ; il est inférieur d'environ 36 % à celui du HIPS pur. Des résultats similaires ont été trouvés par Antich et al. où l'ajout de fibres courtes de sisal de 5 à 25 % en poids dans le HIPS a diminué les valeurs de résistance à la traction.

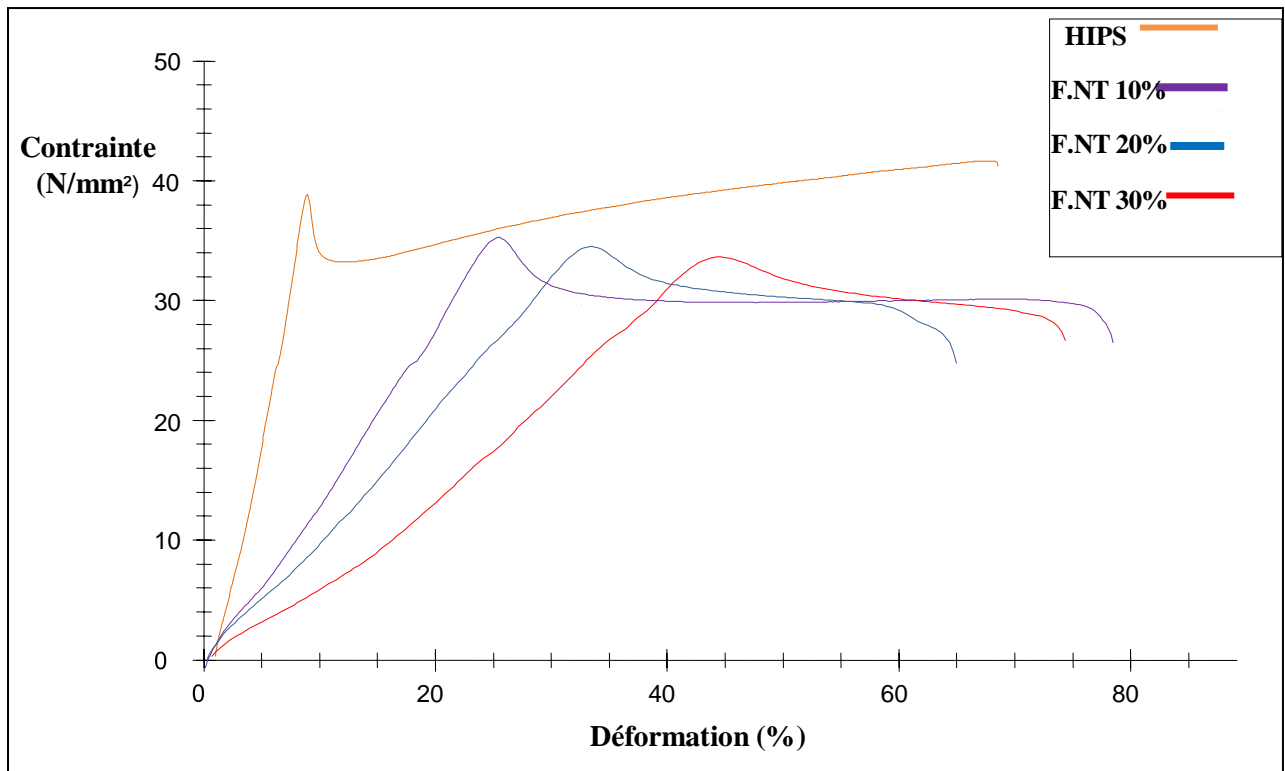
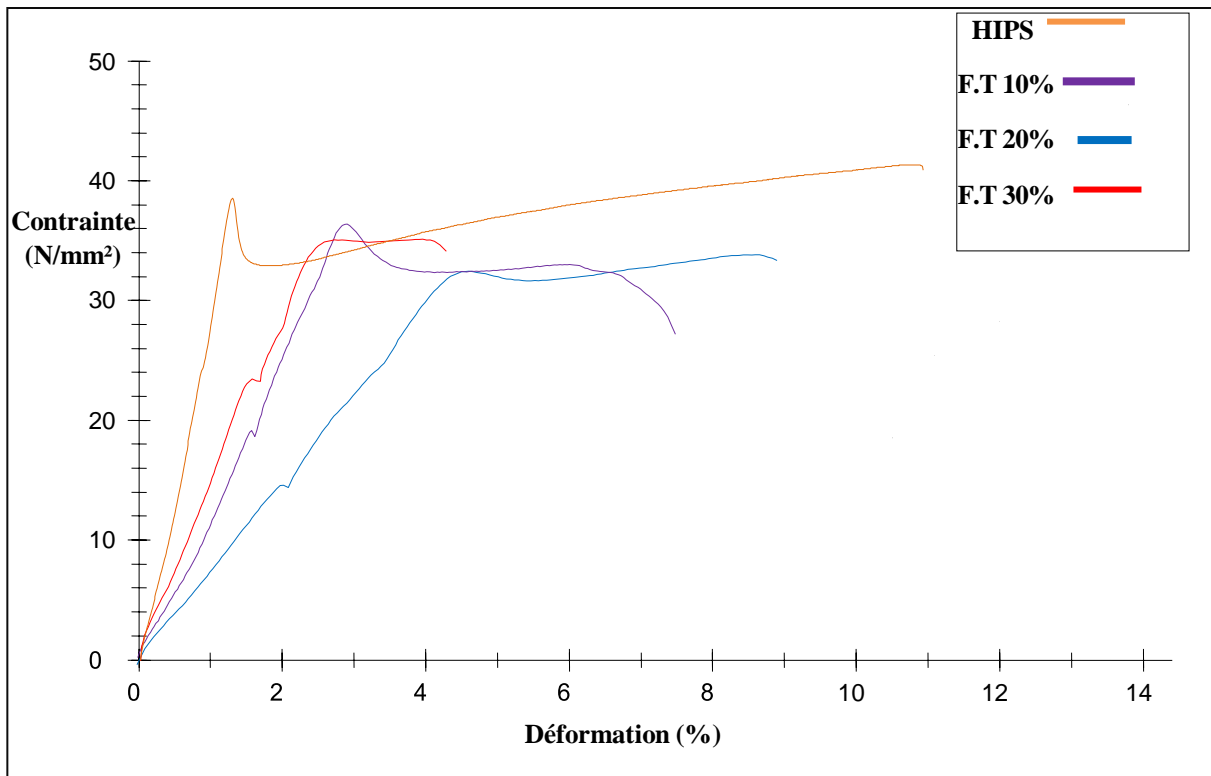


Figure V. 1. La résistance à la traction de HIPS et les biocomposites à différent taux de fibre non- traitent(F.NT)



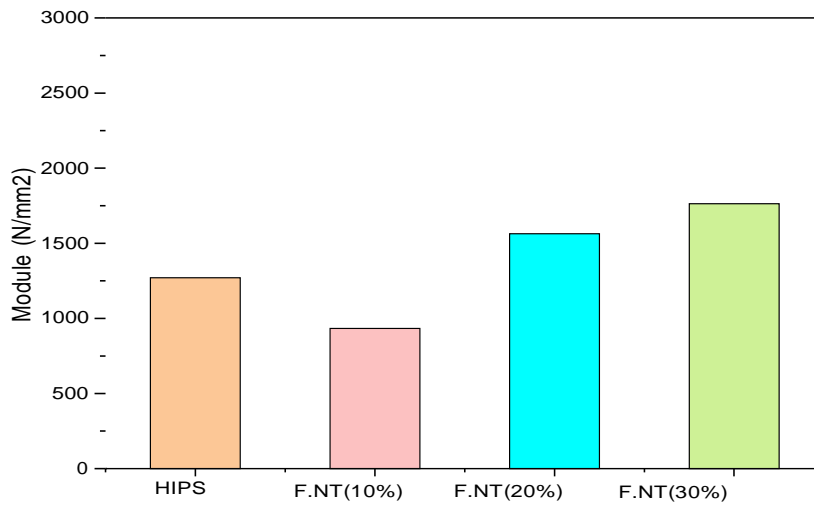
**Figure V. 2.** La résistance à la traction de HIPS et les biocomposites à différent taux de fibre traitent(F.T)

► **La figure 3** présente le module de traction des composites HIPS/Gland à différentes charges de fibres.

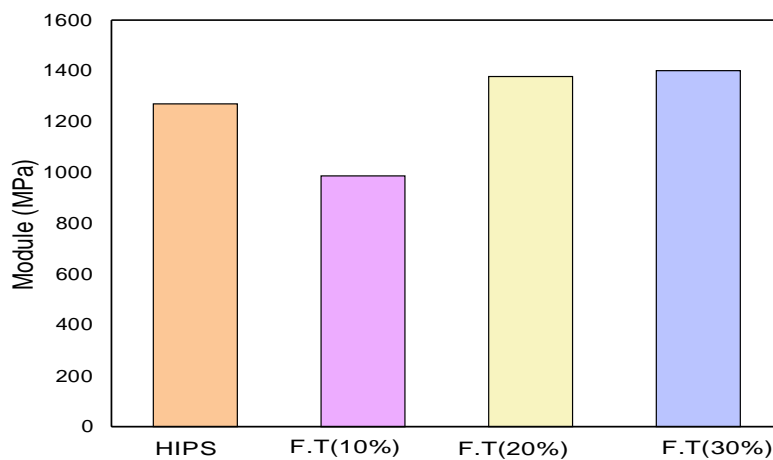
Comme on peut l'observer, sur la Figure 2, le module de traction augmente progressivement avec l'augmentation de la teneur en fibres. On peut voir que la valeur maximale du module de traction était de 1400 N/mm<sup>2</sup> à une teneur en fibres traitées de 30 %, l'ajout de fibres jusqu'à 30 % dans la matrice HIPS augmente la rigidité des composites.

Nous pouvons conclure que la diminution des valeurs de résistance à la traction résulte de la faible interface fibre-matrice en raison des polarités différentes des fibres hydrophiles et de la matrice HIPS hydrophobe, et cela pourrait être dû à l'efficacité différente du traitement alcalin et au comportement du matrices en termes de couplage fibre-matrice et de répartition de la fibre dans la matrice polymérique, lors du processus d'injection, du fait de la formation de faisceaux de fibres, mais aussi du niveau de viscosité de chaque polymère et de l'origine biologique de la fibre.

Ainsi l'augmentation de la rigidité est associée au renforcement des fibres au détriment de la résistance à la traction et de la ductilité.



**Figure V. 3.** Le module de traction en fonction de taux de la fibre gland non-traité (F.NT)



**Figure V. 4.** Le module de traction en fonction de taux de la fibre gland traité (F.T)

## V.2. L'interprétation des résultats du test d'absorption d'eau

L'absorption d'eau de différentes compositions en fonction de la période d'immersion dans l'eau après 40 jours est présentée dans la figure 5.

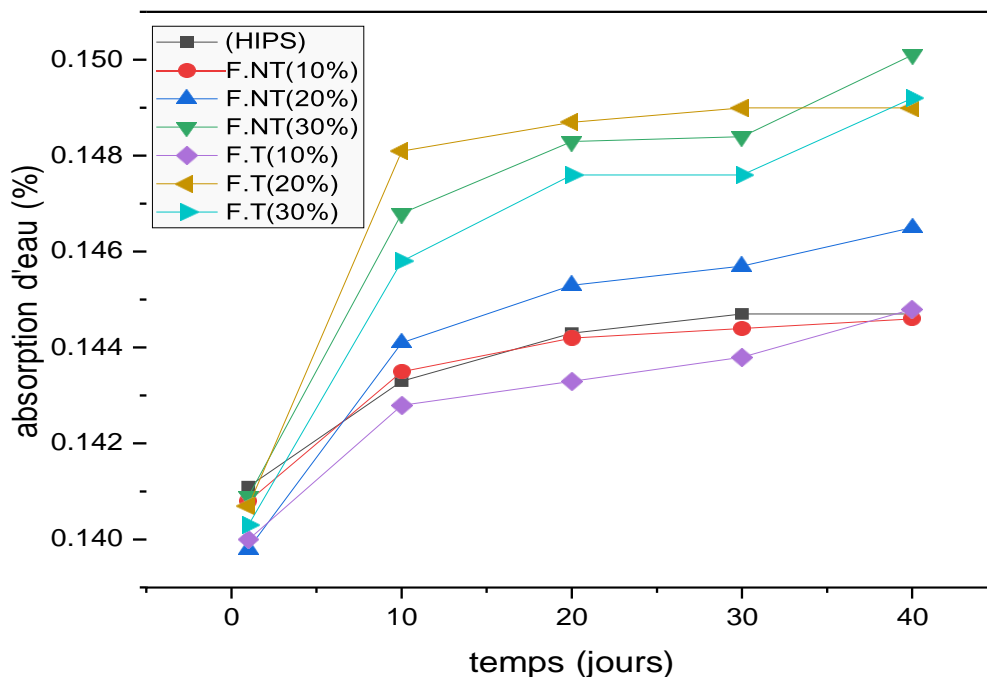
⇒ Généralement, l'absorption d'eau augmente avec le temps d'immersion, atteignant une

certaine valeur au point de saturation où plus aucune eau n'a été absorbée et la teneur en eau des composites est restée constante. Le temps nécessaire pour atteindre le point de

saturation n'était pas le même pour toutes les formulations. Les HIPS ont montré un temps de saturation plus élevé que ceux des biocomposites de HIBS / gland. Cela était dû à faible interaction de la l'eau avec la nature de polymère (HIPS).

⇒ Une absorption d'eau rapide a été observée pour tous les composites binaires dans les 10 premiers jours d'immersion. l'absorption d'eau pour les HIPS est généralement de 0,2 % après 40 jours, et pour les composites HIPS/gland, elle est de 4 à 5 % après 10 jours et jusqu'à 6 à 8 % après un mois.

Ce résultat pourrait s'expliquer par la composition chimique de la fibre elle-même, car la fibre de gland contient un contenu hydrophile (cellulose et hémicelluloses). La cellulose et les hémicelluloses sont principalement responsables de la forte absorption d'eau des fibres naturelles, car elles contiennent de nombreux groupes hydroxyles accessibles. De plus, une mauvaise adhérence entre les particules de fibres et la matrice polymère génère des espaces vides autour des particules de fibres. Ceux-ci conduisent à une plus grande absorption d'eau dans les biocomposites.



**Figure V. 5.** La quantité d'absorption d'eau de composite à différentes taux de la fibre



### V.3. L'interprétation de l'analyse par spectroscopie infrarouge

#### V.3.1. Le spectre infrarouge des fibres gland

La figure montre le spectre infrarouge de la fibre gland traité, on a observé des nouveau pic caractéristiques de la fibre après le traitement chimique par le NaOH, comment il est montre dans la figure

- On observe a 1020  $\text{cm}^{-1}$  une bande intense correspond à la vibration de déformation des liaisons C-O-C de la hemicellulose et cellulose.
- Les faibles de 1200 et 1160  $\text{cm}^{-1}$  corresponde à C-O élongation d'anti symétrique de l'élongation de cellulose et l'hemicellulose.
- Entre 1450 et 1400  $\text{cm}^{-1}$  deux bondes fine correspond à la vibration de déformation de liaison C-H asymétrique de groupement OCH<sub>3</sub> et CH<sub>2</sub> de l'hemicellulose.
- Une large bonde à 3412  $\text{cm}^{-1}$  correspond à l'élongation et vibration de liaisons O-H intermoléculaire de cellulose et l'hemicellulose.

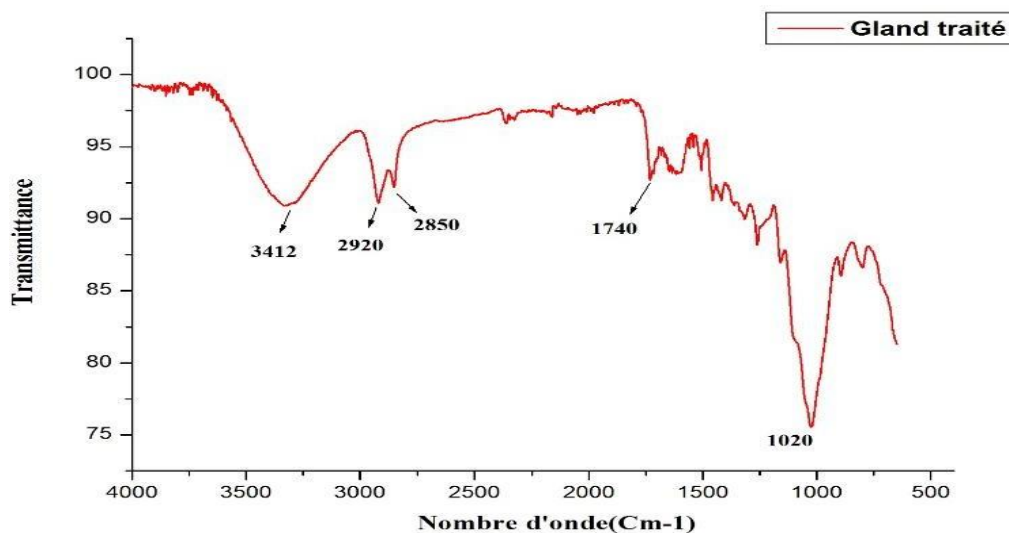
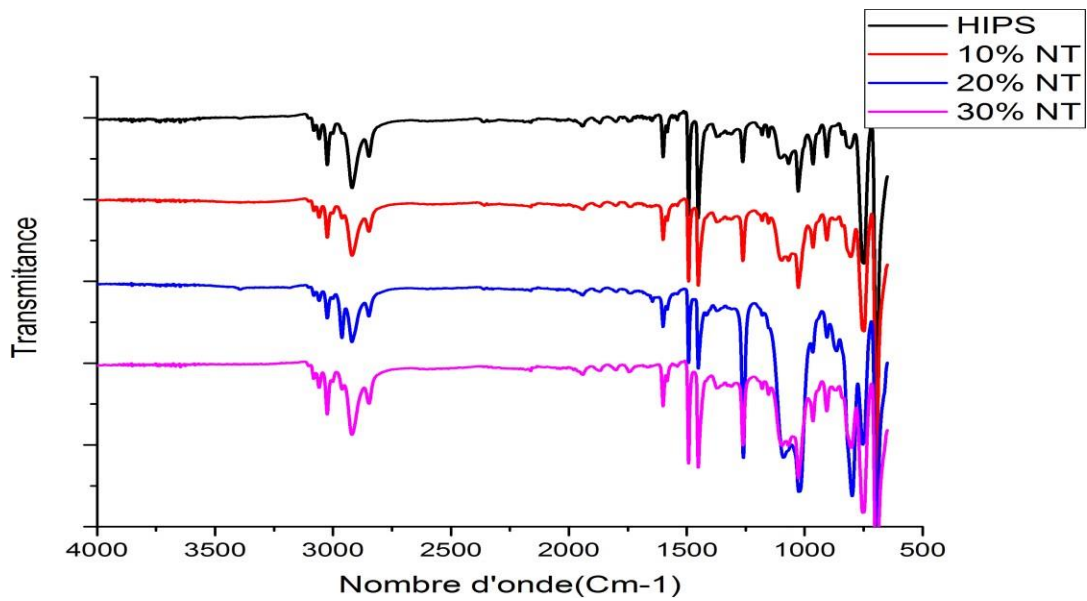


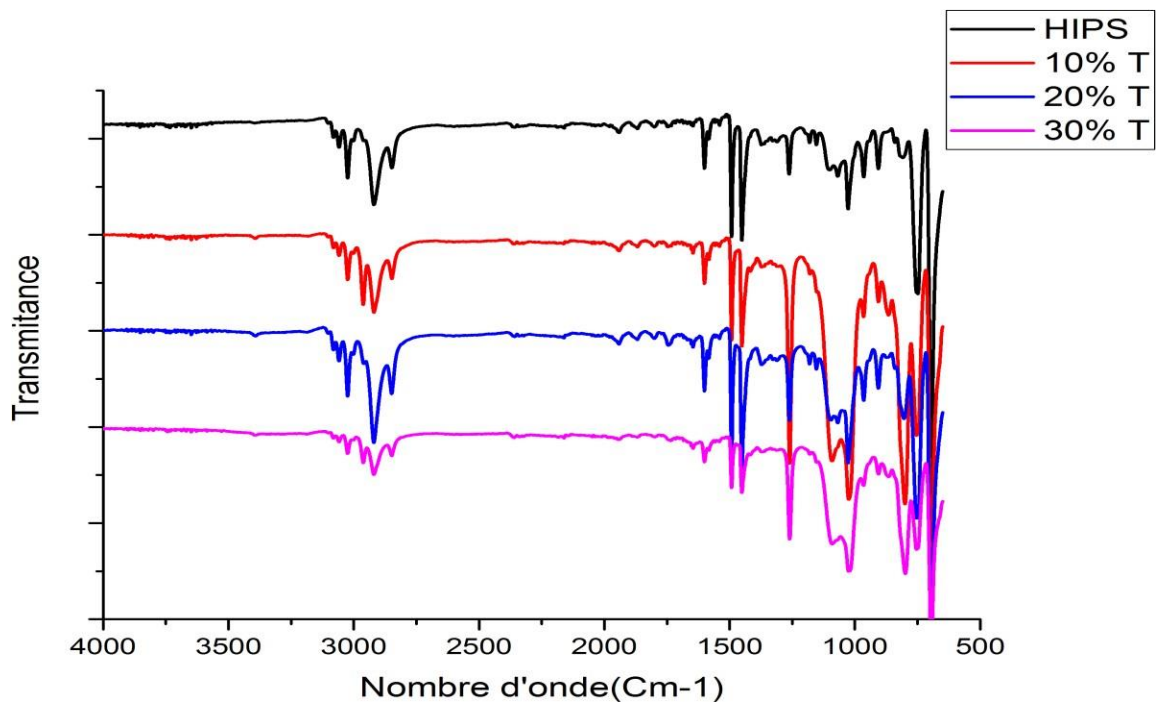
Figure V.6. Le spectre infrarouge des fibres gland

#### V.3.2. Le spectre infrarouge des biocomposites et du HIPS

La Figure 7 et 8 montre les spectres ATR – FTIR des biocomposite HIPS vierge et HIPS/ péricarpe de gland, ces spectres sont focalisés dans la région spectrale entre 4000 et 500  $\text{cm}^{-1}$



**Figure V.7.** Le spectre IRFT de HIPS et les biocomposites non-traité (F.NT)



**Figure V.8.** Le spectre IRFT de HIPS et les biocomposites traité (F. T)

Les biocomposites /HIPS à 70% non-traité et traité montrons :

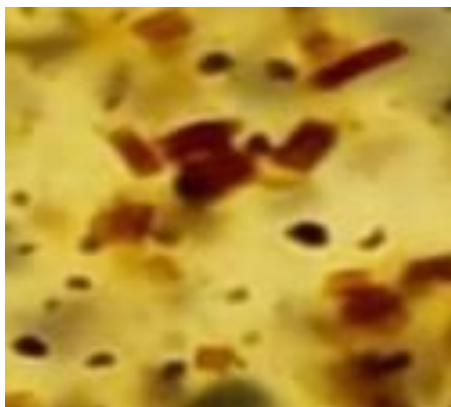
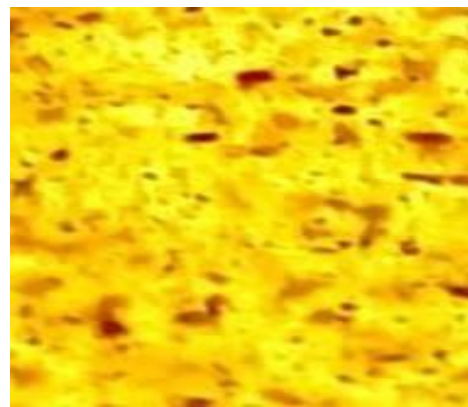
- Après la modification chimique de la fibre, on observe la diminution du pic situé vers 3338cm-1 groupe OH attribuée à la possibilité d'interaction entre la matrice polymérique HIPS et la fibre de gland.

- La diminution de l'intensité des pics entre 900 et 1000  $\text{cm}^{-1}$  de spectre HIPS/fibre traité indiquent l'effet efficace du traitement chimique de la fibre dans la modification des interactions de la biocomposites.

Tous les pics qui ont été disparaitre de biocomposites indiquent la présence des interactions entre HIPS et la fibre.

#### V.4. L'interprétation de l'analyse par microscopie optique

L'observation microscopique des fibres après le traitement par NaOH nous notons qu'il n'y a une différence significative dans l'amélioration de la surface des fibres, nous remarquons dans la fibre non-traité il ya un regroupement de renfort appelé des aggloméra, et pour les fibres traité nous remarquons qu'il ya une bonne disparition de notre renfort sur la matrice, parceque sont diamètres inférieure aux diamètres des fibres non-traité et leur rugosité de surface et réduire du fait de la dissolution partielle des parties des fibres dans la matrice.

**A****B**

**Figure V.9.** L'analyse microscopie optique des fibres de glands **A** : non-traité et **B** : traité

---

## **Conclusions**

---

Dans ce travail nous avons procédé à la récupération de déchets polymériques issus des équipements électrique et électroniques hors d'usage. Sachant que l'un des composants de ces équipements est de HIPS, nous avons choisi de le rajouter des de fibres glands pour ces (D.E.E.E.) pour la réalisation des mélanges afin d'améliorer les performances des composites et notamment réduire le risque du plastique sur l'environnement.

Ce biocomposite a analysées par divers outils et techniques de caractérisation qui présentent valorisation des déchets de glands comme renfort en composite polystyrène choc.

Sur la base des résultats obtenus, nous avons tiré les principales conclusions suivantes :

- L'analyse par spectroscopie IRTF des biocomposites (HIPS/fibre gland ) indique une intercalation possible de l'PG avec le polystyrène illustré par la disparitions des groupement et apparitions des nouveau groupement .
- Les échantillons obtenus présentent une adhésion entre la fibre de gland traité à 20% et 30% mise en évidence par les résultats de microscope optique.
- L'essais mécanique de test de traction, ont montré une amélioration de la rigidité des composite renforcé par PG, la résistance à la traction et le module des bio-composites (HIPS/fibre gland) ont augmentés avec l'ajout de 10% ; 20% ; 30% de la fibre traité.
- L'absorption d'eau des composites de déchets péricarpe de gland et de HIPS recyclés a été étudiée. Ce dernier nécessaire pour atteindre le point de saturation n'était pas le même pour toutes les formulations, telle que les HIPS ont montré un temps de saturation plus élevé que ceux des biocomposites de HIBS / gland, car la fibre de gland contient un contenu hydrophile (cellulose et hémicelluloses).

## Résumé

Dans cette étude, nous avons étudié l'effet du péricarpe de gland avec différents pourcentages sur les propriétés structurales, mécaniques et physiques du polystyrène choc (HIPS) recyclé à partir de déchets d'équipements électriques et électroniques. Les bio-composites (HIPS/PA) ont été caractérisés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour l'évaluation structurale, le test de traction mécanique, et d'absorption d'eau afin d'estimer leur résistance à la charge et à l'environnement respectivement. Les résultats obtenus par FTIR ont montré l'apparition des groupes de bandes OH de la cellulose et de l'hémicellulose, et la disparition de certains pics dans le spectre des composites. Les résultats de traction ont démontré que l'ajout de différents taux de charge de fibres PA au HIPS entraîne une diminution de la résistance à la traction tandis que la rigidité (module) augmente progressivement avec le pourcentage en poids de fibres PA dans les composites HIPS/PA. L'absorption d'eau (%) des composites a augmenté avec l'augmentation de la charge des fibres dans le composite.

**Mots clés :** composites HIPS/Fibre gland, propriétés mécaniques, spectroscopie FTIR-ATR, l'absorption d'eau.

## Abstract

In this study, we investigated the effect of acorn pericarp with different percentages on the structural, mechanical and physical properties of high impact polystyrene (HIPS) recycled from waste electrical and electronic equipment. The biocomposites (HIPS/PA) were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) for structural evaluation, mechanical tensile testing, and water absorption to estimate their load resistance and to the environment respectively. The results obtained by FTIR showed the appearance of OH band groups of cellulose and hemicellulose, and the disappearance of certain peaks in the spectrum of the composites. Tensile results demonstrated that adding different PA fiber loading ratios to HIPS resulted in a decrease in tensile strength while stiffness (modulus) gradually increased with weight percentage of PA fibers in HIPS composites. /PA. Water absorption (%) of composites increased with increasing fiber loading in the composite.

**Key words:** HIPS/Fiber acorn composites, mechanical properties, FTIR-ATR spectroscopy, water absorption