

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de Génie des procédés

## Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie  
Filière : Génie des Procédés  
Spécialité Génie Des Polymères

*Elaboration et caractérisation de matériaux composites à  
base de Polypropylène et fibres de bambou*

*Réalisé par :*

*AZERRADJ Thiziri*

*KHALDI Yasmina*

*Soutenu le*

*03/07/2022*

*Devant un jury composé de :*

Dr Idris ZEMBOUAI  
Dr Lynda ZAIDI  
Dr Mohamed SAHNOUNE

Encadrant  
Présidente  
Examinateur

## Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du Laboratoire des Matériaux Polymères Avancés (LMPA) encadré par le **Docteur ZEMBOUAI Idris**.

On tient à lui exprimer toutes nos reconnaissances pour son encadrement de qualité, pour son temps et pour les précieux conseils et orientations qu'il nous a prodigués.

On remercie les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.

On tient à remercier le **Professeur MEKHLLOUFI** pour nous avoir permis d'utiliser son ph mètre.

Merci à toute l'équipe du laboratoire des matériaux Polymères Avancés(LMPA) en particulier Dr.ZAIDI Lynda ,Dr .TOUATI Naima aux doctorants Brahim et Amel. Sans oublier notre reconnaissance pour toutes personnes qui nous a aider à effectuer notre travail parmi eux :

-Le directeur du laboratoire de Sétif de nous avoir ouvert les portes du laboratoire pour préparer les formulations et de faire les tests de choc.

-Le directeur de l'université de Boumerdes de nous avoir accueilli pour faire les tests de traction

-A tous les profs de la spécialité génie des polymères

Nos plus chaleureuses pensées vont à nos familles et nos amis qui ont été d'un soutien et d'une gentillesse sans faille.

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers au monde mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes chers frères Md yacine et Abdou. A mes chères sœurs Lamia et Ryma à toute ma famille sans exception pour leurs encouragements et leur soutien moral.*

*A mon neveu Ilyas.*

*A tous mes amis Lyticia, Fulla, Soraya, Zaid, Mazigh, Rahim, Rabah et Hanane pour leur soutien, leur générosité et leur modestie tout au long de mon parcours universitaire.*

*A toutes les personnes pour lesquelles j'ai une place dans leurs cœurs.*

*A tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail de loin ou de près.*

*A ma très chère amie et camarade AZERRADJ Thiziri et sa famille.*

**YASMINA**

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont beaucoup sacrifié de leur temps pour mon bonheur et ma réussite, aux êtres les plus chers au monde qui symbolisent pour moi le courage et la tendresse, à mes très chers parents.*

*A mes frères, mes sœurs, mes neveux, mes nièces, à toute ma famille sans exception.*

*A la mémoire de ma grande mère.*

*A tous mes amis, aux dauphins.*

*A toutes les personnes pour lesquelles j'ai une place dans leurs cœurs.*

*A tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail de loin ou de près.*

*A ma très chère amie et camarade KHALDI Yasmina.*

**THIZIRI**

## Liste d'abréviations

**CMO** : Les composites à matrices polymère ou organique

**CMC** : Les composites à matrices

**CMM** : Les composites à matrices métalliques

**ME** : Matrice élastomères

**MTD** : Matrices thermodurcissables

**MTP** : Matrices thermoplastiques

**PP** : Polypropylène

**ISO-PP** : Polypropylène isotactique

**CFN** : Composite a fibre naturelle

**g** : Gramme

**Kg** : Kilogramme

**MPa** : Méga pascal

**min** : Minute

**%** : Pourcent

**°C** : Degré Celsius

**µm** : Micromètre

**FNT** : Fibre non traitée

**FTA** : Fibre traitée alcalin

**FTAB** : Fibre traitée alcalin blanchiment

**FTAS** : Fibre traitée alcalin silane

**FTP** : Fibre traitée permanganate

**IRTF** : Infrarouge a transformé de fourrier

**DRX** : Diffraction par rayon X

## **Table des matières**

### **Chapitre I : Rappel bibliographique**

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

#### **Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites**

<b>I.1. Matériaux composites.....</b>	<b>3</b>
<b>I.1.1. Définition d'un matériau composite.....</b>	<b>4</b>
<b>I.1.2. Constituants d'un matériau composite .....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.3. Caractéristiques générales d'un composite.....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.4. Classification d'un matériau composite .....</b>	<b>6</b>
<b>I.1.5. Intérêt des matériaux composites .....</b>	<b>6</b>
<b>I.1.6. Avantages et inconvénients des matériaux composites.....</b>	<b>7</b>
<b>I.1.7. Mise en œuvre des composites.....</b>	<b>8</b>
<b>I.1.7.1. Procédés en moule ouvert .....</b>	<b>8</b>
<b>I.1.7.2. Procédés en moule fermé .....</b>	<b>8</b>
<b>I.1.8. Application des matériaux composites à base des fibres végétales.....</b>	<b>9</b>
<b>I.1.9. Facteur influant sur les propriétés des matériaux composites .....</b>	<b>10</b>
<b>I.1.9.1. Orientation des fibres.....</b>	<b>10</b>
<b>I.1.9.2. Influence de la nature et la quantité des constituants .....</b>	<b>10</b>
<b>I.1.9.3. Effet de l'humidité sur les propriétés mécaniques du composite .....</b>	<b>11</b>
<b>I.1.9.4. Adhésion renforts-matrice.....</b>	<b>11</b>
<b>I.1.9.5. Influence de la morphologie des fibres.....</b>	<b>11</b>
<b>I.2. Les fibres végétales .....</b>	<b>12</b>
<b>I.2.1. Définition des fibres végétales .....</b>	<b>12</b>
<b>I.2.2. Classification des fibres végétales.....</b>	<b>13</b>
<b>I.2.3. Morphologie de la fibre végétale.....</b>	<b>14</b>
<b>I.2.4. Structure de la fibre végétale .....</b>	<b>16</b>
<b>I.2.5. Extraction des fibres végétales.....</b>	<b>17</b>
<b>I.2.5.1. Procédé d'extraction mécanique .....</b>	<b>17</b>
<b>I.2.5.2. Procédé d'extraction chimique.....</b>	<b>18</b>
<b>I.2.5.3. Procédés d'extraction biologiques.....</b>	<b>18</b>

I.2.6. Composition chimique des fibres végétales.....	19
I.2.7. La fibre du bambou .....	20
I.2.8. Composition chimique du bambou.....	20
I.2.9. Modifications de surfaces des fibres végétales .....	26
I.2.9.1. Traitement a la soude (mercerisage).....	26
I.2.9.2. Traitement par les silanes.....	27
I.2.9.3. Acétylation .....	29
I.2.9.4. Traitement au Permanganate de potassium.....	29
I.3. Le Polypropylène (PP).....	30
1.3.1. Structure de polypropylène .....	30
1.3.2. Propriétés générales du polypropylène.....	30
1.3.3. Avantages de polypropylène .....	31
1.3.4. Domaines d'application du Polypropylène .....	31
Rappels bibliographiques.....	32

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

II.1. Matériaux utilisés.....	36
II.1.1. Le polypropylène PP .....	36
II.1.2. Préparation et conditionnement de la farine des fibres de bambou .....	37
II.1.3. Produits chimiques .....	39
II.2. Traitement des fibres de Bambou .....	40
II.2.1. Traitement par la soude .....	40
II.2.2. Blanchiment .....	40
II.2.3. Traitement combiné alcalin/Silane.....	41
II.2.4. Traitement permanganate de potassium .....	42
II.3. ....	Procédés
de mise en œuvre des composites PP/fibres de Bambou .....	42
II.4. Techniques de Caractérisation.....	44
II.4.1. Composition chimique des fibres de bambou.....	44
II.4.2. Détermination de la densité .....	46
II.4.3. Détermination du taux d'humidité .....	46
II.4.4. Taux d'absorption d'eau.....	47
II.4.5. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) .....	47

<b>II.4.6.</b> Diffraction des rayons X (DRX).....	<b>48</b>
<b>II.4.7.</b> Traction.....	<b>49</b>
<b>II.4.8.</b> Test de choc mécanique.....	<b>50</b>
<b>II.4.9.</b> Angle de contact.....	<b>51</b>

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

<b>III.1.</b> Caractérisation des fibres de bambou .....	<b>53</b>
<b>III.1.1.</b> Composition chimique .....	<b>53</b>
<b>III.1.2.</b> Analyse par IR-TF .....	<b>54</b>
<b>III.1.3.</b> Taux d'humidité.....	<b>55</b>
<b>III.1.4.</b> Densité.....	<b>57</b>
<b>III.2.</b> Caractérisation des composites PP/ fibres de bambou.....	<b>58</b>
<b>III.2.1.</b> Analyse par IRTF.....	<b>58</b>
<b>III.2.2.</b> Absorption d'eau.....	<b>59</b>
<b>III.2.3.</b> Angle de contact .....	<b>60</b>
<b>III.2.4.</b> Analyse par DRX.....	<b>61</b>
<b>III.2.5.</b> Tests mécaniques en traction.....	<b>63</b>
<b>III.2.6.</b> .....Résistance	
aux chocs .....	<b>65</b>
Conclusion.....	<b>67</b>

## Liste des figures

### Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : Utilisation potentielle des matériaux composites .....	2
<b>Figure I.2</b> : Représentation schématique d'un matériau composite .....	3
<b>Figure I.3</b> : procédé en moule ouvert .....	8
<b>Figure I.4</b> : procédé en moule fermé (procédé d'injection) .....	8
<b>Figure I.5</b> : Quelques domaines d'application des matériaux composites à base des fibres végétales.....	9
<b>Figure I.6</b> : Représentation du modèle en frange fibrillaire de la structure des fibres végétales .....	12
<b>Figure I.7</b> : Classification des fibres végétales.....	13
<b>Figure I.8</b> : Présentation de l'angle micro-fibrillaire .....	15
<b>Figure I.9</b> : Structure d'une fibre élémentaire végétale .....	17
<b>Figure I.10</b> : Structure chimique de la cellulose .....	21
<b>Figure I.11</b> : Structure de la microfibrille de cellulose .....	22
<b>Figure I.12</b> : Structure d'hémicellulose .....	24
<b>Figure I.13</b> : Représentation schématique d'une structure de lignine .....	25
<b>Figure I.14</b> : Réaction de traitement par la soude .....	27
<b>Figure I.15</b> : Structure typique de la fibre lignocellulosique (1) non traitée et (2) et après traitement alcalin .....	27
<b>Figure I.16</b> : Réactions chimiques du traitement par un alcoxyde de silicium fonctionnalisé ..	28
<b>Figure I.17</b> : Acétylation avec un catalyseur acide .....	29
<b>Figure I.18</b> : Acétylation sans catalyseur acide.....	29
<b>Figure I.19</b> : Structure moléculaire de l'isopolypropylène (polypropylène isotactique).....	30
<b>Figure I.20</b> : Comparaison de la résistance à la traction et à la flexion de composites abaca/jute/fibre de lin-PP avec et sans MAH-PP .....	33
<b>Figure I.21</b> : Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de fibres de bambou .....	34
<b>Figure I.22</b> : Image SEM montrant une mauvaise adhésion de fibres de bambou/matrice .....	34

### Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : Polypropylène utilisé .....	37
--	----

<b>Figure II.2</b> : Tiges de la plante de Bambou .....	<b>38</b>
<b>Figure II.3</b> : Broyeur à rotor de marque Retsch .....	<b>39</b>
<b>Figure II.4</b> : fibres de bambou avant et après blanchiment .....	<b>41</b>
<b>Figure II.5</b> : fibres de bambou après traitement aux silanes .....	<b>41</b>
<b>Figure II.6</b> : Extrudas à base de PP/FNT (a) et PP/FTAB (b) .....	<b>43</b>
<b>Figure II.7</b> : Presse à compression Carver.....	<b>44</b>
<b>Figure II.8</b> : Méthode pycnométrique pour la détermination de la densité .....	<b>46</b>
<b>Figure II.9</b> : Spectromètre à transformée de Fourier.....	<b>48</b>
<b>Figure II.10</b> : Diffraction –Rayons X des plans réticulaires avec distances inter planaires .....	<b>48</b>
<b>Figure II.11</b> : Machine de traction de marque ZWICK.....	<b>50</b>
<b>Figure II.12</b> : Appareil de test au choc.....	<b>51</b>
<b>Figure II.13</b> : Principe de la mesure d'angle de contact.....	<b>52</b>

### **Chapitre III**

<b>Figure III.1</b> : Diagramme de la composition chimique des fibres de bambou.....	<b>54</b>
<b>Figure III.2</b> : Spectres FTIR des fibres de bambou traitées (FTAB, FTAS, FTA, FTP) et non traitées.....	<b>55</b>
<b>Figure III.3</b> : Taux d'absorption d'humidité des fibres FNT, FTAB, FTA, FTP et FTAS	<b>57</b>
<b>Figure III.4</b> : Diagramme représente la densité de la fibre de bambou FTAB et FNT .....	<b>58</b>
<b>Figure III.5</b> : Spectres IRTF du PP et des composites PP/FNT et PP/FTAB .....	<b>59</b>
<b>Figure III.6</b> : Cinétique d'absorption d'eau du PP et des composites PP /FTAB et PP/FNT .	<b>60</b>
<b>Figure III.7</b> : Résultats de l'angle de contact de l'eau du PP et des composites PP/FNT et PP/FTAB.....	<b>61</b>
<b>Figure III.8</b> : Spectres de diffraction des rayons X du PP et des composites PP/FNT et PP/FTAB.....	<b>62</b>
<b>Figure III.9</b> : Variation du module d'Young du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB .....	<b>64</b>
<b>Figure III.10</b> : Variation de l'allongement à la rupture du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB.....	<b>65</b>
<b>Figure III.11</b> : Variation de la contrainte à la rupture du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB.....	<b>66</b>
<b>Figure III.12</b> :Variation de la résistance au choc du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB.....	<b>67</b>

## Liste des tableaux

### Chapitre I

<b>Tableau I.1</b> : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales .....	<b>13</b>
<b>Tableau I.2</b> : Angles micro fibrillaires de quelques fibres végétales .....	<b>15</b>
<b>Tableau I.3</b> présente la composition chimique de quelques fibres végétales naturelles.....	<b>19</b>
<b>Tableau I .4</b> : propriétés du polypropylène.....	<b>30</b>

### Chapitre II

<b>Tableau II.1</b> : Caractéristiques du polypropylène utilisé.....	<b>36</b>
<b>Tableau II.2</b> : Codes des différentes formulations élaborées .....	<b>42</b>

# *Introduction*

# Introduction

---

## Introduction

Le développement de nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs. Ceux-ci veulent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps. Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisés, mais dans certains cas, ils doivent complètement repenser le problème et envisager de nouveaux matériaux. En effet, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt des nouvelles associations de matériaux. L'un des résultats de cette association est l'aboutissement à un matériau composite, qui fait le sujet de notre étude.

Les fibres naturelles sont des matériaux de qualité qui se fabriquent et se recyclent naturellement sur terre depuis des millions d'années. Dans cet esprit, on envisage de remplacer les fibres de verre par des fibres naturelles, mais parce que les matières premières renouvelables présentent des avantages environnementaux.

Au cours de ces dernières années, l'utilisation de fibres végétales comme renfort dans les matériaux composites a connu un essor considérable [1,2]. Ce gain d'intérêt provient de la combinaison de plusieurs avantages tels que : faible coût, faible densité, non-toxicité, hautes propriétés spécifiques.

Cependant, il y a un certain nombre de difficultés associées à l'intégration de ces fibres dans les matrices polymères, en particulier l'incompatibilité fibre/matrice. L'adhérence fibre-matrice peut être améliorée par la modification de la surface de la fibre. De divers traitements permettent la modification de la surface des fibres. Ces traitements améliorent la mouillabilité de la fibre avec la matrice et créent un lien fort à l'interface fibre-matrice. Une bonne adhérence à l'interface contribue à son tour, à l'amélioration du transfert de charges entre les fibres et la matrice et par conséquent de meilleures propriétés mécaniques sont accrues [3].

Si de nombreuses variétés de fibres végétales existent, pour la fonction de renfort on constate que les fibres présentant les performances les plus intéressantes ont un rôle structurel dans la nature. Elles proviennent des tiges de plantes (jute, ramie) ; de feuilles (sisal), de troncs (chanvre) et d'enveloppes de fruits (noix de coco). Le choix d'une plante à fibres se fait en fonction des propriétés mécaniques des fibres et de leur disponibilité, mais aussi en fonction des possibilités de valorisation.

Le potentiel des fibres de bambou dans le domaine des matériaux composites à matrice polymère reste encore non dévoilé. Vu l'abondance des fibres de bambou dans la région de Bejaia et sa nature qui est susceptible d'offrir aux matériaux composites les qualités

## Introduction

---

apportées. Ainsi, l'étude des composites à base de fibres de bambou est tout à fait opportune. Ce travail est axé sur un matériau composite Polypropylène / fibres de bambou.

Le présent manuscrit est constitué de trois chapitres, répartis comme suit :

Le 1<sup>er</sup> chapitre est une synthèse bibliographique sur les polymères, les fibres végétales, et les matériaux composites à base d'une matrice polymère et fibres végétales.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des matériaux et des techniques expérimentales utilisés au cours de ce travail. Puis, les différentes méthodes d'extraction, de traitement des fibres de bambou, et les différents procédés de mise en forme employés lors de cette étude seront décrits. Enfin, les techniques de caractérisation physico-chimiques et mécaniques utilisées seront également présentées.

Le troisième chapitre concernera les résultats obtenus de l'étude. Enfin, la conclusion générale et quelques perspectives de ce travail seront exposées.

## References

- [1] Faulstich de Paiva JM., Frollini E., Unmodified and Modified Surface Sisal Fibers as Reinforcement of Phenolic and Lignophenolic Matrices Composites: Thermal Analyses of Fibers and Composites *Macromol, Material and Engineering*, 291, 405-417, 2006.
- [2] Al-Khanbashi A., Al-Kaabi K., Hammami A., Date Palm Fibers as Polymeric Matrix Reinforcement: Fiber Characterization, *Polymer Composites*, 26 , 486-497, 2005.
- [3] Al-Kaabi K., Al-Khanbashi A., Hammami A., Date Palm Fibers as Polymeric Matrix Reinforcement: DPF/Polyester Composite properties, *Polymer Composites*, 26, 604-613, 2005.

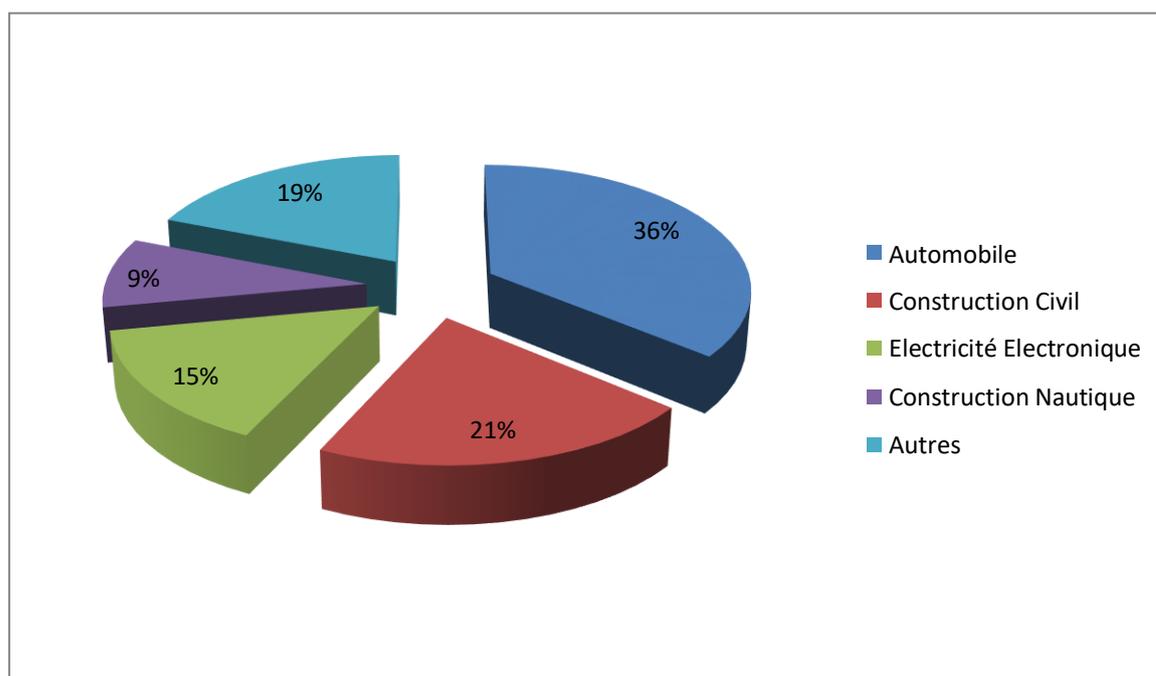
# ***Chapitre I: Etude bibliographique***

## Chapitre I

### Etude bibliographique

#### I.1. Matériaux composites

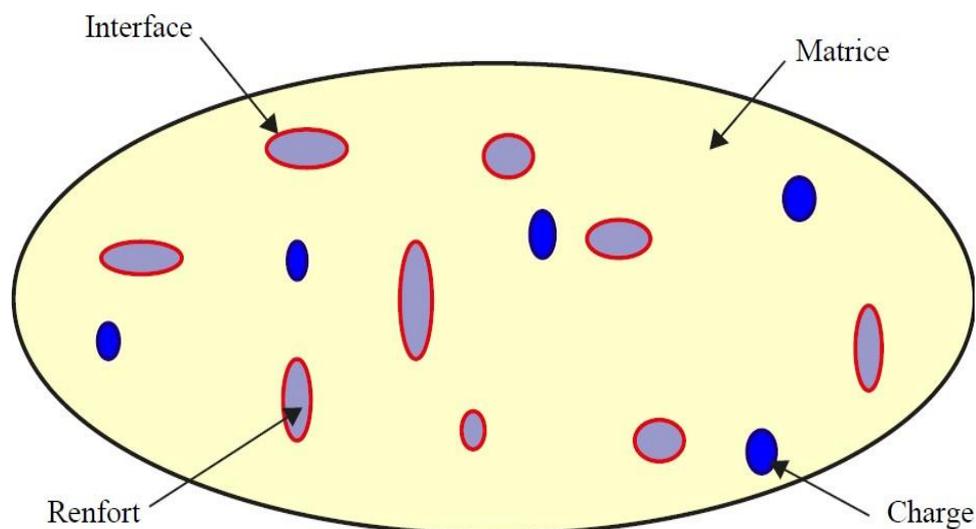
Le développement de nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs. Ceux-ci veulent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps. En effet, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt des nouvelles associations de matériaux. L'un des résultats de cette association est l'aboutissement à un matériau composite à base d'une matrice organique et un renfort naturel [1]. Les matériaux composites à base des fibres naturelles sont largement utilisés dans divers domaines d'application (**Figure I.1**).



**Figure I.1** : Utilisation potentielle des matériaux composites [2].

### I.1.1. Définition d'un matériau composite

Un matériau composite est matériau solide et hétérogène qui peut être assimilé à un assemblage (association) de deux ou plusieurs matériaux de nature différente, dans le but d'obtenir un nouveau matériau ayant une forte capacité d'adhésion [3] et des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des éléments constitutifs [4]. D'une manière générale, il est constitué d'une ossature dite renfort qui assure la tenue mécanique et peut se présenter sous forme de particules ou de fibres, et d'une matrice. [3] qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser ensemble [5] Peuvent être ajoutés au composite des charges et des additifs, sous forme d'éléments fragmentaires, soit liquide ou sous forme de poudres, afin de modifier une propriété du matériau (par exemple la résistance aux flammes, le comportement face aux chocs, la résistance aux rayons UV ...) [6].



**Figure I.2 :** Représentation schématique d'un matériau composite [7].

Le renfort est un élément discontinu à hautes caractéristiques mécaniques qui supporte les principales contraintes mécaniques appliquées aux composite (résistance et rigidité, tenue aux chocs) [8]. La matrice est la phase continue qui assure la cohésion, le transfert et la répartition des contraintes, aussi elle permet la protection du renfort des agressions extérieures Dans la fabrication des composites on peut avoir recourt à des charges et additifs

qui ont pour rôle d'améliorer l'adhérence fibre/matrice, ou d'apporter d'autres propriétés au composite tels que les pigments de coloration, les agents anti-UV, etc. [9,10].

### I.1.2. Constituants d'un matériau composite

Dans notre étude on s'intéresse aux composites à matrice polypropylène (PP) renforcée de fibres végétales (fibres de bambou).

**Matrice :** Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymères existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation. Les matrices ont essentiellement pour rôle de transférer les contraintes apportées sur le matériau aux fibres, de les protéger contre les agressions extérieures et donnent la forme du matériau. Elles doivent être en outre assez déformables et présenter une certaine compatibilité avec le renfort pour pouvoir apporter aux matériaux composites des propriétés mécaniques assez élevées [11].

**Renfort :** Le renfort représente la phase discontinue d'un matériau composite. Il contribue à améliorer la résistance mécanique de ce dernier et peut se présenter sous forme de particules ou de fibre comme les fibres de verre, de carbone ainsi que les fibres végétales (lin, coton, farine de bois, jute, bambou, chanvre, grignon d'olive, etc.) [12-14]. Les renforts des composites sont généralement des fibres naturelles. Celle-ci étant classées selon leur nature fibres minérales (telles que l'amiante), fibres animales (principalement constituées de protéines) et fibres végétales (sisal, jute, etc.). Les deux premières étant respectivement nocives pour la santé et limitées du point de vue performance. Ce sont les fibres végétales qui suscitent un intérêt très important [15].

### I.1.3. Caractéristiques générales d'un composite

Les principales caractéristiques des matériaux composites sont [16,17]

- Le gain de masse.
- La bonne tenue en fatigue (durée de vie élevée).
- L'absence de corrosion.
- L'absence de plasticité (leur limite élastique correspond à la limite de rupture).
- L'insensibilité à certains produits chimiques courants (solvants, peinture, huiles,

pétroles...).

- Tenue aux impacts et aux chocs très moyenne.
- Très forte anisotropie.

### I.1.4. Classification d'un matériau composite

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement en trois familles en fonction de la nature de la matrice [18].

**Les composites à matrices polymère ou organique (CMO)** : telles que les polymères organiques (thermodurcissable ou thermoplastique) [19] ; qui constituent, de loin, les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle [18].

**Les composites à matrices céramiques (CMC)** : réservés aux applications de très haute technicité et travaillant à haute température comme dans les domaines spatial, nucléaire et militaire, ainsi que le freinage [19].

**Les composites à matrices métalliques (CMM)** : Ces matériaux trouvent leurs principales applications dans le transport aérien, maritime, ferroviaire, le bâtiment, l'aérospatiale ainsi que les sports et loisirs, notamment grâce à leur bonne tenue mécanique comparable aux matériaux homogènes, plus résistants que l'acier et plus légers que l'aluminium. [18].

### I.1.5. Intérêt des matériaux composites

Les matériaux composites, en fonction de leurs constituants, présentent un grand nombre d'intérêts. D'un point de vue mécanique, ils offrent d'excellentes propriétés en traction, flexion, compression, cisaillement plan et transverse ainsi qu'une excellente absorption aux chocs. Leur résistance mécanique combinée à leur faible densité en fait un élément incontournable des conceptions actuelles qu'elles soient structurelles ou non.

D'un point de vue physico-chimique, ils s'adaptent parfaitement à différents milieux ambiants et peuvent être très performants en termes de résistance aux produits chimiques, au feu, ou à la corrosion.

Néanmoins, leur plus grand intérêt réside dans la possibilité de pouvoir intégrer plusieurs fonctions en une seule opération réduisant de fait et de façon conséquente, le nombre de pièces d'un ensemble mécanique ou d'une conception et par là même son coût de revient.

Bien que leur fabrication nécessite des investissements parfois lourds en termes d'outillages de moulage, ils constituent un compromis technico-économique intéressant lorsqu'ils sont fabriqués en série [20].

### **I.1.6. Avantages et inconvénients des matériaux composites**

Chaque organe a des avantages et des inconvénients, il en est ainsi pour les matériaux composites.

[21,22]

#### ➤ **Avantages**

- L'optimisation du design, impliquant une possible diminution du nombre d'éléments.
- L'adaptation au processus de design.
- La résistance à la corrosion et à la fatigue
- La réduction du poids.
- La longue durée de vie.
- Gain de masse.
- Mise en forme de pièces complexes (principe du moulage) et réduction du nombre d'interfaces (boulonnage, rivetage et soudure sur structures métalliques).
- Grande résistance à la fatigue.
- Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion (sauf en cas de contact entre de l'aluminium et des fibres de carbone).
- Insensibilité aux produits chimiques "mécaniques" comme les graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, solvants.

#### ➤ **Inconvénients**

- Vieillissement sous l'action de l'eau et de la température
- Faible résistance aux décapants de peinture qui attaquent les résines époxydes
- Tenue aux chocs faible

- Mauvaise isolation acoustique (n'amortissent pas).
- La tenue au feu n'est pas bonne pour certaines catégories.

### **I.1.7. Mise en œuvre des composites**

Il existe plusieurs techniques de fabrication de structures composites. Le choix de la technique dépend principalement des matériaux utilisés (matrice et renfort). La mise en forme des matériaux composites peut avoir lieu par des procédés manuels ou mécanisés à moule ouvert ou sous pression. Dans ce qui suit on présentera quelques techniques de mise en œuvre des composites [23].

#### **I.1.7.1. Procédés en moule ouvert**

Ces techniques sont très simples et manuelles, elles ne nécessitent pas des équipements lourds. Il s'agit de déposer des couches alternées de renforts et de la matrice dans un moule ouvert à température ambiante. Ces techniques sont utilisées dans le cas des résines thermodurcissables offrant la possibilité de produire une large gamme de forme et de dimension en petite et moyenne série (la production ne dépasse pas les 1000 pièces par an) [24].



**Figure I.3 :** procédé en moule ouvert

#### **I.1.7.2. Procédés en moule fermé**

Cette technologie nécessite des équipements plus sophistiqués. Elle est généralement mécanisée et le moulage des composites se fait en moule contre moule (rigide ou souple). Cette technique peut être utilisée dans la fabrication de grandes et moyennes séries et c'est

une technique propre en comparaison au travail au moule ouvert. Mais elle présente des limites concernant la forme et les dimensions des composites fabriqués (<7m<sup>2</sup>) [24].

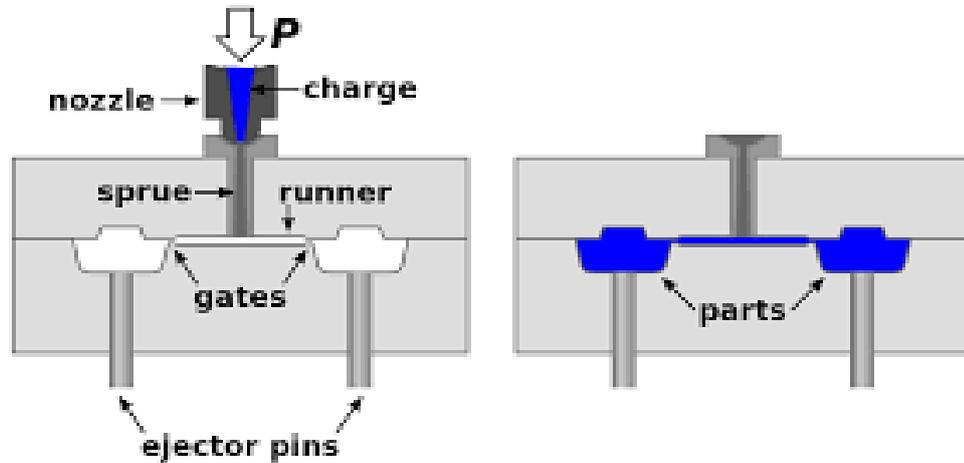


Figure I.4 : procédé en moule fermé (procédé d'injection)

### I.1.8. Application des matériaux composites à base des fibres végétales

L'utilisation des matériaux composites s'inscrit dans une démarche d'éco-conception. On note enfin le développement de granulés thermoplastiques renforcés par des fibres naturelles végétales est utilisé dans différents domaines

- Cosmétique.
- Horticulture
- Électroménager
- Outillage
- Bâtiment et travaux publics
- Transports routiers, ferroviaires, maritimes, aériens et spatiaux notamment militaire (de portières, dossiers de siège, panneau de finition du couvercle du coffre, Dossier de siège...)
- Santé (instrumentation médicale),
- Sports et loisirs (skis, raquette de tennis, planche à voile, surf, club de golf, aviron,...)

Ainsi on note que les matériaux composites sont surtout utilisés pour des applications où une haute performance est recherchée et où le prix n'est pas le facteur primordial [25].



**Figure I.5 :** Exemples d'application des matériaux composites à base des fibres végétales

### **I.1.10. Facteur influant sur les propriétés des matériaux composites**

#### **I.1.10.1. Orientation des fibres**

L'orientation des fibres est principalement définie selon la direction de l'effort principal de traction d'un élément. Cela est dû au fait que l'ajout de fibres dans la matrice améliore le comportement mécanique en traction principalement. Le plan de fissuration se développe généralement perpendiculairement par rapport à l'effort de traction. Ainsi l'orientation d'une fibre sera dite favorable si elle est parallèle à l'effort principal de traction et donc perpendiculaire au plan de fissuration [26].

#### **I.1.10.2. Influence de la nature et la quantité des constituants**

L'augmentation du pourcentage de renforts améliore quasi systématiquement la rigidité d'un composite. Cependant, une trop grande quantité de renforts implique une adhésion plus difficile qui conduit à une baisse de performances dans certains cas. Plusieurs études ont montré qu'à partir d'un taux de 50% en fibres, le matériau devient rugueux et la surface présente des ruptures. L'augmentation de la proportion de fibres lignocellulosique a aussi pour conséquence directe, la multiplication des problèmes liés à l'usage d'un matériau biologique hygroscopique et putrescible [27].

### **I.1.9.3. Effet de l'humidité sur les propriétés mécaniques du composite**

En plus d'être recyclables et écologiques, les composites à fibres naturelles (CFN) présentent des propriétés mécaniques susceptibles de répondre aux exigences industrielles et donc de concurrencer des matériaux non dégradables dans plusieurs domaines d'application. Cependant, un des obstacles majeurs au développement de l'utilisation des CFN est l'effet de l'environnement, en particulier l'humidité et la chaleur qui peuvent entraîner la dégradation des pièces et les rendre impropres à l'usage. De plus, l'hétérogénéité des matériaux composites rend l'étude des processus de vieillissement et d'endommagement plus complexes, notamment dans le cas des composites injectés constitués d'une matrice thermoplastique renforcée par des fibres végétales. Le comportement hydrophile des renforts s'oppose à l'hydrophobie de la matrice, engendrant ainsi des mécanismes d'absorption différents. Le phénomène de diffusion de l'eau est dépendant de la nature des fibres, des porosités dans le matériau et de la qualité d'adhésion fibre/matrice [28].

### **I.1.9.4. Adhésion renforts-matrice**

Dans la littérature, nous retrouvons de nombreuses études faisant état des effets des traitements de surface des charges sur les propriétés à la fois mécaniques et thermiques. Ces traitements de surface peuvent être de différentes natures ; chimiques, thermiques ou physiques. L'insertion de charges minérales renforçantes est connue pour améliorer certaines caractéristiques comme la raideur et les performances aux hautes températures des matériaux polymères. Les propriétés mécaniques résultant du renforcement des matériaux polymères par des charges minérales semblent dépendre considérablement de la nature des interfaces charges/matrice. Une forte adhésion aux interfaces conduit généralement à de meilleures propriétés du composite. En effet, de nombreux agents de couplage, capables de constituer une forte adhésion aux interfaces, ont été identifiés sur des matrices polymères [29].

### **I.1.9.5. Influence de la morphologie des fibres**

La morphologie des fibres inclut aussi d'autres paramètres que la longueur des fibres, comme leur diamètre, l'épaisseur des cellules et le diamètre des lumens. Ces paramètres varient tous à divers niveaux, en fonction de la nature des fibres [30].

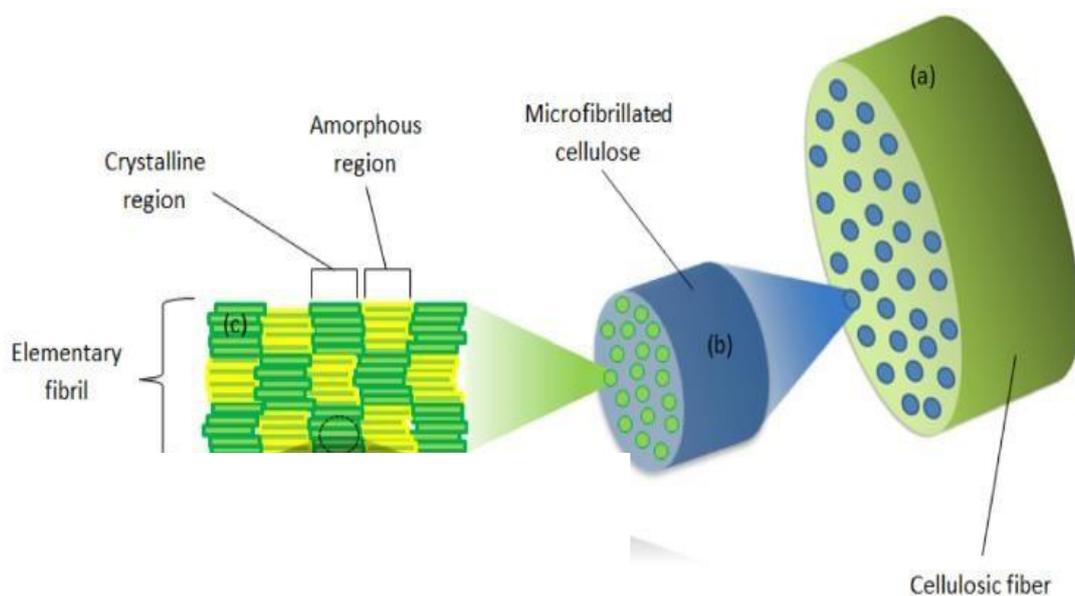
Les fibres naturelles sont principalement composées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. Elles contiennent aussi des extractibles, des protéines et certains composés

inorganiques en faibles proportions. Les fibres végétales trouvent beaucoup d'applications dans le domaine du textile, habillement, ameublement... Vu leurs propriétés mécaniques spécifiques et leur caractère renouvelable, elles commencent à trouver des débouchés dans d'autres secteurs d'activité industrielle (emballages...) [6]. Il existe une grande variété de fibres naturelles qui peuvent être utilisées pour le renforcement ou comme charges.

### I.2. Les fibres végétales

#### I.2.1. Définition des fibres végétales

Les fibres végétales sont des parois cellulaires ayant une structure fibrillaire, constituées essentiellement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine en plus de composés en faibles proportions à savoir les cires, les lipides, les matières minérales et les composés solubles dans l'eau [31]. Les proportions de ces différents constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [32,33]. Cependant, la plupart des propriétés de la plante végétale sont régies par les trois composantes polymériques principales (cellulose, hémicellulose et lignine) [34].



**Figure I.6 :** Représentation du modèle en frange fibrillaire de la structure des fibres végétales [35].

## I.2.2. Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres:

➤ 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, paille de graminée) [36].

➤ Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kéna, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) [37].

➤ 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. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues [36].

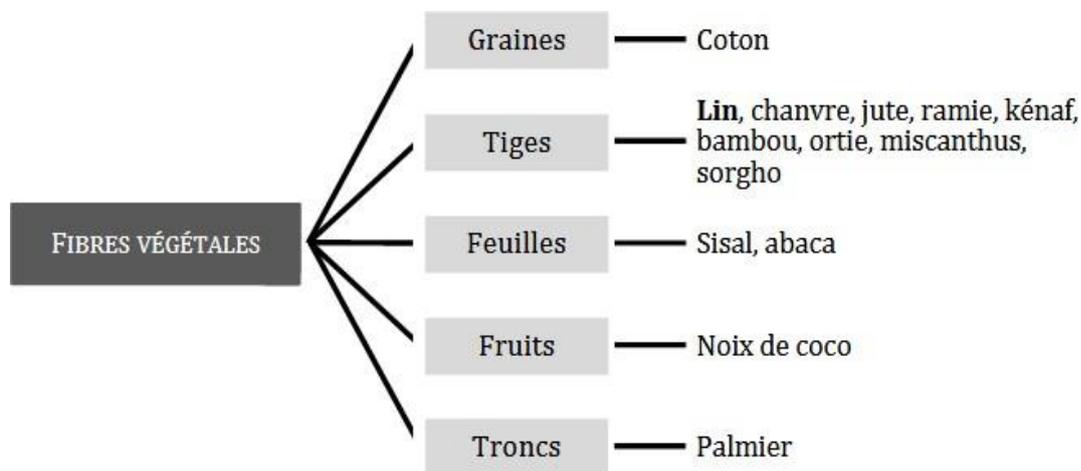


Figure 1.7: Classification des fibres végétales [36].

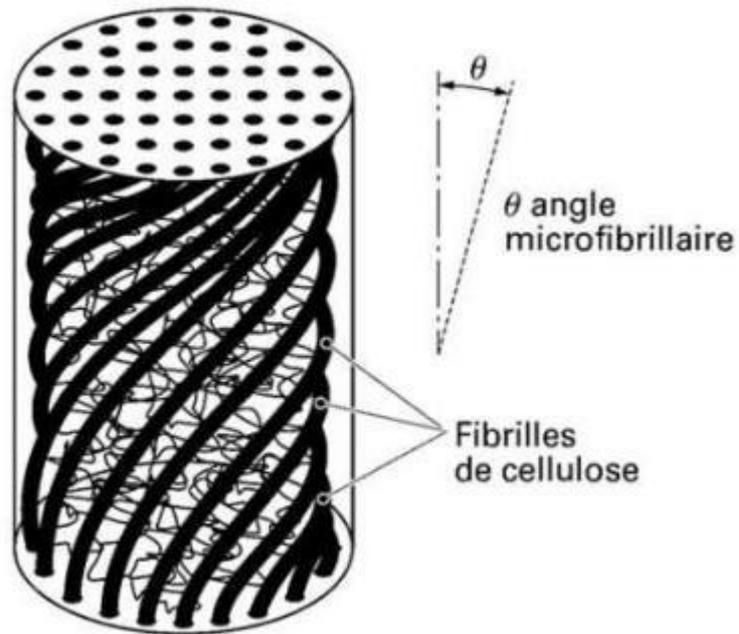
### I.2.3. Morphologie de la fibre végétale

La morphologie de la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine, de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale [38]. La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles [39].

**Tableau I.1** : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales [3].

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre ( $\mu\text{m}$ )
Cotton	35	10-45
Lin	4-77	5-76
Chanvre	5-55	10-51
Kénafe	2.5-4.5	14-33
Jute	2.5	5-25
Sisal	900	8-50
Rami	900-1200	20-80
Noix de coco	01-3	12-24

L'angle micro-fibrillaire est également un point de différenciation très déterminant parmi les propriétés physiques d'une fibre. Les bonnes propriétés mécaniques de la fibre peuvent s'expliquer en partie sur la base de l'organisation micro-fibrillaire. Les fibres végétales se distinguent les unes des autres du point de vue de l'orientation des microfibrilles dans leurs parois [33].



**Figure I.8** : Présentation de l'angle micro-fibrillaire [33].

**Tableau I.2** : Angles micro fibrillaires de quelques fibres végétales [37].

Fibres	Angle micro fibrillaire (°)
Cotton	-
Lin	10
Chanvre	6.2
Kénafe	-
Jute	8
Sisal	20
Rami	7.5
Noix de coco	45
	-

### I.2.4. Structure de la fibre végétale [40]

Les fibres végétales, quelle que soit leur origine ont toutes la même structure de base (**figure I.9**). Cette structure est multicouche et possède essentiellement :

- Une couche intercellulaire ou lamelle mitoyenne: d'épaisseur comprise entre (0.5 – 2  $\mu\text{m}$ ) et est composée de substances pectiques auxquelles de la lignine peut être ajoutée, elle permet de lier les cellules les unes aux autres.
- Une paroi primaire : très mince (0.03 – 0.1  $\mu\text{m}$ ), elle est souvent confondue avec la couche intercellulaire. Elle contient une grande quantité de lignines. Ses microfibrilles de celluloses enchevêtrées de lignines et hémicelluloses forment un réseau poreux.
- Une paroi secondaire : composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3). La couche S1 est constituée de microfibrilles croisées, avec un angle compris entre 60° et 80° par rapport à l'axe de la cellule. La couche S2 constitue la partie la plus volumineuse de la paroi. Elle est composée de microfibrilles en hélice formant un angle de 5° à 50° par rapport à l'axe de la cellule. La couche S3 est constituée de microfibrilles dont l'orientation varie entre 60° et 90° par rapport à l'axe de la cellule.

Chaque couche est donc essentiellement un matériau composite dans lequel les microfibrilles de cellulose rigide sont noyées dans une douce matrice composée principalement de la lignine et des hémicelluloses. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres.

Plus l'angle des microfibrilles augmente, plus sa rigidité diminue, tandis que l'extensibilité des parois augmente.

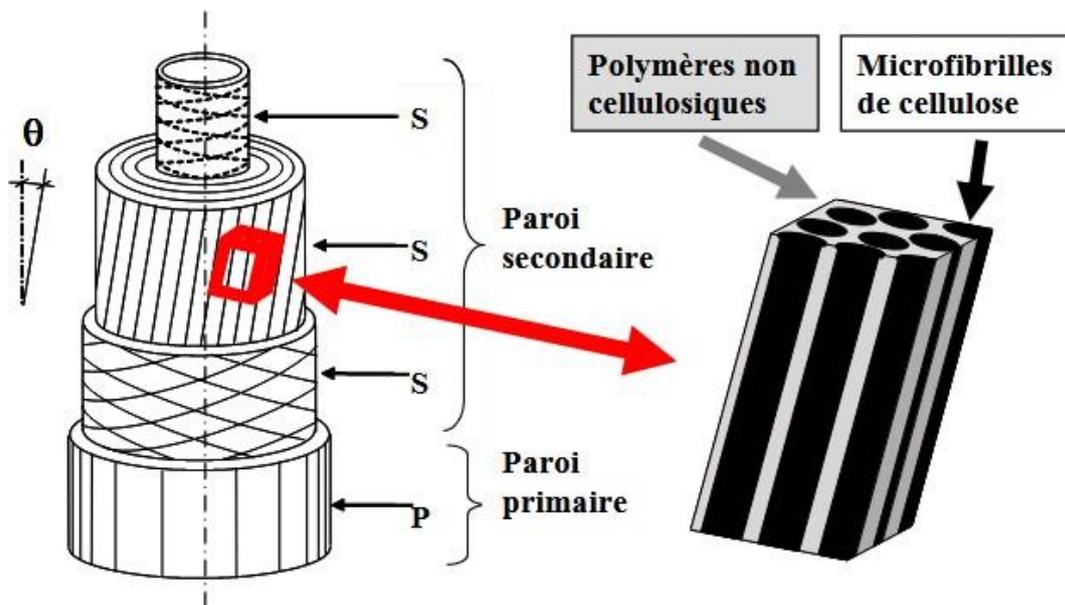


Figure I.9: Structure d'une fibre élémentaire végétale [41].

### I.2.5. Extraction des fibres végétales

La séparation des fibres ou le processus d'extraction a un impact majeur sur le rendement en fibres et la qualité finale de la fibre. Il influence la structure, la composition chimique et les propriétés des fibres. Les procédures peuvent être divisées en procédé de séparation biologique, mécanique et chimique. Dans certains cas, on procède par la combinaison de deux ou plusieurs traitements différents, par exemple, un traitement mécanique suivi d'un chimique, ou bien un traitement chimique suivi d'un traitement biologique, etc. [42]

#### I.2.5.1. Procédé d'extraction mécanique

L'extraction mécanique consiste à passer la matière fibreuse à travers une ou plusieurs machines permettant de détruire les matières non cellulosiques et de dégrader les fibres. La matière première utilisée au cours de ce procédé, doit être sèche. Parmi les machines utilisées, on distingue les « raspadors » appelés aussi les décortiqueuses. Il s'agit de machines employées surtout dans l'extraction des fibres d'agave par une simple action de battage et de grattage. Cette technique est adoptée pour plusieurs fibres végétales telles que : les fibres d'alfa, les fibres d'agave, les fibres de bambou et les fibres de sisal [43].

### **I.2.5.2. Procédé d'extraction chimique**

L'extraction chimique des fibres végétales consiste à traiter la matière fibreuse dans une solution contenant un ou plusieurs agents chimiques dans des conditions bien déterminées. L'extraction consiste à dissoudre la lignine, l'hémicellulose et toutes autres matières extractibles qui lient les fibres entre eux pour obtenir les fibres. Plusieurs produits chimiques peuvent être utilisés pour cet effet qui constitue des solvants pour les matières liantes des fibres dans la plante.

Pour se faire, la feuille ou la tige sont immergés dans des réservoirs chauffés contenant des solutions d'acide sulfurique, de la chaux chlorée, d'hydroxyde de sodium ou de potassium et du carbonate de sodium pour dissoudre le composant pectine. L'utilisation d'agents tensio-actifs dans le processus assure une simple élimination des composants non souhaités, les non cellulosiques adhérant aux fibres par dispersion [30]. Une enquête sur les procédures d'extraction des fibres de palmier dattier et de bambou a été reportée par Murali et Mohana. [44]. Dans leurs études, les bandes fibreuses de bambou ont été extraites au moyen d'un procédé chimique dans lequel les matériaux gommeux et la pectine sont enlevés. Le procédé d'extraction chimique donne un rendement d'environ 33% de fibres.

### **I.2.5.3. Procédés d'extraction biologiques**

Le traitement biologique consiste à dégrader les matières liantes des fibres à l'aide des microorganismes qui se développent dans le milieu de traitement (bain de rouissage) ou bien en utilisant des enzymes qui activent l'opération de dégradation de ces matières (traitement enzymatique).

Parmi les procédés d'extraction biologiques, on distingue le rouissage utilisé pour l'extraction des fibres végétales telle que le lin, le sisal, le jute, le palmier, etc. Il s'agit en fait d'une macération des plantes ou de certains organes pour faciliter la séparation de l'écorce filamenteuse. Les périodes de séjour des plantes dans le bain de rouissage varient selon la variété de la plante, son âge et sa forme. L'eau de mer (solution faiblement basique) est largement utilisée pour attaquer les feuilles de la plante d'agave en faisant décomposer la pulpe et extraire les fibres pour une durée de trois mois.

Un autre traitement biologique a été fréquemment utilisé, il s'agit du traitement enzymatique. Les enzymes sont des catalyseurs biologiques permettant d'activer une réaction ou une substance spécifique. Les noms des enzymes dérivent de la réaction

## Chapitre I : Etude bibliographique

catalysée, en ajoutant le suffixe –ase. Exemple : la catalyse d’une cellulose est effectuée par une cellulase, et celle d’une amylose par une amylase [45].

### I.2.6. Composition chimique des fibres végétales

Les fibres naturelles contiennent principalement de la cellulose, de l’hémicellulose et de la lignine ; il existe aussi, en faible proportion, des constituants extractibles comme les protéines ou encore des composées inorganiques. La proportion d’holocellulose (comprenant la cellulose et l’hémicellulose) et de lignine varie selon les fibres naturelles et l’âge de ces fibres. La composition dépend de la condition de croissance, de l’âge du végétal, des conditions climatiques et la nature des fibres [43].

**Tableau I.3** : composition chimique de quelques fibres végétales naturelles [46].

Type de fibres	Cellulose (%)	Hémicellulose(%)	Lignine (%)	Autres (%)
Fibres de pailles	28-36	-	12-16	
Riz	29-35	27	16-21	11-23
Blé				
Fibres de cannes à Sucre	32-44	22	19-24	26-8
Bambou	26-43	15	21-31	9-35
Fibres d’herbe				
Alfa (Esparto)	33-38	-	17-19	-
Sabai	22	-	23,9	-
Fibres périlibériennes				
Lin	43-47	16	21-23	13-20
Kénaf	31-39	19	15-19	23-35
Jute	45-53	15	21-26	5-11
Chanvre	57 – 77	14 – 22.4	3.7 – 13	1.7
Ramie	68.6 – 91	5 – 16.7	0.6 – 0.7	1.9

## Chapitre I : Etude bibliographique

Fibres de feuilles	35	28	27	10
Palmier (PLD)	60,8	20	8,8	10
Abaca (Marula)	43-56	12	7-9	23-38
Sisal (Agrave)				

### I.2.7. La fibre du bambou

Le bambou est une herbe dont le nom scientifique est Gramineae (Poaceae). Il fait partie de la sous-famille des Bambusoideae et de la branche des Bambuseae [47].

Il existe plus de 1200 espèces de bambou distribuées à travers le monde, Les bambous sont très faciles à cultiver, très appropriés pour les régions tropicales et subtropicales, ils poussent en touffes, ont une reproduction unisexuée et une durée de vie de 5 à 20 ans. Le bambou est l'espèce la plus ancienne et il fait partie des plantes les plus répandues et les plus utilisées dans le monde. Il est utilisable après une année de croissance. La croissance naturellement rapide du bambou est un avantage pour sa culture et son utilisation sans influence négative sur l'écosystème.

L'étude des interactions entre les fibres de bambou et les composites nécessite de connaître la structure et la composition chimique des fibres [48].

### I.2.8. Composition chimique du bambou

La composition chimique du bambou est similaire à celle du bois. Les principaux constituants des tiges de bambou sont la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, qui représentent plus de 90% de la masse totale. Une étude de la composition chimique de bambous âgés d'un, deux et trois ans indique que la teneur en holocellulose ne varie pas beaucoup avec l'âge du bambou [47].

Le bambou contient d'autres composants organiques, en plus de la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Il contient environ 2 à 6% d'amidon, 2% de saccharide désoxydé, 2 à 4% de matières grasses, et 0,8 à 6% de protéines. Le bambou contient également des composants mineurs comme des résines, des cires, des tanins et des sels inorganiques [49]. Le bambou est connu pour être sensible aux attaques de champignons et

## Chapitre I : Etude bibliographique

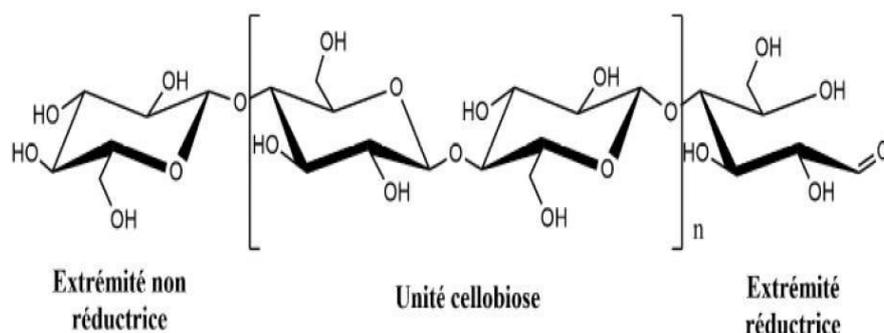
d'insectes mais la résistance du bambou à la moisissure, aux champignons et aux insectes est fortement associée à sa composition chimique [47].

### Cellulose

La cellulose est le polymère naturel renouvelable le plus abondamment disponible sur terre avec une production annuelle estimée de 1011 à 1012 tonnes, englobant environ 33% de toutes les matières végétales. Le terme cellulose, est le nom trivial de  $\beta$ -1,4-D-glucopyranan.

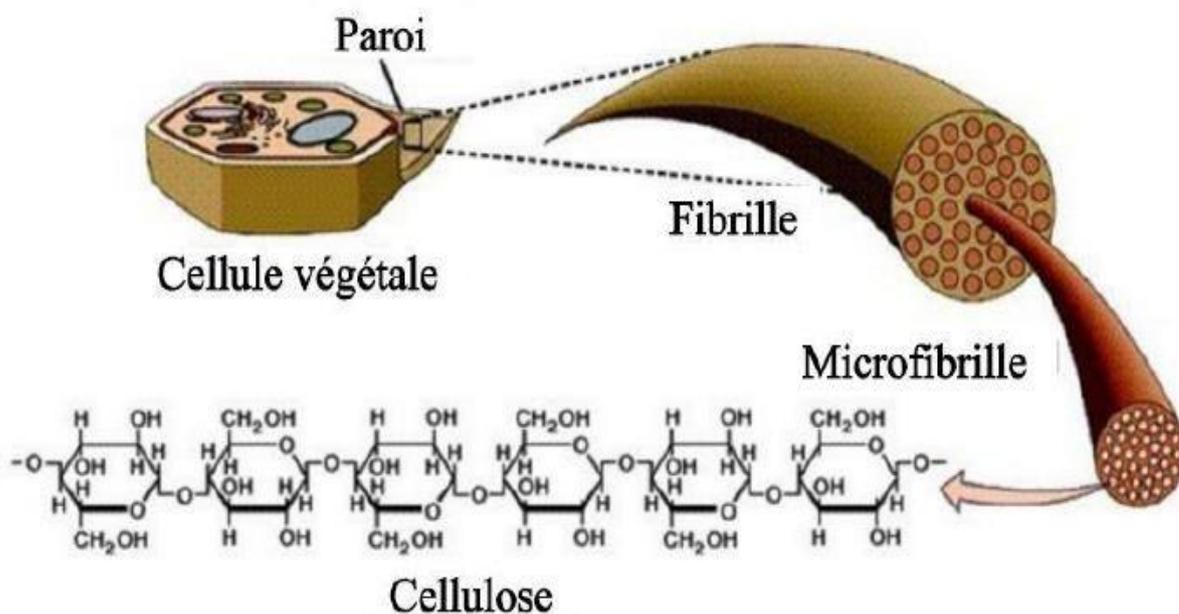
C'est un homopolysaccharide linéaire, avec un degré de polymérisation allant de plusieurs centaines à plus de dix milles. La cellulose est composée d'unités de  $\beta$ -D-anhydroglucopyranose, également appelées unités anhydroglucose et glucopyranose, mais abrégé universellement AGU, liées par des liaisons éther  $\beta$ -1,4 appelées liaisons glycosidiques. Le  $\beta$ -D-anhydroglucopyranose est un hétérocycle à six chaînons avec un carbone (et généralement présent dans la conformation chaise).

De ce fait, elle est en équilibre avec la forme aldéhyde minoritaire. La cellulose possède une structure semi-cristalline, c'est-à-dire qu'elle présente à la fois des zones très ordonnées (zones cristallines) et des zones désordonnées (zones amorphes). Les zones cristallines vont conférer à la cellulose son importante résistance mécanique, alors que les zones amorphes vont conduire au gonflement de la cellulose en présence de solvant [22,50].



**Figure I.10:** Structure chimique de la cellulose [48].

Les chaînes de cellulose sont rassemblées en structures basiques appelées microfibrilles (**Figure I.11**) qui ont des diamètres de 2 à 20 nm. Chaque microfibrille peut être considérée comme des chaînes de cristaux de cellulose liés par des domaines amorphes [51].



**Figure 1.11** : Structure de la microfibrille de cellulose [51].

Dans la nature, la cellulose ne se présente pas comme une molécule individuelle isolée, mais se trouve sous forme d'assemblages de fibres individuelles formant des chaînes de cellulose. D'une manière générale, environ 36 assemblages de chaînes de glucanes sont réunis par des forces de van der Waals et des liaisons hydrogènes intra et intermoléculaires en plus grandes unités appelées fibrilles élémentaires (protofibrilles), qui se regroupent en plus grandes unités appelées microfibrilles, et celles-ci sont à leur tour assemblées en fibres de cellulose familières [52].

La cellulose, qui se compose de milliers d'unités de glucose, peut s'empiler pour établir des formes cristallines avec des liaisons hydrogènes intramoléculaires fournissant un polymère stable avec une haute résistance à la traction. Les groupements hydroxyles et leur habilité à former des liaisons hydrogènes jouent un rôle majeur dans l'orientation du réseau cristallin et gouvernent les propriétés physiques de la cellulose [53]. La structure moléculaire de la cellulose détermine ses propriétés caractéristiques : hydrophilie, dégradabilité et réactivité chimique. Elle est également le siège d'un très grand nombre de liaisons hydrogènes qui lui confèrent une structure fibreuse partiellement cristalline. Les propriétés de la cellulose sont ainsi déterminées par son organisation supramoléculaire, cette dernière étant directement liée à l'organisation des microfibrilles (**figure I.11**). Les macromolécules de cellulose sont susceptibles de former de multiples liaisons hydrogène intramoléculaires et intermoléculaires qui s'établissent d'une macromolécule à une autre, à

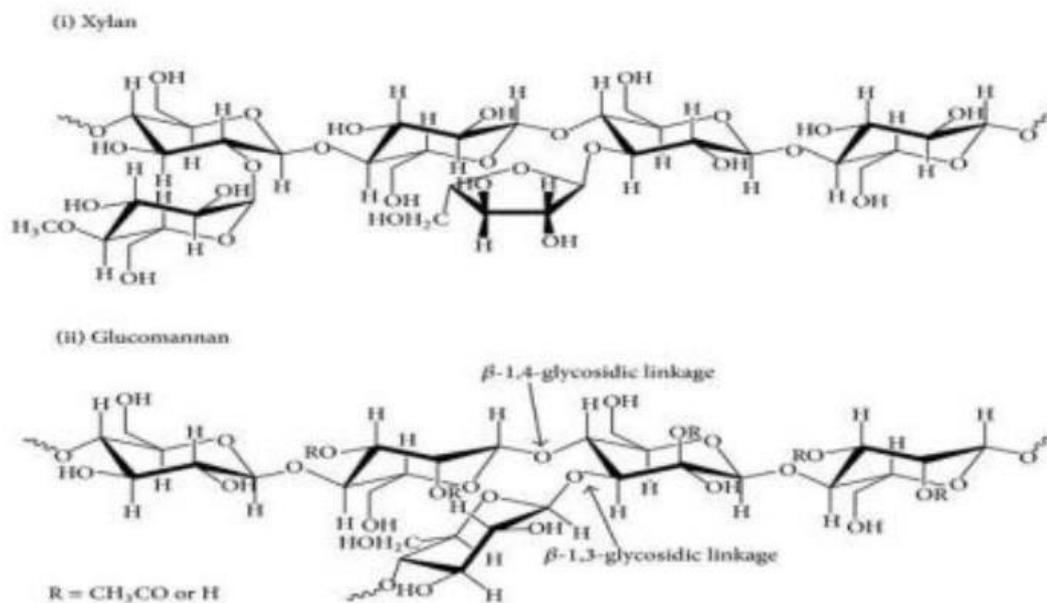
## Chapitre I : Etude bibliographique

---

partir des groupements hydroxyles. Ces liaisons hydrogènes lui confèrent une structure fibreuse partiellement cristalline. Les chaînes de cellulose peuvent donc s'associer entre elles. Elles constituent des microfibrilles de taille variable. Certaines régions de ces dernières sont hautement ordonnées (zones cristallines) et d'autres le sont moins (zones amorphes) [52,53].

### Hémicellulose

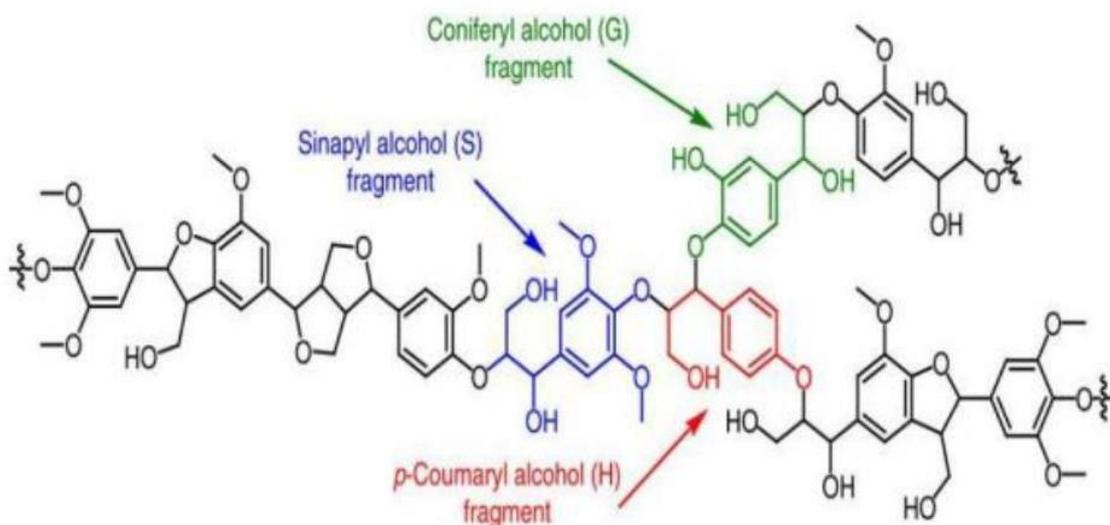
Les hémicelluloses sont des hétéros polysaccharides qui diffèrent de la cellulose par leur ramification et leur faible degré de polymérisation (50 à 300 unités). Elles peuvent être linéaires ou branchées. En plus du glucose, les monomères de l'hémicellulose peuvent être de la xylose, du mannose, du fucose, du galactose, du rhamnose ou de l'arabinose et des acides uroniques. Leurs formules générales sont  $(C_5H_8O_4)_n$  ou  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , appelées respectivement pentosanes et hexosanes. Les hémicelluloses les plus courantes, principalement présentes dans les feuillus ou les plantes annuelles, sont constituées d'une chaîne principale de 1,4- $\beta$ -Dxylopyranosyle avec un nombre variable de chaînes latérales basées sur des unités L-arabinofuranosyle, 4-O-méthyl-D-glucuronopyranosyle, L-galactopyranosyle ou D-glucuronopyranosyle. Les principales hémicelluloses présentes dans le bois dur sont les (4-O-méthyl-D-glucuronopyranosyl) -D-xylanes partiellement acétylés et souvent appelés simplement xylanes (**figure I.12**). Les hémicelluloses sont essentiellement utilisées pour la production de sucres. En effet, en milieu acide, l'hydrolyse de la plupart des hémicelluloses conduit aux monomères constitutifs tels que le xylose, le glucose et l'arabinose. La fermentation alcoolique ou enzymatique des sucres ainsi formés, les transforme en alcools (éthanol, butanol) et en acides organiques (butyrique, acétique, lactique) [54].



**Figure I.12** : Structure d'hémicellulose [54].

### Lignine

La lignine est un copolymère tridimensionnel complexe constitué de composés aromatiques et aliphatiques à très haut poids moléculaire. Elle est constituée de trois unités différentes de type phénylopropane à savoir les alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique (**figure I.13**). C'est un matériau amorphe et hydrophobe de nature. Sa chimie n'a pas encore été précisément établie, mais la plupart de ses groupes fonctionnels et les unités structurales de la macromolécule ont été identifiés. Elle est caractérisée par la forte teneur en carbone mais une faible teneur en hydrogène. La lignine confère la résistance et la rigidité aux parois cellulaires en plus d'une protection contre les agents pathogènes microbiens. La teneur de la lignine dans les plantes est très variée étant donné qu'elle dépend souvent de la méthode d'analyse. Les lignines sont intimement associées à l'hémicellulose et la cellulose dans les parois cellulaires des plantes. Elle joue le rôle d'agent incrusté dans la matrice cellulose/hémicellulose, pour cette raison, la lignine est souvent dénommée l'adhésif de la paroi cellulaire végétale. En plus de la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, les parois cellulaires des plantes contiennent d'autres molécules organiques comme les protéines, les pectines, les cires, les composés aromatiques et les glucides de faible poids moléculaire [34].



**Figure I.13:** Représentation schématique d'une structure de lignine [34].

### Les inorganiques

La quantité des inorganiques est connue d'après la quantité de cendres obtenue après la dégradation des fibres à une température de  $575 \pm 25$  °C sous air. Ce sont des sels minéraux et d'autres matières inorganiques. Leur quantité est généralement élevée dans les plantes contenant de grandes quantités de silice [36]. Les fibres de lin, kénafe, coton et sisal sont pauvres en inorganiques (entre 0,8 et 5 % en masse), tandis que les différentes variétés de miscanthus contiennent entre 2 et 6 %m d'inorganiques et les fibres de bambou en contiennent entre 5 et 17 % en masse [55].

### Protéines et extractibles

Les protéines sont des polymères d'acides aminés parmi lesquels on trouve les enzymes et les toxines. Souvent, la quantité des protéines est considérée comme étant une partie du contenu de la lignine puisque les deux sont isolés par la même procédure [56].

Les extractibles constituent en général entre 0,3 et 3% de la masse des fibres naturelles.

Ils constituent les membranes cellulaires telles que la graisse, les acides gras, les alcools gras, les terpènes, les stéroïdes, les résines et les cires. Ils peuvent être des monomères, dimères et polymères [57].

### I.2.9. Modifications de surfaces des fibres végétales

Les fibres de cellulose sont incompatibles avec les polymères hydrophobes. Or, la qualité de l'interface fibre-matrice est importante pour l'utilisation des fibres naturelles comme fibres de renfort pour les polymères. Il est donc très souvent nécessaire de modifier la surface des fibres pour optimiser cette interface. Les méthodes de modification sont différemment efficaces en ce qui concerne l'adhésion entre la matrice et les fibres. Les méthodes les plus fréquemment utilisées dans la littérature sont le traitement à la soude en premier lieu souvent suivi par une silanisation ou une acétylation ou encore l'addition d'un compatibilisant [58].

#### I.2.9.1. Traitement à la soude (mercerisage)

La définition standard du mercerisage (proposée par la norme ASTM D 1965) est la suivante : procédé qui consiste à soumettre une fibre végétale à une interaction avec une solution aqueuse concentrée d'une base forte, dans le but de provoquer un gonflement important résultant en des changements dans la structure fine, la dimension, la morphologie et les propriétés mécaniques

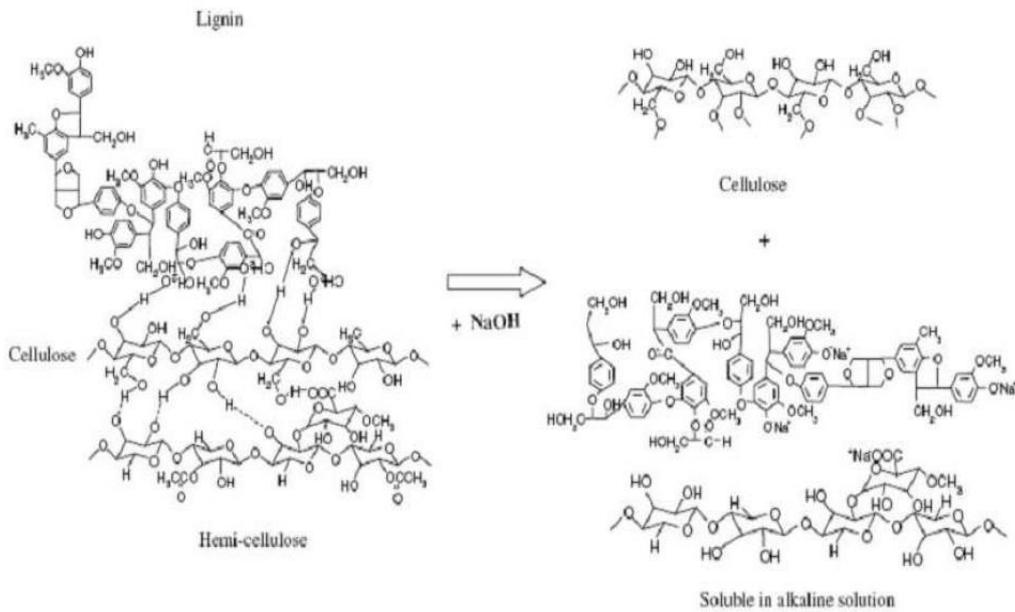
Le traitement à la soude ou mercerisage est l'un des traitements chimiques les plus utilisés avec les fibres naturelles lorsqu'elles sont utilisées pour renforcer les thermoplastiques et thermodurcissables.

La modification importante apportée par un traitement alcalin est la diminution des liaisons hydrogène entre la cellulose et les deux autres principaux constituants : hémicellulose et lignine.

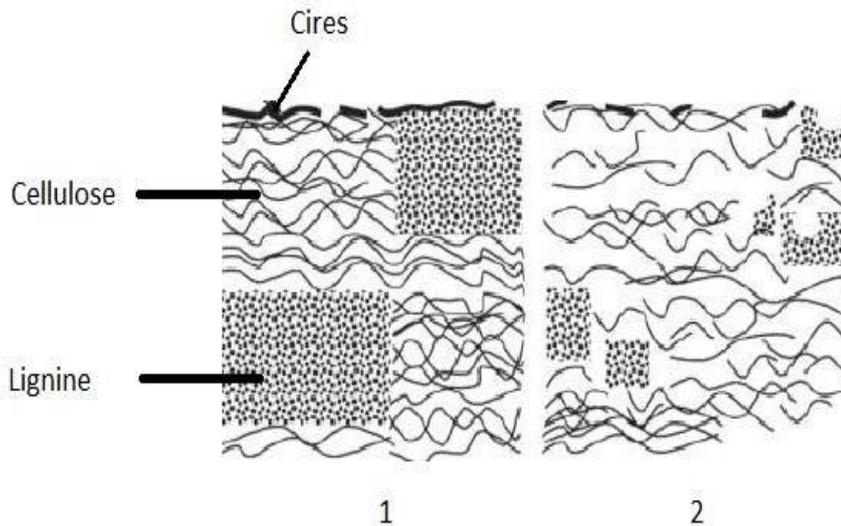
Le traitement par la soude change la topographie de la surface des fibres, supprime la cire, la pectine, une partie de la lignine, et l'hémicellulose ce qui est favorable à l'utilisation ultérieure des fibres comme renfort de matériaux polymères. En effet, l'élimination de ces composants est nécessaire car du fait de leur structure amorphe, ils conduisent à une résistance en traction plus faible.

En plus, après le traitement à la soude, beaucoup de groupes  $-OH$  sont présents sur la surface des fibres (**Figure I.14**) et on peut donc traiter les fibres facilement avec d'autres constituants chimiques comme les silanes, l'acide acétique... [58].

# Chapitre I : Etude bibliographique



**Figure I.14 :** Réaction de traitement par la soude [58].



**Figure I.15:** Structure typique de la fibre lignocellulosique (1) non traitée et (2) et après traitement alcalin [59].

## I.2.9.2. Traitement par les silanes

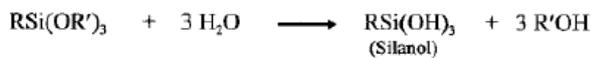
Un alcoxyde de silicium fonctionnalisé appelé à défaut silane, représenté par  $R'-Si(OR)_3$ , est l'un des meilleurs agents de couplage, utilisés dans les composites polymère- fibres de

# Chapitre I : Etude bibliographique

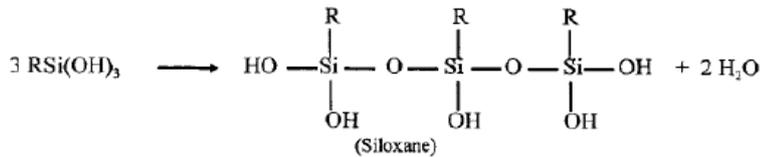
bois. Ce sont des composés hydrophiles comme ils peuvent être hydrophobes avec différents groupements associés au silicium tels qu'une extrémité va interagir avec la matrice et l'autre avec la fibre hydrophile, agissant comme un pont entre eux.

L'absorption de silane est très dépendante d'un certain nombre de facteurs, comme le temps d'hydrolyse, la fonctionnalité, la température et le pH. Les alkoxydes de silicium sont capables de former des liaisons avec les groupes hydroxyles. Les silanols peuvent former des polysiloxanes par réaction avec les groupes hydroxyles de la fibre [60]. La réaction chimique est décrite dans la (Figure I.16)

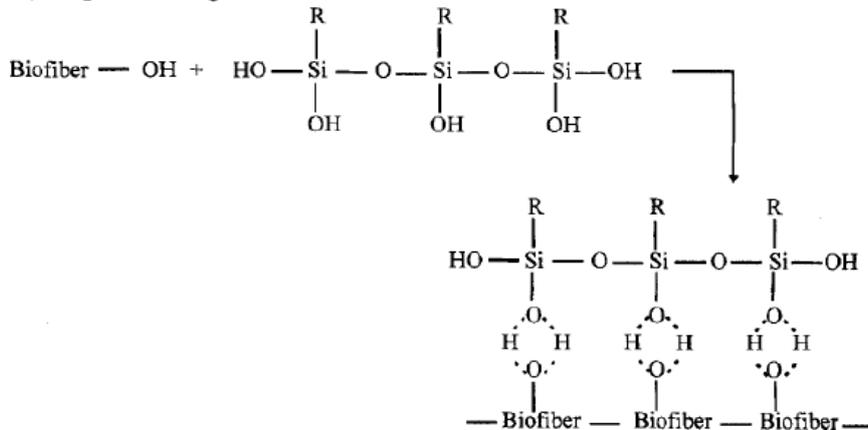
### Hydrolysis



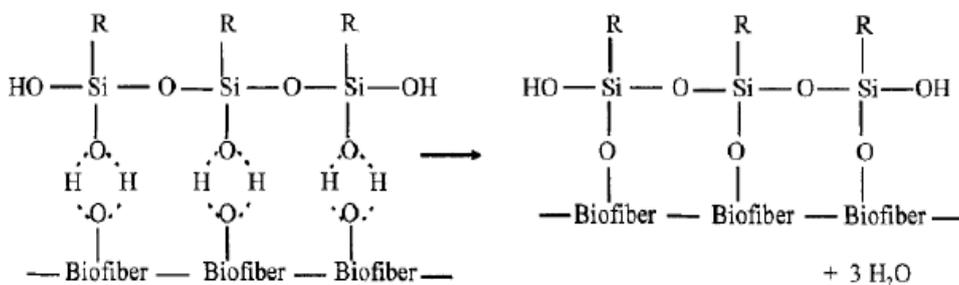
### Condensation



### Hydrogen Bonding



### Surface Grafting

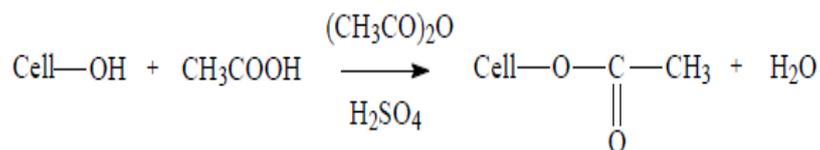


**Figure I.16:** Réactions chimiques du traitement par un alcoxyde de silicium fonctionnalisé

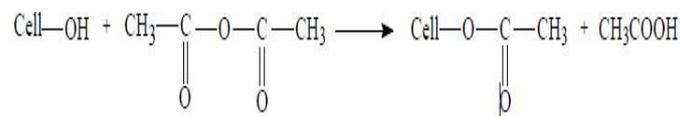
[61]

### I.2.9.3. Acétylation

L'acétylation est une méthode plutôt attrayante pour modifier la surface des fibres naturelles et la rendre plus hydrophobe. Elle a été utilisée pour réduire le gonflement du bois dans l'eau et a été étudiée plus que toute autre réaction chimique des matériaux lignocellulosiques. Le principe de la méthode est de faire réagir les groupes hydroxyles (-OH) de la fibre avec les groupements acétyles (CH<sub>3</sub>CO-), et donc de rendre ainsi la surface de la fibre plus hydrophobe. Les groupes hydroxyles qui réagissent sont ceux des constituants mineurs de la fibre, c'est-à-dire la lignine et les hémicelluloses, et ceux de la cellulose amorphe. Les groupes hydroxyles des régions cristallines de la fibre sont étroitement compactés grâce à des liaisons intermoléculaires fortes, et sont inaccessibles aux réactifs chimiques. L'acétylation du groupe (-OH) est représentée dans les figures suivantes [62] :



**Figure I.17** : Acétylation avec un catalyseur acide



**Figure I.18** : Acétylation sans catalyseur acide

### I.2.9.4. Traitement au Permanganate de potassium

Le traitement au Permanganate est indiqué comme l'une des meilleures méthodes pour améliorer la liaison à l'interface fibre-polymère, il améliore la résistance à la traction en augmentant la cohésion avec la matrice [63].

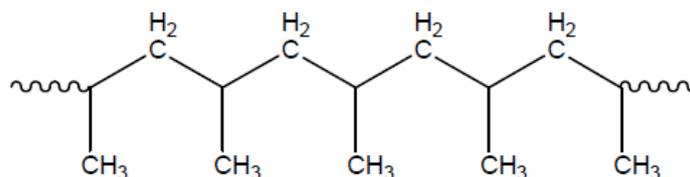
## I.3. Le Polypropylène (PP)

Le polypropylène est un polymère semi cristallin largement utilisé dans diverses industries telles que l'automobile, construction, emballage alimentaire et même dans le domaine médical. La diversité d'application du polypropylène n'est pas du tout un hasard, mais elle résulte du fait, qu'il possède de très bonnes résistances chimiques, basse densité, un point de fusion relativement élevé. Le polypropylène se présente de nos jours 22 % en masse dans la production mondiale des thermoplastiques [64,65].

La production industrielle du polypropylène s'effectue à partir du monomère de propylène en utilisant des catalyseurs type Ziegler-Natta produisant ainsi des polypropylènes à différentes structures, mais majoritairement le type iso-PP [66].

### 1.3.1. Structure de polypropylène

La formule générale du polypropylène est donnée comme suit [66] :



**Figure I.19** : Structure moléculaire de l'isopolypropylène (polypropylène isotactique)

### I.3.2. Propriétés générales du polypropylène

Les propriétés des polypropylènes, qu'ils soient des homopolymères ou des copolymères, dépendent de leur cristallinité, de leur masse moléculaire, de leur distribution moléculaire, dont certaines sont résumées sur le **tableau(I.5)** [67].

**Tableau I.4** : propriétés du polypropylène

Propriétés	Valeurs (unités)
Masse volumique moyenne	0.905
Indice de fluidité a chaud 230	2-3 (g/10min)

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

°C , 2.16Kg	
Le taux de cristallinité	60-70%
Température de fusion	160-170°C

### I.3.3. Avantages de polypropylène

Le polypropylène est l'un des plus importants des polymères commerciaux en raison de ses propriétés supérieures telles que la bonne résistance à la fissuration due aux contraintes mécaniques, et plus particulièrement aux contraintes de flexion, la faible densité, de bonnes propriétés mécaniques, y compris une excellente résistance aux chocs, tout en étant durs et ayant des surfaces très résistantes aux rayures. En outre, le polypropylène a de bonnes caractéristiques diélectriques [68].

Le polypropylène est chimiquement inerte et insoluble à la température ambiante. D'autres propriétés remarquables sont également offertes par le PP, la résistance à la putréfaction et à la moisissure, ainsi qu'une bonne résistance à la chaleur jusqu'à 116° C [69].

### I.3.4. Domaines d'application du Polypropylène

Vu les propriétés du polypropylène, il se trouve utilisé dans des domaines d'application très variés : l'industrie automobile, l'électroménager, récipients pour margarine, meubles de jardin, emballages pour gâteaux, fibres pour certains tapis de sol, classeurs, valisettes, boîtes de stockage, conduits d'aération et pare-chocs [67].

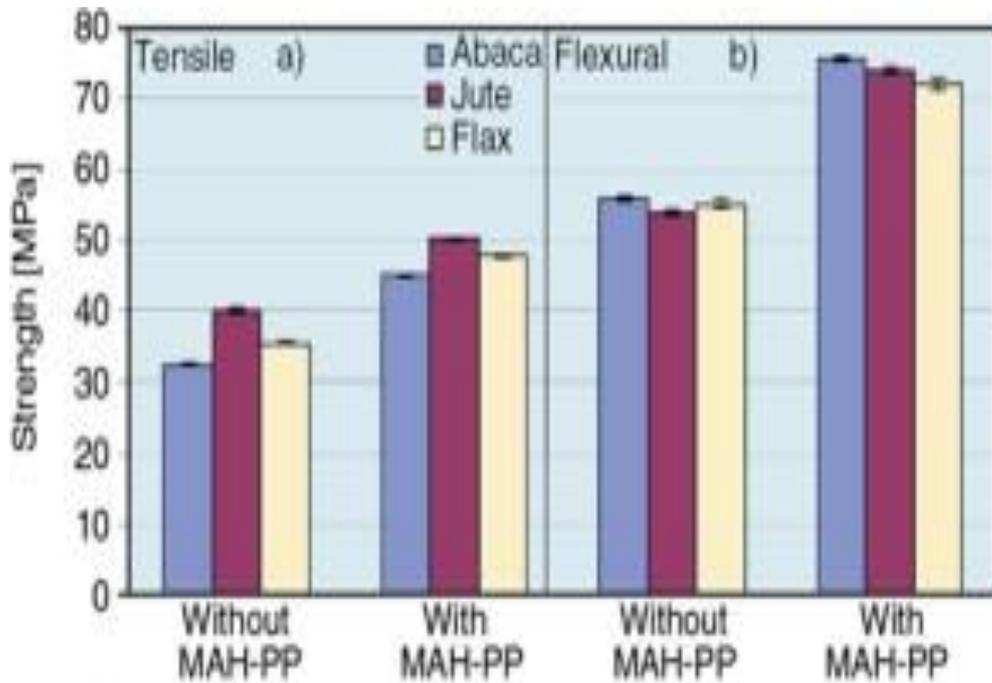
### Rappels bibliographiques

Dans cette section, un bref aperçu de différents articles s'étant intéressés à l'élaboration de composites à base de fibres végétales est donné. Plus particulièrement, les travaux ayant utilisé la matrice polypropylène.

**Mendez et al. [70]**, ont étudié les propriétés des composites PP/pulpe de bois, les auteurs ont constaté également une augmentation du module avec la teneur en fibres ainsi qu'une diminution de la déformation à rupture mais dans leur cas la contrainte à rupture augmente aussi avec le taux de fibres. Ils attribuent ce résultat peu courant à un ancrage mécanique entre la fibre et la matrice.

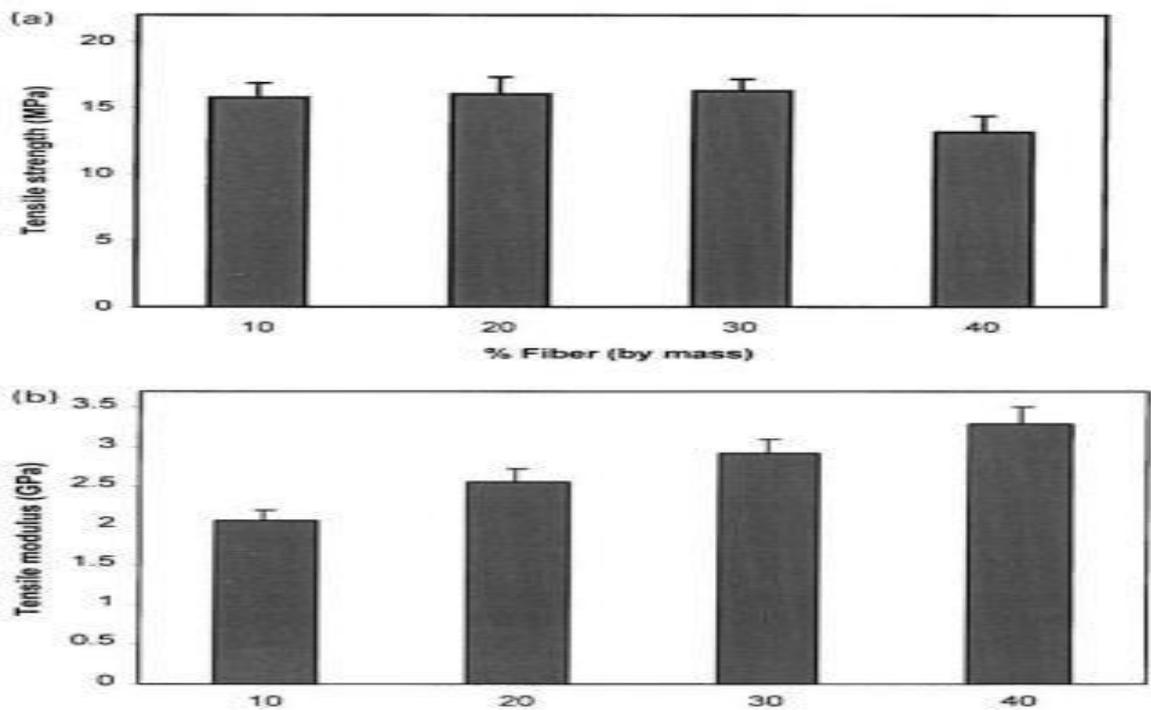
**Luz et al. [71]** ont montré que le taux de cristallinité des composites renforcés par les fibres traitées alcalin ou alcalin/ silane est supérieur à celui de polymère. Ceci pourrait être dû à des interactions plus fortes entre la fibre et la matrice causées par les silanes. L'influence des fibres sur la cristallisation du PP serait alors plus grande. On constate également une légère variation de la température de fusion des cristaux de polypropylène en fonction du traitement de la fibre ou de l'ajout de compatibilisant

**A.K.Beldzkiet al.[72]** ont étudié les composites en polypropylène renforcés par les fibres d'abaca et les comparer avec les composites PP/fibre de jute et PP/fibre de lin. Ils ont utilisé différents taux de charge (20, 30, 40, 50 % en poids). Après examen des propriétés mécaniques des différents composites élaborés, pour un taux de charge inférieure à 40 % la résistance de traction et de flexion augmentent. Au de là de ce taux l'effet inverse a été constaté



**Figure I.20 :** Comparaison de la résistance à la traction et à la flexion de composites abaca/jute/fibre de lin-PP avec et sans MAH-PP [72]

**Thwe et al. [73].** Ont étudiés les propriétés mécaniques des composites en fonction du taux de fibre de bambou, ils ont constatés qu'aucune variation significative de la résistance en traction n'est constatée lorsque le taux de fibres de bambou varie entre 10 et 30% massique, par contre celle ci diminue lorsque le taux de fibres augmente jusqu'à 40%. Cette diminution pourrait être attribuée à une faible adhésion entre la fibre et la matrice qui serait à l'origine de la formation de microfissures à l'interface.



**Figure I.21 :** Variation de la résistance à la traction en fonction du taux de fibres de bambou [73]



**Figure I.22 :** Image SEM montrant une mauvaise adhésion de fibres de bambou/matrice [73]

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

Quelques auteurs observent cependant, pour leurs composites, un comportement mécanique différent.

**Bledzki et al. [74]**, sur des composites PP/abaca, PP/lin et PP/jute, ont montré que les propriétés mécaniques (en traction et choc ) s'améliorent jusqu'à 40% de fibres et se détériorent ensuite, probablement du fait d'une plus mauvaise distribution des fibres à taux élevé

**Hanafi et al. [75]**, la résistance mécanique du composite (caoutchouc naturel/fibres de bambou) diminue lorsque les renforts ont une forme irrégulière du fait d'un moins bon contact entre la fibre de bambou et la matrice et d'une plus grande difficulté pour la fibre de récupérer les contraintes transférées par la matrice.

D'autres auteurs comme **Vilaseca et al [76]** (fibre d'abaca/PP), **Mutje et al. [77]** (fibres de chanvre/PP) et **Mendez et al. [78]** (pulpe de bois/PP) constatent également une augmentation de module de Young avec la teneur en fibres ainsi qu'une diminution de la déformation à rupture mais dans leur cas la contrainte à rupture augmente aussi avec le taux de fibres. Ils attribuent ce résultat peu courant à un ancrage mécanique entre la fibre et la matrice et à un phénomène de diffusion du polymère dans la fibre mais aussi à la présence de transcristallinité.

## Références

- [1] : F.Baala et N, Ouhnane « matériaux composite », Science de la Matière Physique, Faculté Polydisciplinaire de Ouarzazate, mai 2018.
- [2] : M.Kneveler ,« Mise en œuvre des matériaux composites » , Institut Catholique d'arts et Métiers ,2006.
- [3] : Michel, « Aide-mémoire de science des matériaux », 2005.
- [4] : J,Weiss et C.Bord., «les matériaux composites», tomes 1 et 2,édition de l'usine,1993.
- [5] : « glossaire des matériaux composites », Centre d'animation régional en matériaux avancés ,2004.
- [6] : L.Chikouche et D.Mohamed, «Renforcement d'un polymère (polyester insaturé) par des fibres végétales (Arundo donax) » Thèse de doctorat, option Chimie Appliquée,université ferhat abbas sétif 1 2016.
- [7] : A.Dufressure,« Etude de l'interface/interphase des composites modèles DGEBADDA/ bille de verre d'informations sur les agromatériaux et les biopolymères » ; chargé de mission VANAPA 2006.
- [8] : G.Aliprandi, « Matériaux réfractaires et céramiques techniques éléments de céramiurgie et de technologie ». LAVOISIER S.A.S, 1979.
- [9] : J.Weiss, « Les matériaux composites », L'Usine nouvelle ed, CETIM – Centre Technique des Industries Mécaniques, Ed. Paris, France, 1991
- [10] : A.Karmarkar, S.S. Chauhan, Jayant M. Modak, , «Mechanical properties of wood– fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group», Composites, Part A 38, 227–233, 2007.
- [11] : N.Rabhi.et Abdeldjalil « Comportement au choc des stratifiées composites renforcées par des fibres naturelles (Fibre de Cactus) »Université Kasdi Marbah Ouargla, 2013.
- [12] : B.Hagege, « Simulation du comportement mécanique des milieux fibreux en grandes transformations : application aux renforts tricotés ». 2004.
- [13] : Huguet et Stéphane. « Application de classificateurs aux données d'émission acoustique : identification de la signature acoustique des mécanismes d'endommagement dans les composites à matrice polymère ». Lyon, INSA, 2002.
- [14] : M Hernandez et Avila. « Etude de mélanges ternaires époxyde /PMMA /montmorillonite. Élaboration, contrôle de la morphologie et des propriétés ». INSA de Lyon, 2007.
- [15] : A Efendy, P. Kim et T. Minh Le. « A review of recent developments in natural fiber

composites and their mechanical performance », Composites Part A : Applied Science and Manufacturing 2016

- [16] : C.Belkacemi, « étude expérimentale du comportement mécanique des stratifiés à renforts en matière végétale », université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, 2006.
- [17] : N.Mahmoudi, « Etude et modélisation du comportement mécanique des matériaux composite » option mécanique, université de Mostaganem, juin 2010
- [18] : T.Achour , « Étude des techniques de réparation des structures composite endommagées », Université de Mentouri Constantine année 2010/2011.
- [19] : A.Jérémie, « étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable », INSA de Rouen, France, 2009.
- [20] : D. Sedan, « Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite », Thèse de doctorat, l'Université de Limoges, 2007.
- [21] : R. Zenaseni, «Influence du vieillissement hygrothermique sur le comportement a la rupture des composites a matrice thermoplastique », thèse de doctorat; Université des Siences et de la Technologie Oran
- [22] : M.Haddadi, « étude numérique avec comparaison expérimental des propriétés thermoplastique des matériaux composites à matrice polymère », université Al Hadj Lakhdar, Batna, 2011.
- [23]: M.Ragoubi, « Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne », Université Henri Poincaré Nancy 1, Nancy, France, Thèse de doctorat 2010
- [24] : G. Lionel, « Quelques procédés de mise en forme des composites », sciences de l'ingénieur, Sep. 12, 2011.
- [25] : C. Baley. « Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. Technique de l'ingénieure, traité génie des procédés », Vol. AM5, 2004, pp. 130
- [26] : S. Delsol. « Évaluation du coefficient d'orientation dans les bétons renforcés de fibres métalliques ». École Polytechnique de Montréal, 2012.
- [27] : Bouhank « Effet d'absorption d'eau sur le comportement mécanique des composites PP/farine cellulosique », Mémoire de Master, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas Sétif 2012.
- [28] : B. Karim. « Étude expérimentale et numérique du vieillissement hygrothermique d'un composite en polypropylène renforcé par des fibres courtes de chanvre. Diss »

Université du Québec à Trois-Rivières, 2014.

- [29] : P. Edwin. « Nature of adhesion through silane coupling agents Silane coupling agents. Springer » Boston, MA, 1991. 115-152.
- [30] : D.Mohammedi et O.Ouadi « élaboration et caractérisation d'un biocomposite à matrice polyester » option génie des polymère, universite de bejaia 2020.
- [31] : J. S. Han and J. S. Rowell, «Chemical Composition of Fibers, » in Paper and composite from agro-based resources, vol. 283, 2008, pp. 83–134.
- [32] : T. H. Mokhothu and M. J. John, « Review on hygroscopic aging of cellulose fibres and their biocomposites» Carbohydrate Polymers, vol. 131, pp. 337–354, 2015.
- [33] : B, Talal. « Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites Bois/Plastiques WPC » Thèse de doctorat, l'université de Pau et des pays de l'Adour, 2011.
- [34] : L, Yahiaoui. « Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss) » . Mémoire de magister. Sétif. Université FERHAT ABBAS- SETIF, 2011.
- [35] H. Krässig « Cellulose - Structure, Accessibility and Reactivity»; Polymer Monographs, Volume 11 Edition Huglin, M.B.Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam (1993).
- [36] : A.Y. Nenonene, « Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage », thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009
- [37] : F. Michaud, « rhéologie de panneaux composites Bois/thermoplastiques Sous chargement thermomécanique : Aptitude au postformage, » Thèse de doctorat, université laval Québec, Canada et université Bordeaux, France, 2003.
- [38] : M.A Sawpan, , K.L Pickering, et A Fernyhough; « Effect of various chemical treatments on the fibre structure and tensile properties of industrial hemp fibres» Composites Part A, 42: 888– 895 (2011).
- [39] : C.Ververis, et al , « Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their Suitability for paper production »; Industrial Crops and Products, 19: 245–254 ( 2004).
- [40] : N.Aboud, W. Allaoua «Etude des Biocomposites à base de biopolymères/fibre végétales : Fibre de diss »option génie des polymères, université de Bejaia 2020
- [41] : M. Arous, I. Ben Amor, S. Boufi, A. Kallel, « Experimental study on dielectric

relaxation in Alfa fiber reinforced Epoxy composites », A. J. APP. Polym. Sci., 106, 3631-3641, 2007.

- [42] : C.Geneau-Sbartai. « Procédé d'élaboration d'agromatériau composite naturel par extrusion biva et injection moulage de tourteau de tournesol ». 2006.
- [43] : Thomas et al. « Natural fibres: structure, properties and applications. Cellulose fibers: bio-and nano-polymer composites. Springer », Berlin, Heidelberg, 2011. 3-42.
- [44] : R. Murali et R. Mohana. « Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo » Composite structures 77.3 (2007): 288-295.
- [45] : D.Mohamed. « Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (Stipa Tenacissima L.) » Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil. 2012
- [46]: A. Gandini, et M.N Belgacem; «La chimie des substances renouvelables »; L'actualité chimique , 6-14 (2002).
- [47] : L. Xiaobo , « Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing », Master, The School of Renewable Natural Resources, 2007.
- [48] : Vi Vi Do Thi, « Matériaux composites `a fibres naturelles / polymère biodégradables ou non », Université de Grenoble, on 15 Déc. 2011
- [49] : H. Yang et al « Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis; Fuel 86, 1781-1788, Chuguang Zheng, 2007
- [50] : C. Belkacemi, « étude expérimentale du comportement mécanique des stratifiées à renforts en matière végétale», université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, 2006.
- [51] : G. Siqueira et al, « Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications Polymers » 2, 728-765, 2010
- [52] : A. Sandali et N. Rabhi , «Comportement au choc des stratifiées composites renforcées par des fibres naturelles (fibre de cactus) », UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA, Le : 26/06/2013.
- [53] : M. Ragoubi ; « Contribution à l'amélioration de la compatibilité interracial fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne », l'Université Henri Poincaré Nancy 1, le 14 Décembre 2010.
- [54] : I.Y. Omiri « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère », mémoire master, université du m'sila , 2014/2015.
- [55]: M. Dallel, « Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (StipaTenacissima L.) : Caractérisation physico-chimique de la, fibre au fil » ; Université de Haute Alsace -

Mulhouse, 12 Jul 2013.

- [56] : S.Fertikh, « Caractéristiques mécaniques des composites à base de fibres de DISS dans différentes matrices », Université Badji Mokhtar Annaba, 6 au 8 juin 2012.
- [57] : CARMA, « Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable », centre d'animation régional en matériaux avancés, Décembre 2006.
- [58] : M.Jacob Johnet al, « Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites »; Polymer composites, 187-207, 2008
- [59] : L. Y. Mwaikambo and M. P. Ansell, "Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization," Journal of Applied Polymer Science, vol. 84, no. 12, pp. 2222–2234, 2002.
- [60] : Richa Agrawal, N. S. Saxena, M. S. Sreekala, S. Shomas, 2000; Effect of Treatment on the Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Oil-Palm-Fiber-Reinforced Phenolformaldehyde Composites; Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, Vol. 38, 916-921.
- [61] : Rajeev Karnani, Mohan Krishnan, Ramani Narayan, 1997; Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites; Polymer engineering and science, Vol. 37, No. 2, 476-483.
- [62] : L.Y. Mwaikambo, M.P. Ansell, 1999; The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok fibres for composite reinforcement; Die Angewandte Makromolekulare Chemie 272, 108-116.
- [63] : George J, Bhagawan S, Thomas S; « Fiber stress analysis in short fiber reinforced composites by means of laser Raman spectroscopy» ; Compos. Interface, 5: 201-223(1998).
- [64] : S. Ch. Turmanova, S. D. Genieva, Non-isothermal degradation kinetics of filled with rice husk ash polypropylene composites, eXPRESS Polymer Letters, 133–146, 2008.
- [65] : Sandor FÜZESSERY, Polypropylènes, Techniques de l'Ingénieur, traité plastiques, A3320.
- [66] : Ian Hamerton, Polymers, the Environment and Sustainable Development, Wiley Editorial Offices, HANDBOOK, 2003.
- [67] : Dr. Gilles OLIVE, Chimie des Matériaux, 3ème Edition, Techniques de l'ingénieur traité généralités, 2005.
- [68] : D. Metin, F. Tihminliog, D. Balkose, S. U lku, The effect of interfacial interactions on

the mechanical properties of polypropylene/natural zeolite composites, *Composites: Part A* 35, 23–32, 2004.

- [69] : *Hans-Henning Kausch, Nicole Heymans, Christopher John Plummer, Pierre Decroly*, *Matériaux polymères : Propriétés mécaniques et physiques, Traité des Matériaux*, Presses Polytechniques et Université ROMANDES, 2001.
- [70] : J. A. Mendez, F. Vilaseca, M. A. Pèlach, J. P. Lopez, L. Barbera, X. Turon, J. Gironès, P. Mutje, 2007; Evaluation of the reinforcing effect of ground wood pulp in the preparation of Polypropylene-based composites coupled with Maleic Anhydride Grafted Polypropylene; *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 105, 3588-3596.
- [71] : S.M. Luz, J. Del Tio, G.J.M. Rocha, A.R. Goncalves, A.P. Del'Arco Jr, 2008; Cellulose and cellulignin from sugarcane bagasse reinforced polypropylene composites: Effect of acetylation on mechanical and thermal properties, *Composites: Part A* 39, 1362-1369.
- [72] : A. K. Bledzki, A. A. Mamun, O. Faruk, Abaca fibre reinforced PP composites and comparison with jute and flax fibre PP composites, *eXPRESS Polymer Letters*, 755–762, 2007.
- [73] : Moe Moe Thwe, Kin Liao, 2002; Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites; *Composites: Part A* 33, 43-52.
- [74] : A. K. Bledzki, A. A. Mamun, O. Faruk, 2007; Abaca fibre reinforced PP composites and comparison with jute and flax fibre PP composites; *express Polymer Letters* Vol.1, No.11, 755-762.
- [75] : [75]: Hanafi Ismail, S. Shuhelmy, M. R. Edyham, 2002; The effects of a silane coupling agent on curing characteristics and mechanical properties of bamboo fibre filled natural rubber composites; *European Polymer Journal* 38, 39-47.
- [76] : [76]: Fabiola Vilaseca, Alex Valadez-Gonzalez, Pedro J. Herrera-Franco, M. Àngels Pèlach, Joan Pere López, Pere Mutjé, 2010; Biocomposites from abaca strands and polypropylene. Part I: Evaluation of the tensile properties; *Bioresource Technology* 101, 387-395.
- [77] : P. Mutje, M. E. Vallejos, J. Girones, F. Vilaseca, A. Lopez, J. P. Lopez, J. A. Mendez, 2006; Effect of Maleated Polypropylene as coupling agent for Polypropylene composites reinforced with Hemp strands; *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 102, 833-840.

[78] : J. A. Mendez, F. Vilaseca, M. A. Pèlach, J. P. Lopez, L. Barbera, X. Turon, J. Gironès, P. Mutje, 2007; Evaluation of the reinforcing effect of ground wood pulp in the preparation of Polypropylene-based composites coupled with Maleic Anhydride Grafted Polypropylene; *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 105, 3588-3596.

## ***Chapitre II : Matériels et méthodes***

### Chapitre II

#### Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous présentons les données techniques concernant les matériaux utilisés, le protocole d'extraction et de traitement des fibres de Bambou, ainsi que les procédures utilisées dans l'élaboration des biocomposites. Les techniques expérimentales de caractérisation qui ont permis d'analyser les propriétés physico-chimiques et mécaniques des matériaux obtenus vont être aussi présentées.

#### II.1. Matériaux utilisés

##### II.1.1. Le polypropylène PP

Le polymère utilisé dans ce travail est le polypropylène homopolymère de structure isotactique fourni par le complexe Bejaia Emballage (Jute). Le tableau II.1 ci-dessous montre quelques caractéristiques du PP utilisé :

**Tableau II.1** : Caractéristiques du polypropylène utilisé

Propriétés	Valeurs	Norme
Indice de fluidité (230° /2.16KG)	3.4g/10min	ISO 1133
Densité	0.900g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Température de fusion	±5% 159°C	DSC
Température de ramollissement	±5% 154°C	ISO 306A
Force traction	≥33 Mpa ≥27Mpa	ISO 527-1,2 ISO 527-1,2
Allongement	480 %	ISO 527-1,2



**Figure II.1** : Polypropylène utilisé

### **II.1.2. Préparation et conditionnement de la farine des fibres de bambou**

Les fibres de bambou sont extraites des tiges de l'Arundo donax, famille des Poacea, de la région Feraoun, Bejaia. Cette herbe vivace est un hydrophyte poussant le long des lacs et des rivières et notamment dans les deux rives du bassin méditerranéen.

Une fois que les tiges de bambou récoltées et débarrassées de feuilles, elles ont ensuite été nettoyées pour les laisser sécher pendant 5 mois. Une fois que les tiges sont bien séchées, ensuite nettoyées pour débarrasser de la poussière et découpées en petits morceaux pour faciliter le broyage. Les morceaux ont été broyés à l'aide d'un broyeur (Retsch ZM 200) à rotor à une vitesse de 6000tr/min au niveau du laboratoire des matériaux polymères avancés, de l'université de Bejaia. La matière broyée a été ensuite tamisée à l'aide d'un tamis de 80 $\mu$ m, ceci est plus adéquat pour avoir une bonne dispersion de la charge dans la matrice polymère [2]. Les fibres obtenues sont séchées dans une étuve à 80°C pendant 24h.



**Figure II.2 :** Tiges de la plante de Bambou



**Figure II.3 :** Broyeur à rotor de marque Retsch

### II.1.3. Produits chimiques

- Hydroxyde de sodium : commercialisé par la société BIOCHEM Chemopharma. De masse moléculaire de 40 g/mol. Ce produit a été utilisé afin de parfaire le nettoyage des fibres d'une part, et d'effectuer un premier traitement de surface sur les charges pour une meilleure accroche à la matrice polymérique.
- Acide acétique : commercialisé par la même société. De masse moléculaire de 84,93g. mol<sup>-1</sup>. Il a été utilisé pour ajuster le pH lors de la silanisation des fibres.
- Hydrogenperoxide solution : commercialisé par honeywell de masse moléculaire de 34,01 g /mol, il a été utilisé pour le blanchiment.
- Acétone : commercialisé par Honeywell de masse moléculaire 58,08g /mol, il a été utilisé pour faire le traitement de surface avec les permanganates de potassium
- Permanganate de potassium : commercialisé par AnalarNormapur VWR de masse moléculaire 158,03 g/mol, utilisé pour effectuer le traitement de surface avec les permanganates de potassium.
- Acide sulfurique : commercialisé par Honeywell de masse moléculaire 98,08 g /mol, utilisé pour la composition chimique de la fibre.
- Ethanol : commercialisé par Specilab, de masse moléculaire de 46g/mol, utilisé pour déterminer le taux d'extractibles.
- Benzène : commercialisé par Fluka de masse moléculaire de 78,12g/mol, utilisé pour déterminer le taux d'extractibles.
- Le triméthoxysilane d'octadécyle (trimethoxy (octadecyl) silane (TMOS)) a été fourni par Sigma Aldrich.

## II.2. Traitement des fibres de Bambou

### II.2.1. Traitement par la soude

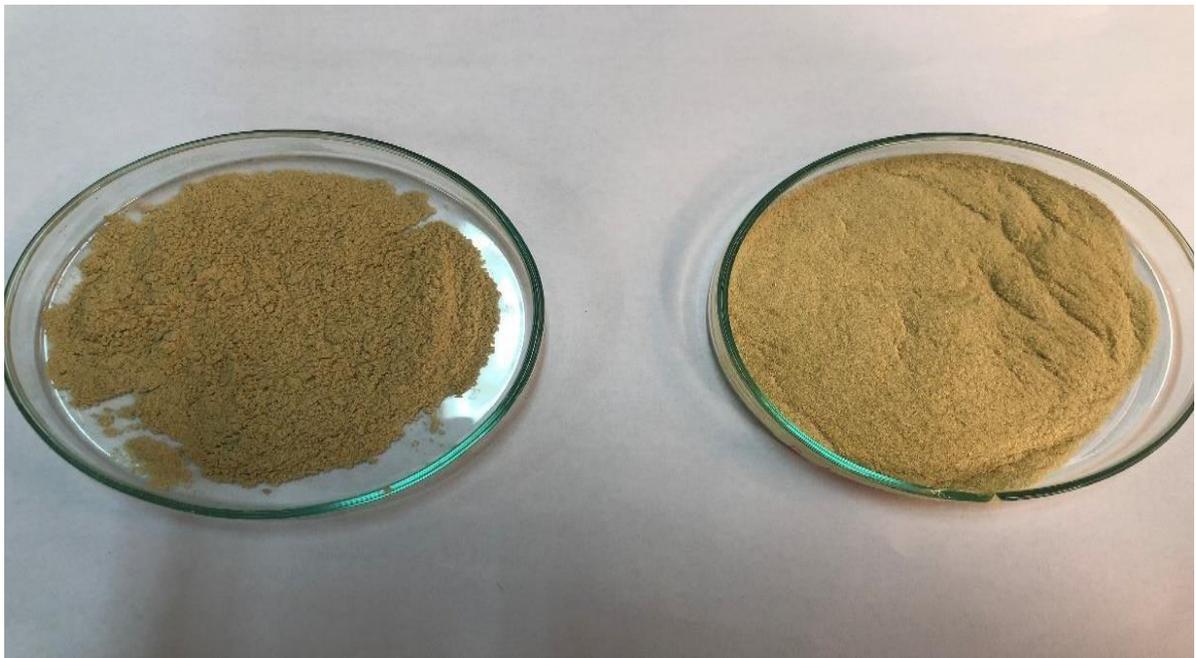
L'objectif de traitement est d'éliminer les impuretés, éliminer l'hémicellulose, la pectine et une certaine quantité de lignine, ce protocole a été inspiré de Zafar et al [1].

- Etuvage des fibres à 80°C pendant 24h
- Préparation d'une solution de 500ml d'eau distillée à 0,5M de NaOH avec un ratio fibre/solution de 1/20
- Agitation pendant 2h à une température de 60°C
- Rinçage avec de l'eau distillée jusqu'à neutralisation du pH
- Etuvage des fibres à 80°C

### II.2.2. Blanchiment

L'objectif est la décoloration des fibres, le protocole utilisé est inspiré du travail de Momeni et al. [2]

- Préparation d'une solution de 240ml d'eau distillée avec 5g d'NaOH sous agitation pendant 15min.
- Ajout d'une quantité de fibres préalablement traitées alcalines.
- Préparation d'une deuxième solution H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/eau distillées de 24ml/216ml.
- Incorporation de la deuxième solution dans la première et porter le mélange à agitation pendant 1h30.
- Lavage jusqu'à neutralisation du PH.
- Etuvage à 80°C.



**Figure II.4 :** fibres de bambou avant et après blanchiment

### II.2.3. Traitement combiné alcalin/Silane

L'objectif de ce traitement est de greffer les molécules du TMOS sur la surface de la fibre avec d'améliorer l'adhésion avec le PP. Le protocole de ce traitement a été effectué en suivant les étapes suivantes [3] :

- Préparation d'une solution éthanol/eau distillée à 60/40
- Ajout d'une quantité du TMOS à 3% en masse par rapport à la masse des fibres préalablement traitées alcalines sans blanchiment

- Agitation pendant 1h à une température de 60°C
- Ajout des fibres dans la solution sous agitation pendant 3h
- Lavage des fibres jusqu'à neutralisation du PH
- Etuvage à 105°C pendant 24h



**Figure II.5 :** fibres de bambou après traitement aux silanes

### **II.2.4. Traitement permanganate de potassium**

L'objectif de ce traitement est d'améliorer la liaison à l'interface fibre-polymère, le traitement suivi est extrait de l'étude de P. Madhua et al [4]. Les étapes de traitement sont comme suit :

- Préparation d'une solution de 400ml d'acétone avec 2g de  $KMnO_4$  sous agitation
- Introduire la quantité de fibre à traiter dans la solution
- Agitation pendant 30min
- Lavage et séchage à 80°C

### **II.3.Procédés de mise en œuvre des composites PP/fibres de Bambou**

Le polymère et la charge ont été préalablement séchés à 70°C pendant 24h. Le taux de charge de fibres de Bambou est fixé à 20% en masse. Le tableau ci-dessous résume les formulations élaborées et les codes utilisés dans notre étude .

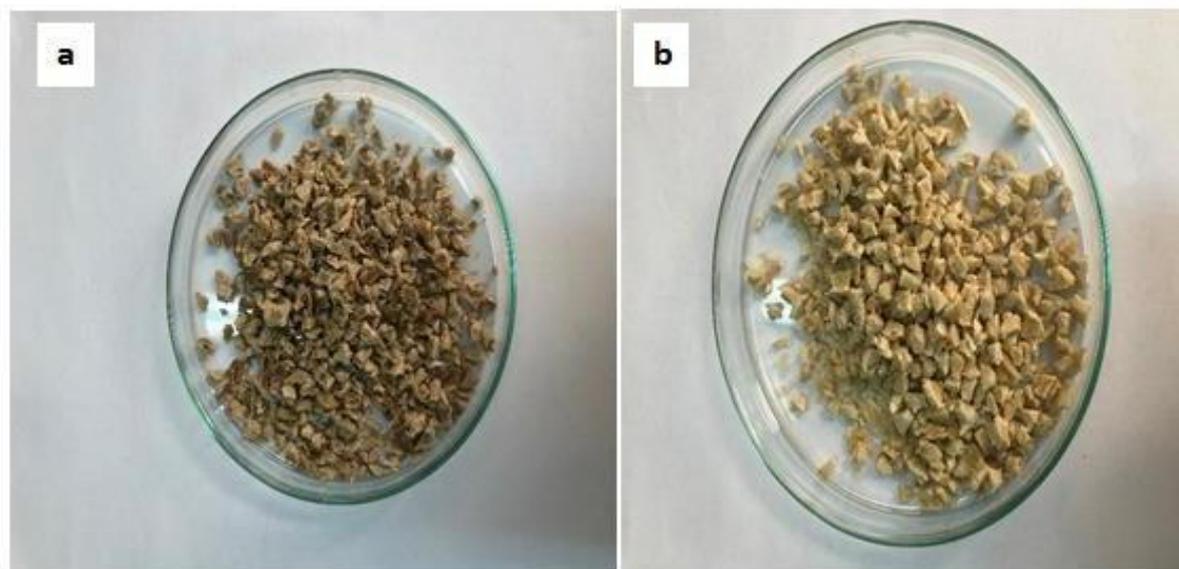
## Chapitre II : Matériels et méthodes

**Tableau II.2 :** Codes des différentes formulations élaborées.

Formulations	Code	Pourcentage (%)
PP	–	100
PP /Fibres bambou non traitées	PP/FDNT	80/20
PP/Fibres bambou traitées NaOH+ blanchiment	PP/FDT	80/20

Le mélangeur interne de type Brabender (Plasti-corder, Brabender) a été utilisé dans la préparation des composites PP/Bambou selon les compositions rapportées en Tableau II.3. Le malaxeur possède une chambre de malaxage et deux rotors contrarotatifs. Ce réacteur isochore permet d'imposer un malaxage de type tangentiel à une vitesse de cisaillement donnée. Cet appareil permet également de mesurer la température de la matière ainsi que le couple moteur exercé par le fluide sur les pales du rotor.

Les différents paramètres ajustables sont la température de la chambre, la vitesse de rotation des rotors et le temps de mélange qui sont fixés comme suit : 180°C, 50 tr/min et 8 min, respectivement. Pour éviter toute contamination, la chambre et les rotors sont nettoyés avant de préparer de nouveaux échantillons.



**Figure II.6 :** Extrudés à base de PP/FNT (a) et PP/FTAB (b)

### Presse hydraulique

La technique de mise en forme par compression a été employée afin d'obtenir des disques utilisables pour les expériences de l'angle de contact, des barreaux et éprouvettes pour les tests au choc et tests mécaniques de traction. Les différents paramètres ajustables de la presse hydraulique utilisée sont :

- Temps de préchauffage est 3 minutes sous 0 bar
- Temps de compression est 2min
- Pression maximale de 150 Kg/cm<sup>2</sup>



**Figure II.7 :** Presse à compression Carver

## II.4. Techniques de Caractérisation

### II.4.1. Composition chimique des fibres de bambou

La composition chimique de fibres de bambou a été déterminée selon le protocole suivant [5] :

#### ➤ Détermination du taux des extractibles

Un échantillon séché de la fibre brut de masse G0 a été introduit dans un ballon avec un mélange de benzène/éthanol. Le tout a été porté à une température de 60°C pendant 3h.

L'échantillon a ensuite été filtré puis séché à 105°C jusqu'à stabilisation de la masse. Après refroidissement dans un dessiccateur le résidu est pesé (G1). Le taux d'extractibles est alors calculé comme suit :

$$w1(\%) = \frac{G0 - G1}{G0} \times 100$$

### ➤ Détermination du taux de l'hémicellulose

Le résidu ( $m_1$ ) après libération de l'extrait a été mis dans un flacon avec 150 ml de solution de NaOH (20g/L). Ensuite, le mélange a été bouilli pendant 3,5 heures avec eau distillée recyclée. Après cela, le résidu a été lavé avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'aucun ion sodium ne soit présent dans la liqueur de lavage et séché jusqu'à un poids constant. L'échantillon séché a été refroidi dans un dessiccateur et pesé ( $m_2$ ). Le pourcentage massique d'hémicellulose  $W_2$  a été calculé par la relation suivante :

$$W_2 (\%) = \frac{G_1 - G_2}{G_0} \times 100$$

### ➤ Détermination du taux de la lignine

Environ 1 g de résidu après la libération des extraits a été séché jusqu'à un poids constant. Puis l'échantillon a été refroidi et pesé ( $m_3$ ). Après cela, l'échantillon a été mélangé avec 22,5ml d'acide sulfurique à 97 % et maintenu à 8–15 °C pendant 24h. Le mélange a été dilué avec 600 ml d'eau distillée et bouillir pendant 1 h avec de l'eau distillée. Après refroidissement et filtration, le résidu a été lavé avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'ions de sulfate. Ensuite, le résidu a été séché à une température constante pesée et refroidie dans un dessiccateur et pesée ( $m_4$ ). La masse pourcentage de lignine ( $W_3$ ) a été calculée comme suit :

$$W_3 (\%) = \frac{G_4 (1 - W_1)}{G_3} \times 100$$

### ➤ Détermination du taux de cellulose

Le pourcentage massique de cellulose  $W_4$  a été calculé selon l'équation suivante :

$$W_4 (\%) = 100 - (W_1 + W_2 + W_3)$$

### ➤ Teneur en cendres des fibres

Ce test a été effectué pour déterminer le taux de cendres des fibres étudiées (brutes, traitées alcalines), le protocole suivi a été effectué comme suit :

- Etuvage des fibres au préalable (brutes et traitées NaOH) à 80°C.
- Environ de 2g de chaque fibre sont versés dans deux creusets différents en porcelaine.
- Mettre les creusets dans un four à 500°C pendant 24 heures.
- Refroidissement des fibres jusqu'à température ambiante.

## Chapitre II : Matériels et méthodes

- Le résidu est pesé pour déterminer la variation du poids des fibres.

$$\%Cendres = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100$$

Avec :

P<sub>0</sub>: Poids du creuset

P<sub>1</sub>: Poids du creuset avec l'échantillon

P<sub>2</sub>: Poids du creuset contenant le résidu après calcination.

### II.4.2. Détermination de la densité

Pour la détermination de la densité, on a utilisé la méthode pycnométrique, selon la norme (NF T 51-063), exprimée par la relation suivante :

$$d = \frac{\rho(m_1 - m_0)}{(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)}$$

Avec :

$\rho$ : densité de l'éthanol qui vaut 0.81 g/cm<sup>3</sup>,

m<sub>0</sub> : masse du pycnomètre de 10 ml vide,

m<sub>1</sub> : masse du pycnomètre contenant 0,1 gramme de la fibre d'alfa,

m<sub>2</sub> : masse du pycnomètre contenant 0,1 gramme de la fibre d'alfa et rempli jusqu'au trait de jauge par l'éthanol,

m<sub>3</sub> : masse du pycnomètre rempli seulement avec de l'éthanol jusqu'au trait de jauge.



**Figure II.8** : Méthode pycnométrique pour la détermination de la densité

### II.4.3. Détermination du taux d'humidité

Avant d'entamer les tests d'essais sur les études d'absorption, les fibres ont été séchées dans une étuve à 80 °C durant 24h jusqu'à stabilisation de la masse, et ce pour qu'il n'y ait pas d'effet sur les résultats. Les tests d'absorption d'humidité sur les fibres non traitées et sur les fibres traitées par 5% NaOH, ont été réalisés en exposant les fibres à température ambiante. L'absorption d'humidité après une exposition jusqu'à stabilisation de masse a été mesurée et a été calculée en utilisant l'équation :

$$MC = \frac{m_a - m_d}{m_a} \times 100$$

Où MC est l'absorption d'humidité,  $m_a$  est la masse de l'échantillon après exposition à l'humidité, et  $m_d$  est la masse de l'échantillon sec.

### II.4.4. Taux d'absorption d'eau

Tout d'abord, il faut effectuer une étape de séchage des éprouvettes à 70°C, avant de les placer dans des béchers remplis d'eau distillée. Au cours de cette étape, il sera nécessaire de peser régulièrement les éprouvettes, à l'aide d'une balance de précision. Lorsque la masse des éprouvettes ne varie plus, on atteint alors l'état de référence, qui correspond à un champ de teneur en eau uniforme dans le volume de l'échantillon. Afin d'obtenir les cinétiques de diffusion des échantillons, il faut effectuer un suivi gravimétrique régulier de ces derniers, au cours de l'essai sur une période de 200 heures. Pour un échantillon donné, de masse initiale  $m_0$ , il est ainsi possible de déterminer l'évolution de la teneur en eau globale  $C(t)$ , calculée à l'aide de la formule ci-dessous :

$$M_t = \frac{w_t - w_0}{w_0} \times 100$$

### II.4.5. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

L'appareil utilisé est un spectromètre IR Affinity-1. Nombre de scan = 40 et résolution =  $4\text{cm}^{-1}$ . Pour appliquer cette technique dans le cas d'échantillons solides, il est nécessaire, au préalable, de mélanger une petite quantité de farine finement broyée à un composé transparent dans le domaine spectral étudié ( $4000 - 400\text{cm}^{-1}$ ). A cette fin, nous employons le bromure de potassium (KBr). Les échantillons à analyser sont préparés sous forme de pastilles en mélangeant 0,02 mg de farines préalablement broyées (traitées ou non) avec 0,08 mg de KBr. La spectroscopie IR est une des méthodes les plus efficaces pour l'identification des molécules organiques et inorganiques à partir de leurs propriétés vibrationnelles. Les

différents spectres montrant l'absorbance en fonction du nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ ) ont été obtenus pour la farine brute, non traitée et traitée.

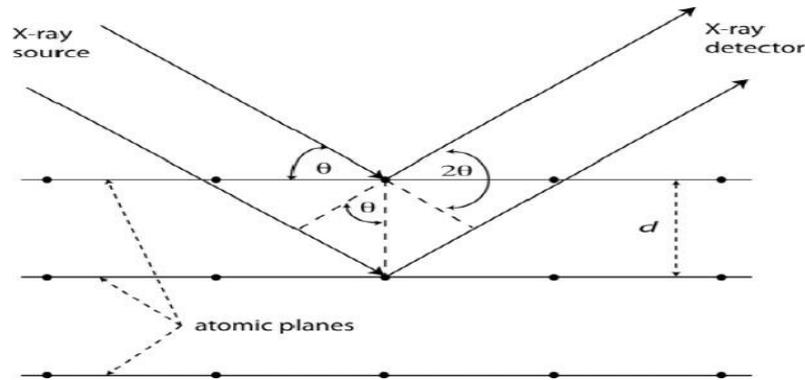


**Figure II.9 :** Spectromètre à transformée de Fourier

### II.4.6. Diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X permet la détermination des phases micro et poly cristallines des matériaux. C'est donc une technique de base de la caractérisation des matériaux. Cette méthode n'est applicable qu'à des matériaux composés d'un nombre relativement important de cristaux aux orientations non préférentielles (céramiques, roches, monocristaux et chaînes de polymères).

Cette méthode est fondée sur la diffraction des rayons X sur la matière. Un faisceau de rayons X monochromatique est envoyé sur la surface plane de l'échantillon à analyser ; il ne sera réfléchi par une certaine famille de plans d'indice de Miller (h,k,l) que si sa direction par rapport à ces plans est égale à l'angle de Bragg.



**Figure II.10:** Diffraction –Rayons X des plans réticulaires avec distances inter planaire.

Les mesures de diffraction des rayons X des différents échantillons ont été effectuées à l'aide d'un appareil de type Philips PW 1050 selon les conditions expérimentales suivantes : courant = 40 eV, intensité = 20 mA et en utilisant la raie Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 0,154$  nm). Chaque balayage est effectué avec un pas de 0,03 et la plage d'angle balayée ( $2\theta$ ) est comprise entre  $1^\circ$  et  $50^\circ$ .

### II.4.7. Traction

Les essais mécaniques de traction sont généralement réalisés en introduisant une éprouvette dans une machine de traction universelle. Cette machine consiste en une base plane et un piston hydraulique ayant un mouvement linéaire perpendiculairement à cette même base.

De plus, des mâchoires (hydrauliques ou manuelles) se trouvent sur le piston et la base. Ces dernières sont placées de manière à ce que leurs axes soient colinéaires avec celui du piston. Donc, dès que l'éprouvette insérée dans les mâchoires, le piston est déplacé verticalement et sont collées sur l'éprouvette pour mesurer les déformations intervenant dans le calcul des propriétés mécaniques.

Le test mécanique de traction consiste l'application d'une force  $\mathbf{F}$  sur une éprouvette du matériau d'étude et à mesurer l'allongement correspondant  $\Delta\mathbf{l}$ , ou bien l'inverse d'imposer l'allongement  $\Delta\mathbf{l}$  et à mesurer la force  $\mathbf{F}$ .

Dans cette étude les tests de traction ont été réalisés à l'aide d'une machine universelle Zwik au niveau de l'université de Boumerdes. Pour chaque formulation élaborée, des tests mécaniques de traction ont été réalisés sur des lots de 5 éprouvettes de 40 mm de longueur, 5 mm de largeur et de 2 mm d'épaisseur. Le pilotage se fait par le logiciel qui permet à la fois

## Chapitre II : Matériels et méthodes

---

de consigner les paramètres d'essais, d'acquérir et de traiter les données. La figure II.10 montre la machine utilisée dans cette étude.

Les essais de traction ont été effectués avec des éprouvettes obtenues selon la norme ISO 727 sur une machine de la marque ZWICK. Les éprouvettes ont été testées à la température ambiante à la vitesse de déplacement de 10 mm/min. Les propriétés en traction (module d'élasticité ( $E$ ), contrainte à la rupture  $\sigma_r$ , déformation à la rupture  $\sigma_r$ ) sont évaluées à partir des courbes contrainte- déformation.



**Figure II.11:** Machine de traction de marque ZWICK

### II.4.8. Test de choc mécanique

Le choc est l'application d'une sollicitation mécanique à grande vitesse et à une énergie élevée produisant la rupture d'une éprouvette en une fraction de seconde. Il permet de déterminer la fragilité d'un matériau, cette dernière étant d'avantage synonyme de faible allongement que de faible énergie de rupture.

Les essais de choc ont été réalisés à l'aide d'un appareil de marque CEAST de type RESIL IMPACTOR, au niveau de laboratoire de Génie des Procédés à l'Université Sétif 1, qui consiste fondamentalement en un pendule lourd portant à son extrémité libre un marteau de 7,5 Kg, un emplacement pour éprouvette, ainsi qu'un cadran indicateur de l'énergie absorbée au cours du choc.

La résistance au choc ou bien la résilience d'éprouvettes non entaillées est exprimée par la relation :

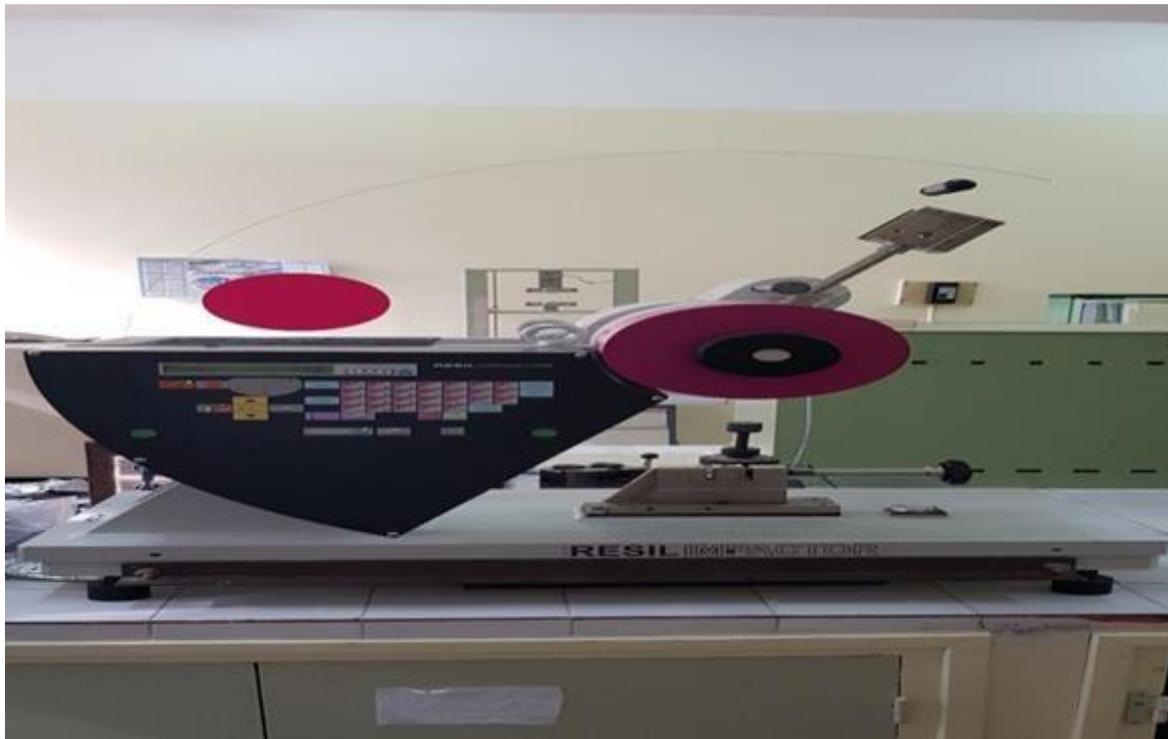
$$a_n = (A_n/b \cdot h) \times 100 \text{ (KJ / m}^2\text{)}$$

**a<sub>n</sub>** : Résilience de l'éprouvette sans entaille;

**A<sub>n</sub>** : Energie cinétique pour rompre l'éprouvette sans entaille en joules;

**b** : Largeur de l'éprouvette en millimètres;

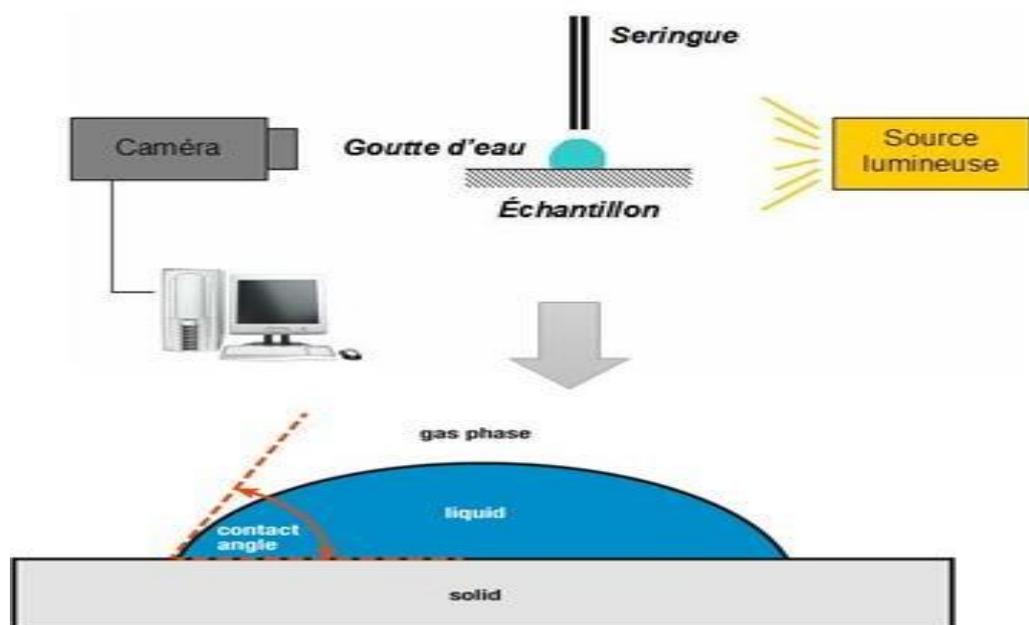
**h** : Épaisseur de l'éprouvette en millimètres.



**Figure II.12** : Appareil de test au choc

### II.4.9. Angle de contact

Les angles de contact sont mesurés avec un appareil équipé d'une caméra vidéo, d'une dépose de goutte d'eau sur la surface à analyser et d'un logiciel d'exploitation. La photographie de la goutte est prise quelques secondes après son dépôt. Les mesures ont été obtenues par la répétition en plusieurs fois pour chaque couple eau/échantillon.



**Figure II.13** : Principe de la mesure d'angle de contact

Les angles de contact sont mesurés sur un appareil Digidrop (GBX, *Romans*) équipé d'une caméra vidéo, d'une dépose de goutte ( $0,50 \mu\text{L}$ ) sur la surface à analyser et d'un logiciel d'exploitation. La photographie de la goutte est prise  $0,09\text{s}$  après son dépôt. Les mesures ont été réalisées à  $23^\circ\text{C}$  en les répétant plusieurs fois pour chaque échantillon.

## Références

- [1]: M.T, Zafar. « Effet du traitement de surface des fibres de jute sur l'adhérence interfaciale dans Biocomposites poly (acide lactique)/fibres de jute ». 2009.
- [2]: S,Momeni,et al, « Valorization of HempHurd as Bio-Sourced Additives in PLA-Based Biocomposites ». Polymers 2021, 13,3786.
- [3]: M.K,Hossain,M.W, et al « Effect of surface treatment and nano clay on thermal and mechanical performances of jute fabric/biopol 'green' composites» ; J Reinf Plast Compos , 30: 1841–1856 , 2011.
- [4]: P.Madhua , M.R. Sanjay, et al «new study on effect of various chemical treatments on Agave Americana fiber for composite reinforcement: Physico-chemical, thermal, mechanical and morphological properties » ,2019.
- [5]: A.K. Varma , P. Mondal, «Physico chemical characterization and pyrolysis kinetic study of sugarcane bagasse using thermogravimetric analysis, J. Energy Resour. Technol. 138 2016

## ***Chapitre III : Résultats et discussions***

## Chapitre III

### Résultats et discussions

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus lors de notre travail sur les fibres de Bambou et les matériaux composites à base de PP chargés à 20 % massique en fibres préparés par voie fondue. Dans un premier temps nous allons procéder à la caractérisation des fibres et voir les effets des traitements utilisés. Ensuite, on procédera à la caractérisation du PP et des biocomposites PP/fibres de Bambou afin d'étudier l'effet de l'ajout des fibres traitées et non traitées sur les propriétés physicochimiques et mécaniques du PP.

### III.1. Caractérisation des fibres de bambou

#### III.1.1. Composition chimique

La figure III.1 donne la composition chimique des fibres de bambou brutes. Les pourcentages massiques de cellulose, de l'hémicellulose et de lignine dans les fibres brutes sont respectivement égaux à 43%, 25% et 17% en masse. La composition cellulosique des fibres du bambou est proche à ceux trouvés dans la littérature [1-3]. D'autre part, les taux d'hémicellulose, d'extractibles sont significativement différents. Ces variations des taux des constituants dans les fibres végétales dues, à la période de récolte, le type d'extraction des fibres, les conditions climatiques, de la zone géographique et des nutriments présents dans le sol lors de leurs croissances [4]

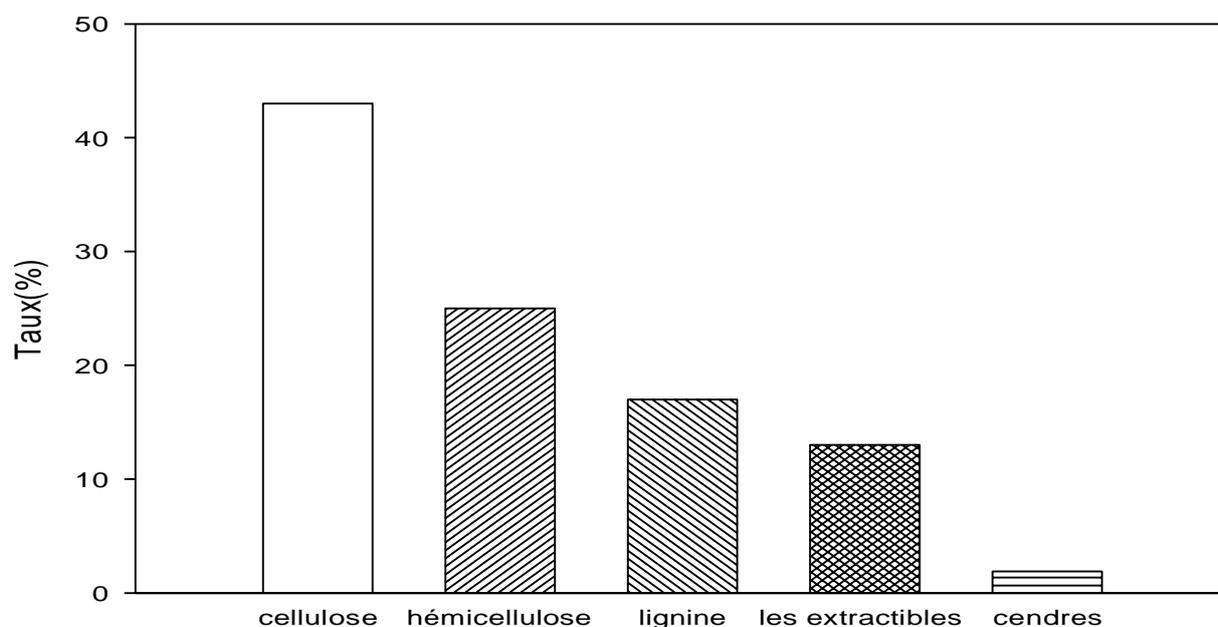


Figure III.1 : Diagramme de la composition chimique des fibres de bambou.

### III.1.2. Analyse par IR-TF

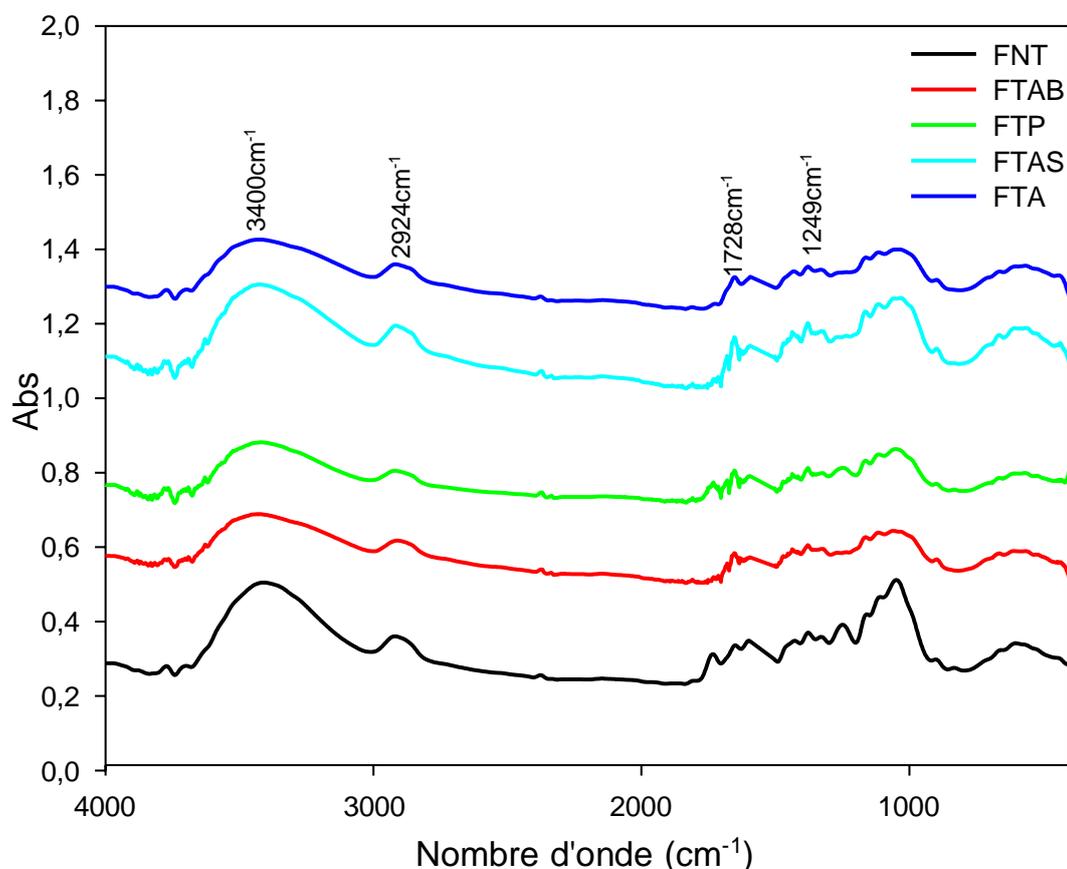
La spectroscopie FTIR est une technique appropriée, pour étudier les changements qui se produisent, lors de tout traitement chimique. Cette technique a été utilisée pour confirmer les changements dans la composition des fibres de bambou par un traitement alcalin, par des changements affectant leurs pics d'absorptions correspondants. Le tableau ci-dessous résume les codes des fibres traitées et non traitées

**Tableau III.1** : Codes des fibres traités et non traités

Fibre	Code
FNT	Fibre non traitée
FTAB	Fibre traitée alcalin / blanchiment
FTP	Fibre traitée au permanganate
FTS	Fibre traitée au silane
FTA	Fibre traitée alcalin

Les spectres IRTF des fibres de bambou traitées et non traitées sont présentés sur la

**figure III.2**



**Figure III.2:** Spectres FTIR des fibres de bambou traitées (FTAB, FTAS, FTA, FTP) et non traitées

D'après la figure III.2, les spectres IR-TF révèlent la présence de plusieurs bandes d'absorption, on cite notamment :

-La large bande apparaissant dans la zone  $3600\text{ cm}^{-1}$  est principalement attribuée à des groupes hydroxyles de la cellulose [5-7], l'intensité de cette bande diminue pour les fibres traitées FTAB et FTA par rapport à la FNT, ceci est dû à la diminution des groupements OH après traitement en raison de l'élimination partielle de l'hémicellulose. [5,7] d'autre part l'intensité de ce pic augmente pour la FTAS ce qui explique la présence des groupements silanol.

- Le pic à  $2924\text{ cm}^{-1}$  correspond à la vibration d'élongation des C-H aliphatiques. L'intensité de ce pic d'absorption diminue pour les fibres traitées, en raison de la suppression des hémicelluloses [1].

- La bande observée à  $1728\text{ cm}^{-1}$  est attribuée à la vibration d'élongation C = O des acides et des esters carboxyliques présents dans les composés des hémicelluloses et de la lignine [1, 5,7], Ce pic a également été réduit après le traitement. Ceci est une nouvelle fois, une indication de l'élimination partielle des hémicelluloses, principalement de la surface de la fibre. Ce résultat est en accord avec la réduction de l'intensité du pic situé à  $1249\text{ cm}^{-1}$ , associé à la vibration d'élongation C-O dans les groupes acétyles.

- Le pic de la bande d'absorption à  $891\text{ cm}^{-1}$  attribuée à la liaison symétrique  $\text{CH}_2$  des hémicelluloses [5,7], a été également réduit, ce qui confirme les précédentes conclusions.

Ces résultats, sont en accord avec ceux de Fiore et al. [8] relatifs aux fibres de bambou, traitées similairement à nos fibres à l'NaOH, où ils ont conclu l'élimination d'hémicellulose et à un degré moindre de lignine.

### III.1.3. Taux d'humidité

Le calcul du taux de l'humidité a été réalisé pour les fibres de bambou visant à évaluer les changements prévus dans la nature des fibres suite au traitement chimique, et qui sont directement liés aux performances mécaniques des matériaux composites, dont les fibres tiennent le rôle de renfort.

L'absorption d'humidité des fibres non traitées (FNT)et traitées (FTAB,FTAS,FTA et FTP) l'absorption d'humidité des fibres de bambou traitées chimiquement était inférieure à celle des fibres non traitées ceci s'explique par les changements dans la composition de fibres , à savoir l'élimination séparée des hémicelluloses et de lignine, qui ont affecté l'absorption

des molécules d'eau par ces fibres, ce qui pourrait être exprimé par l'absorption de l'humidité, la capillarité ou rétention d'eau[4,9].

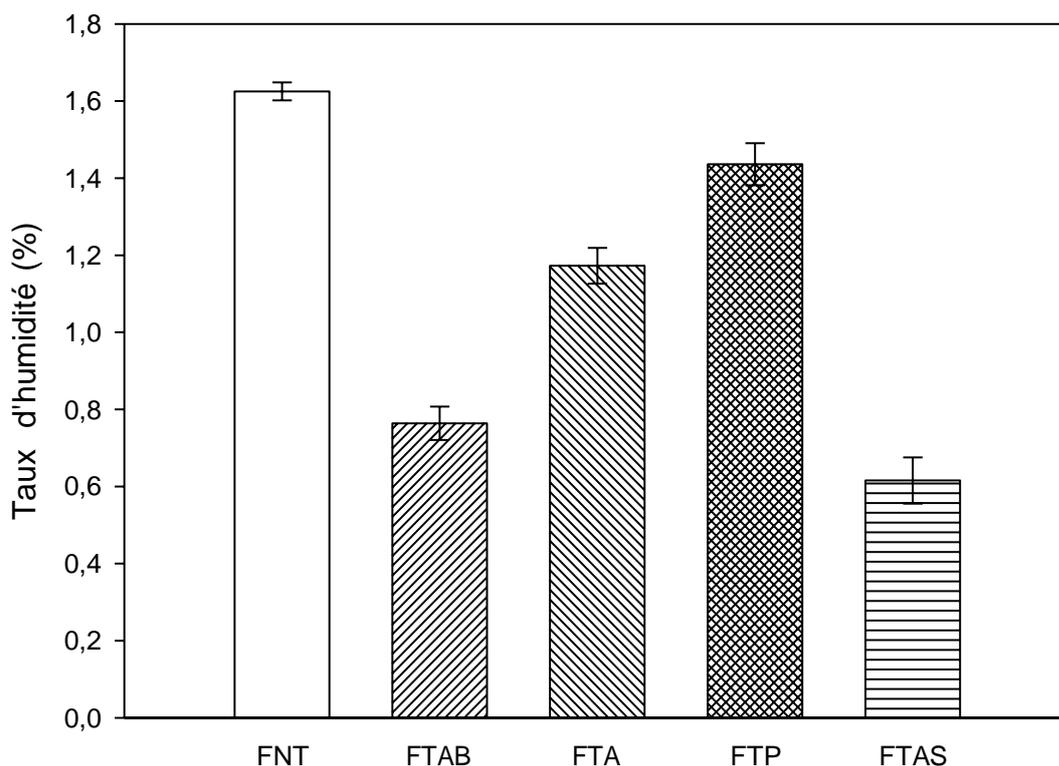
Les trois principales composantes des fibres naturelles, la cellulose et les hémicelluloses sont plus hydrophiles que la lignine. Mais les hémicelluloses sont les principales contributrices à l'absorption d'humidité, car ils se composent de chaînes de polysaccharides très hydrophiles [5].

La figure III.2 montre l'évolution du taux d'humidité pour les fibres non traitées et traitées (FTAB, FTA, FTAS, FTP). D'après les résultats obtenus, on observe que le traitement a un effet sur l'hydrophilie des fibres, une diminution de l'absorption de l'humidité est clairement visible après traitement spécialement pour les FTAS et FTAB, ces deux dernières absorbent moins d'humidité.

En outre, les hémicelluloses sont plus accessibles à l'eau que les chaînes de la cellulose qui forment la région cristalline cela peut expliquer la diminution de l'absorption de l'humidité des fibres après traitement alcalin confirmant la suppression préférentielle des hémicelluloses.

La différence entre le taux d'absorption d'humidité entre les fibres traitées alcalines FTA et les fibres traitées alcalines avec blanchiment FTAB peut prouver que l'élimination de la lignine avec blanchiment rend la surface des fibres plus hydrophobe.

En fin, le traitement alcalin pourrait mener à des matériaux composites avec de faible taux d'absorption d'humidité. Cela pourrait ouvrir à des perspectives d'utilisation plus larges du composite, lors de l'utilisation de ces matériaux dans des milieux humides.



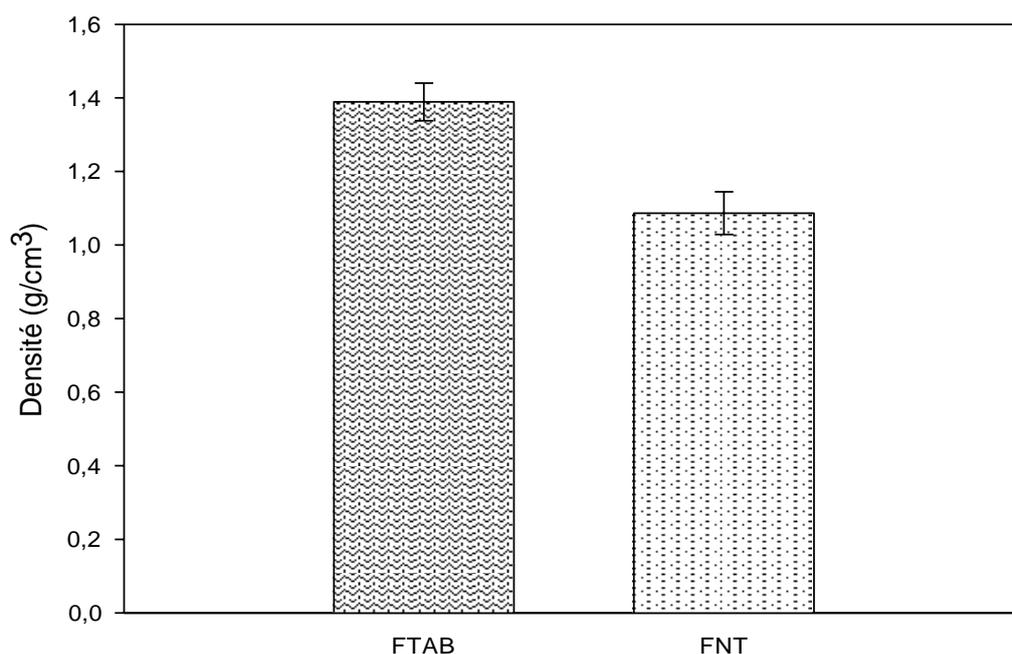
**Figure III.3 :** Taux d'absorption d'humidité des fibres FNT, FTAB, FTA, FTP et FTAS.

### III.1.4. Densité

La densité des fibres de bambou a été déterminée par la méthode pycnométrique, les résultats sont représentés sur la figure III.4.

La densité de FNT est au voisinage de  $1,09 \text{ g/cm}^3$  cette valeur est proche de celle trouvée dans la littérature  $1,168 \text{ g/cm}^3$  [8].

La densité de la fibre traitée FTAB a augmenté à une valeur de  $1,39 \text{ g/cm}^3$  cette augmentation est due à l'élimination de la plupart de l'hémicellulose et la lignine. Ceci permet un rapprochement des microfibrilles de cellulose, conduisant à une meilleure compacité et une augmentation de la densité [1, 4].



**Figure III.4 :** Diagramme représente la densité de la fibre de bambou FTAB et FNT

## III.2. Caractérisation des composites PP/ fibres de bambou

### III.2.1. Analyse par IRTF

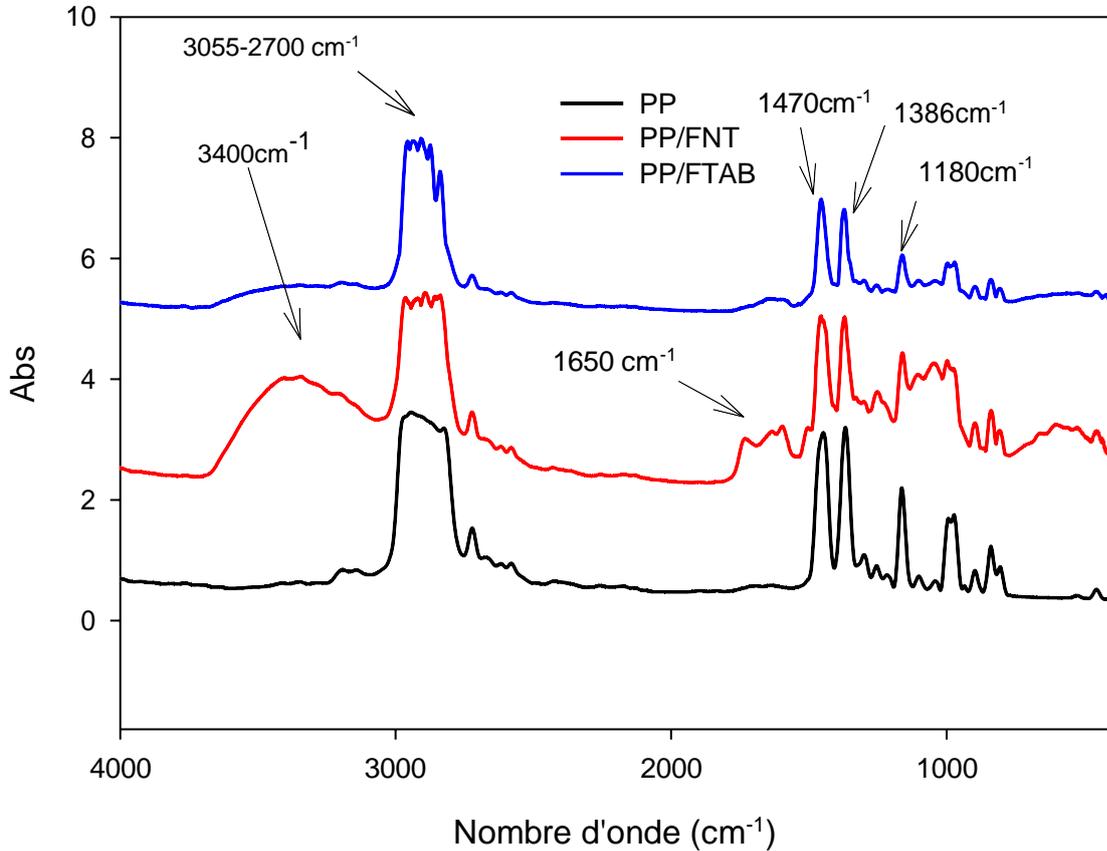
La figure III.5 montre les spectres IRTF du PP et des composites PP/FTAB et PP/FNT. Le spectre IRTF du PP révèle la présence de plusieurs bandes d'absorption, on cite :

- Une bande large avec un pic centré à  $3055-2700\text{ cm}^{-1}$  attribuée à la vibration d'élongation asymétrique du groupement  $\text{CH}_3$ ,
- Une large bande avec des pics à  $1470, 1386\text{ et }1180\text{ cm}^{-1}$  correspondants aux vibrations de déformation du  $\text{CH}_3$ , à l'élongation du groupement C-O et à la vibration de la liaison C-O-H, respectivement.

La différence observée entre les composites et le pp vierge c'est l'apparition d'un pic large situé à  $3400\text{ cm}^{-1}$  pour le PP/FNT caractéristique de la vibration d'élongation de la liaison OH. Pour la FNT, d'autre part un pic situé à  $1650\text{ cm}^{-1}$  correspond à l'eau absorbée par la fibre vu son caractère hydrophile. Une série de pics entre  $1000\text{ et }400\text{ cm}^{-1}$  caractéristiques des vibrations d'élongations des liaisons C-C et C-H et la bande cristalline C-O-C.

L'analyse effectuée nous permet de voir que certaines bandes d'absorption du PP sont légèrement modifiées par l'ajout de la fibre de bambou. En effet, on retrouve les mêmes bandes mais avec seulement des décalages vers des fréquences différentes et une petite

différence au niveau d'intensité. Ces résultats indiquent que l'ajout des fibres de bambou traitées ou non traitées n'ont pas d'effet significatif sur la structure chimique du PP.



**Figure III.5 :** Spectres IRTF du PP et des composites PP/FNT et PP/FTAB

### III.2.2. Absorption d'eau

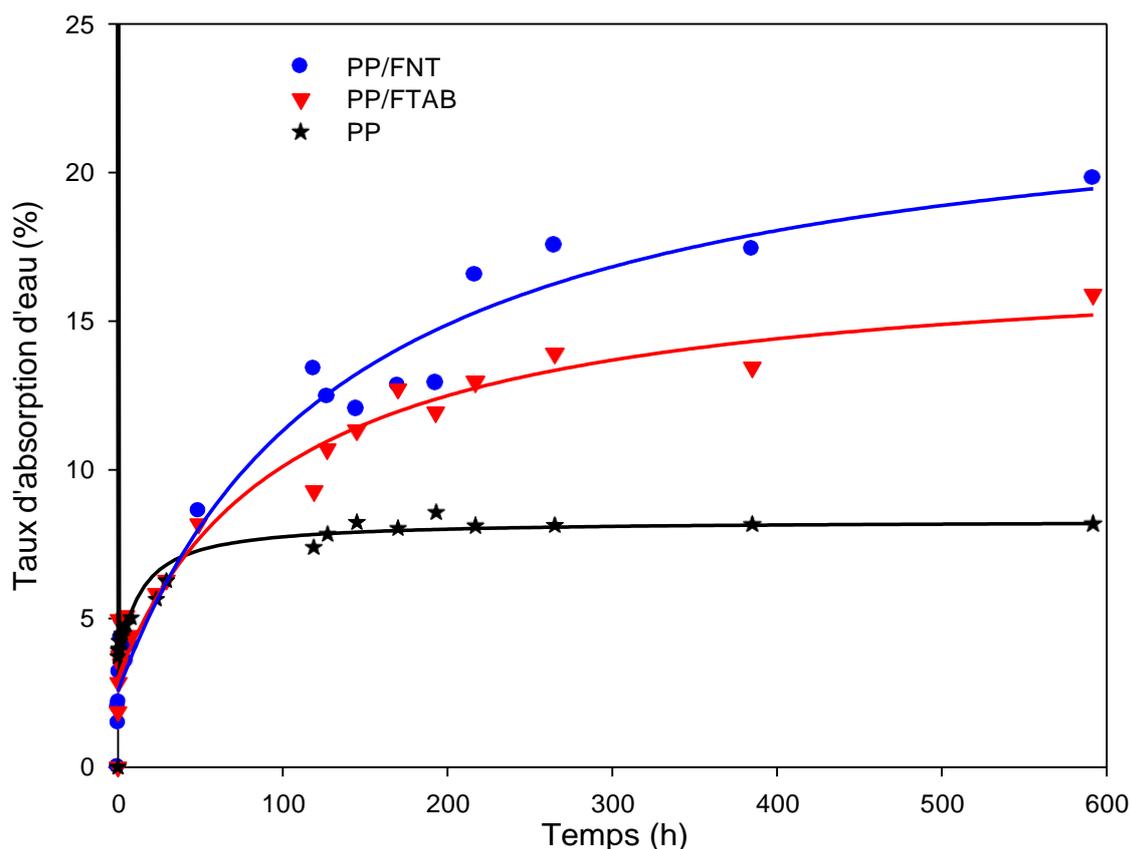
La figure III.6 présente l'évolution du taux d'absorption d'eau pour chacune des trois formulations PP, PP/FNT et PP/FTAB en fonction du temps.

Les graphes ont été obtenus en représentant des nuages de points puis en traçant des courbes de tendance en exponentiel. On constate que les trois matériaux présentent un comportement Fickéen [10], c'est à dire une absorption très rapide dans les premières heures suivie d'une saturation aux temps longs.

D'après la figure III.6, on observe aussi que le PP présente un taux d'absorption d'eau plus faible par rapport aux matériaux composites PP chargés de fibres de bambou, ce qui explique son caractère hydrophobe. Le caractère hydrophile de la fibre est responsable de

l'augmentation du taux d'absorption des composites comparativement à celui du polymère vierge.

Par contre, pour le matériau composite PP/FTAB montre un caractère moins hydrophile par rapport au PP/FNT. Ce résultat peut expliquer l'effet du traitement sur le comportement hygroscopique des fibres, dû à l'élimination des constituants non cellulosiques et à la diminution des groupements hydroxyles dans les fibres traitées (FTAB).



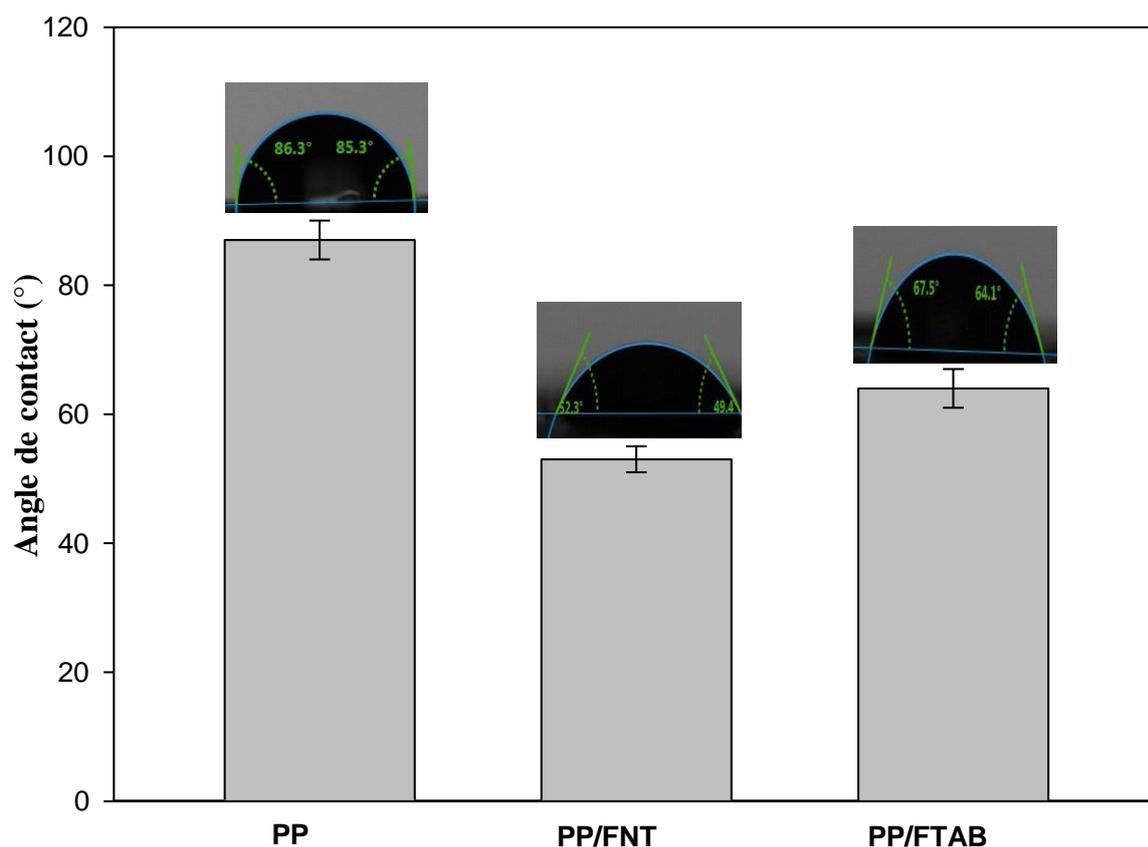
**Figure III.6:** Cinétique d'absorption d'eau du PP et des composites PP /FTAB et PP/FNT.

### III.2.3. Angle de contact

Les résultats de l'angle de contact de l'eau du PP et des composites PP/FNT et PP/FTAB à 20% en masse, sont présentés dans la figure III.7. D'après la figure III.4, on peut remarquer que l'incorporation des fibres de bambou dans la matrice PP, induit une diminution des valeurs de l'angle de contact de l'eau par rapport à celui du polymère vierge. Le PP possède un caractère hydrophobe. Cependant, l'ajout des fibres de bambou traitées ou non traitées a diminué son hydrophobie.

L'angle de contact du composite à base de fibres bambou traitées est supérieur à celui du composite renforcé avec des fibres de bambou non traitées. Les fibres de bambou traitées

(FTAB) induit une augmentation de l'angle de contact par rapport aux FNT en raison de l'amélioration de l'adhésion interfaciale entre la charge fibres bambou et la matrice PP, et la diminution du caractère hydrophile de la charge générée par le traitement chimique des fibres et l'élimination partielle de l'hémicellulose. Ces résultats sont en bon accord avec les données du test d'absorption d'eau.



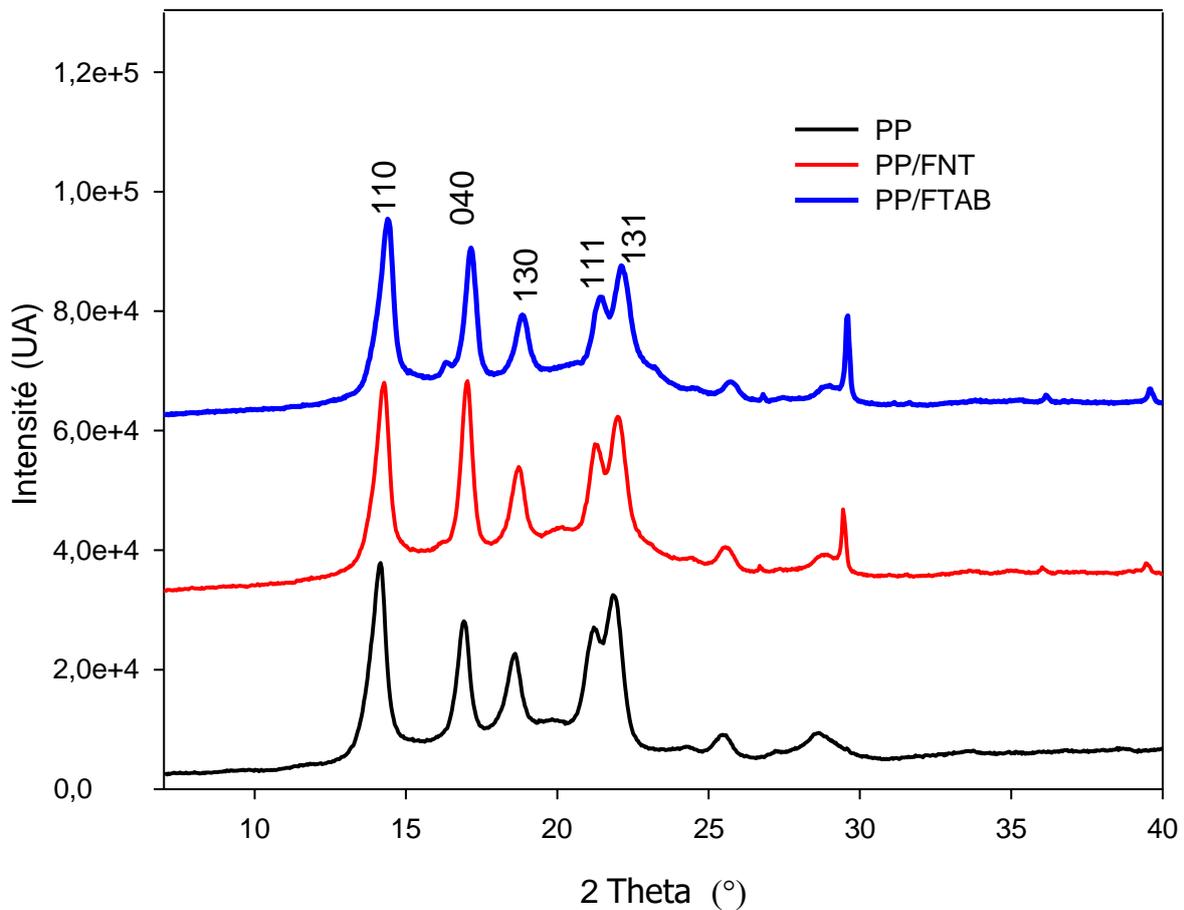
**Figure III.7:** Résultats de l'angle de contact de l'eau du PP et des composites PP/FNT et PP/FTAB.

### III.2.4. Analyse par DRX

Les spectres de diffraction X de diffraction des rayons X (DRX) de la matrice PP et les composites élaborés sont présentés dans **la figure III.8**. Hyun-Joong Kim et al[11] et K.Y. Lin et al[12], ont rapporté que le Polypropylène possède quatre formes cristallographiques. En effet, on observe l'apparition de plusieurs pics intenses pour le PP. La  $\alpha$ -forme peut être localisée vers les angles  $2\theta$ ,  $\alpha_1(14.1^\circ)$ ,  $\alpha_2(16.9^\circ)$ ,  $\alpha_3(18.5^\circ)$ ,  $\alpha_4(21.3^\circ$  et  $21.8^\circ)$ , correspondant aux plans 110, 040, 130, 111 et 131, respectivement. Dans le cas des composites PP/FNT et

PP/FTAB, on observe l'apparition de deux autres pics, situés à  $2\theta = 29,4^\circ$  et  $39,5^\circ$ . Ces pics sont attribués aux fibres de bambou.

Par ailleurs, on n'observe aucun changement dans la structure cristalline de PP en présence des fibres de Bambou traitées (FTAB) ou non traitées. Toute fois, l'intensité des pics augmente clairement. Ce phénomène est attribué à l'augmentation de la cristallinité avec l'ajout des fibres de bambou. En effet, le calcul de l'indice de cristallinité par DRX conduit aux résultats suivants: 45 % pour le PP, 70 et 79 % pour les composites PP/FNT et PP/FTAB, respectivement.



**Figure III.8:** Spectres de diffraction des rayons X du PP et des composites PP/FNT et PP/FTAB.

### III.2.5. Tests mécaniques en traction

La variation du module d'Young, de la déformation à la rupture et contrainte à la rupture est présentée en **Figures III.9, 10 et 11**, respectivement pour le PP, le PP/FNT et le PP/FTAB.

En Figure III.9, on observe que la valeur du module d'Young du PP augmente avec l'ajout des fibres de bambou. Le module de Young augmente de 875 MPa à 1021MPa avec l'ajout de la FNT et 1265MPa avec l'ajout de la fibre FTAB.

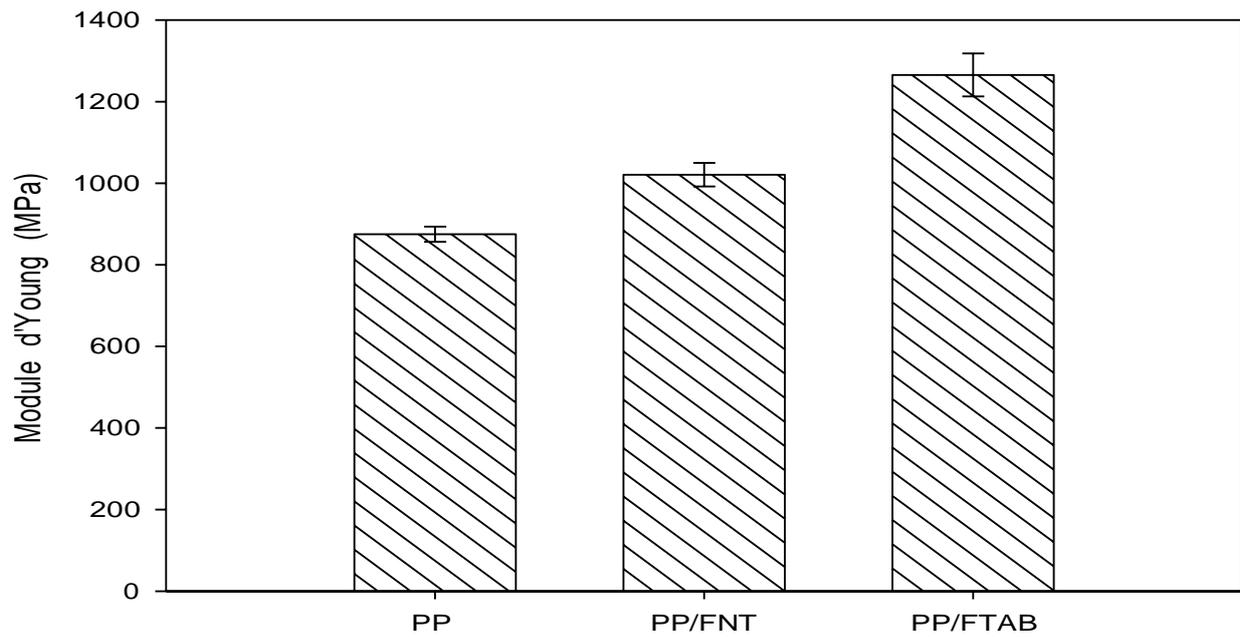
L'amélioration du module de Young avec l'ajout des fibres de bambou, peut être due à la présence d'une phase cristalline de la cellulose qui confère une grande rigidité à la matrice polymère et pourrait être liée aussi à une meilleure dispersion des faisceaux de fibres sur la matrice PP.

L'ajout de FTAB entraîne une nette augmentation du module de Young par rapport à la FNT, cette augmentation est due à l'amélioration de l'adhésion interfaciale entre les fibres de bambou traitées et la matrice PP, générée par le traitement chimique des fibres et par conséquent une excellente adhésion fibre-matrice.

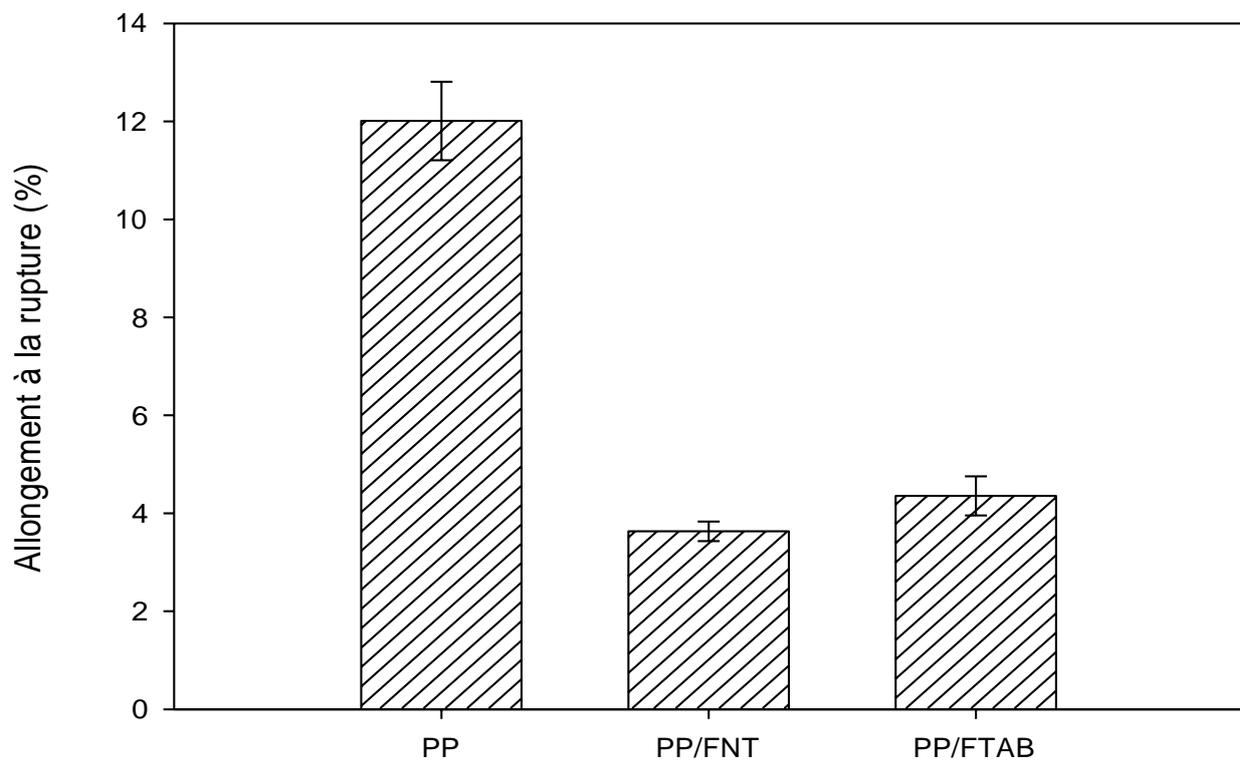
On note également, une diminution de l'allongement à la rupture des composites en présence des FTAB ou FNT. Ceci peut être attribué à la forte interaction entre le polymère et la charge entraînant une faible mobilité des chaînes macromoléculaires.

La contrainte à la rupture diminue légèrement pour le composite PP/FNT comparée à celle de la matrice PP. Ce comportement est probablement dû à l'existence de défauts aux interfaces fibre-matrice et par conséquent, à une légère diminution de la déformabilité de l'interface rigide entre les fibres et la matrice.

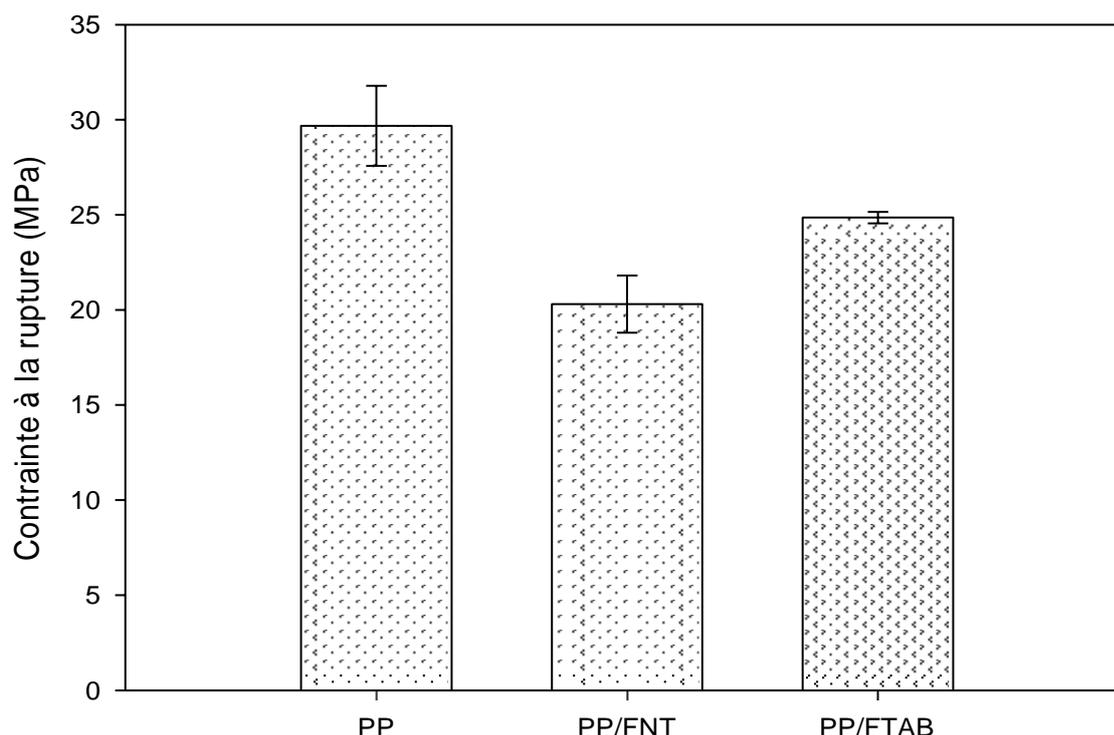
En revanche, l'ajout de FTAB augmente cette contrainte à la rupture. On peut déduire que le traitement chimique des fibres conduit à une plus forte interaction entre la charge et la matrice.



**Figure III.9 :** Variation du module d'Young du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB.



**Figure III.10 :** Variation de l'allongement à la rupture du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB.



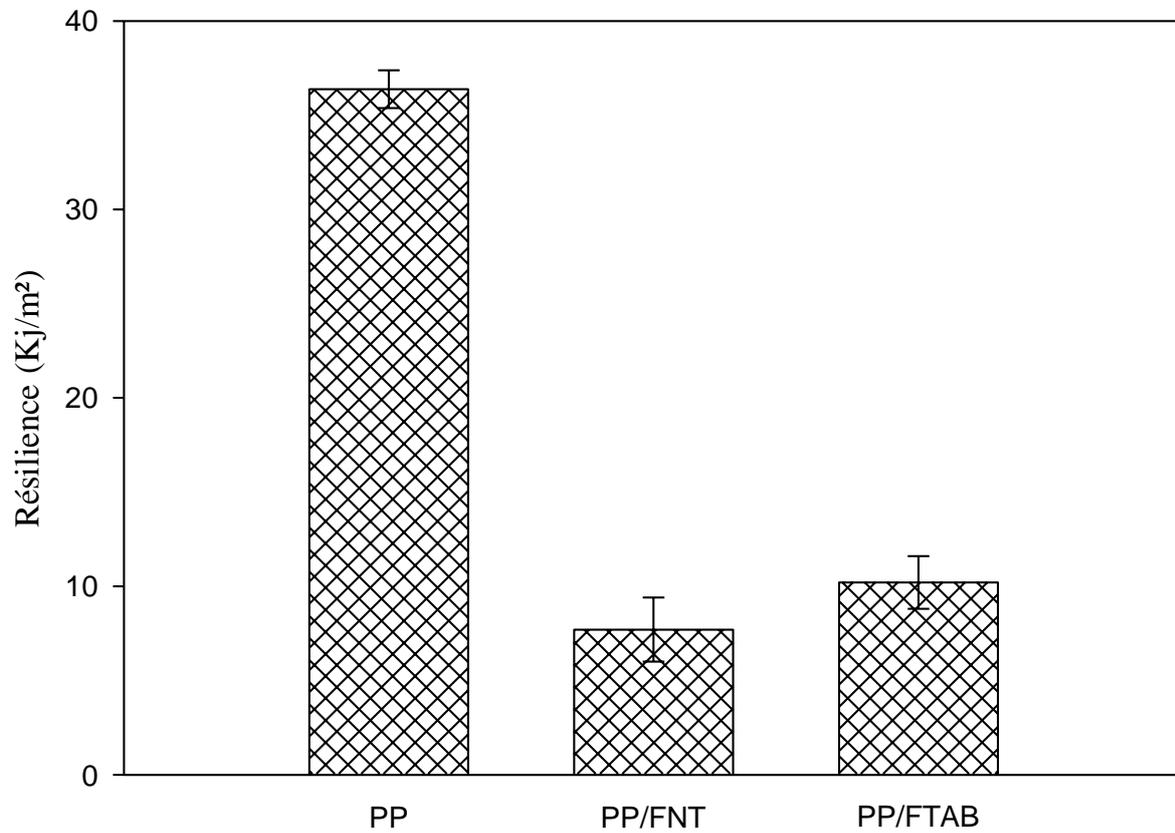
**Figure III.11** : Variation de la contrainte à la rupture du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB

### III.2.6. Résistance au choc

Les résultats de résistance au choc sont présentés dans la **figure III.12** et obtenus en faisant la moyenne des mesures sur 5 essais pour chaque formulation. La résistance aux chocs dépend de divers facteurs comme de l'adhésion interfaciale entre les fibres et la matrice, la ténacité de la matrice et de la fibre, défauts aux interfaces fibre-matrice, morphologie cristalline, etc.

Le PP vierge est beaucoup plus tenace que les composites PP/FNT et PP/FTAB. En présence de fibres de bambou, la matrice PP perd de sa ductilité et le matériau devient plus fragile. Cette baisse de la résistance aux chocs dans les composites à matrice PP était prévisible en raison de l'augmentation de rigidité du système, qui facilite la formation et la propagation des fissures, comme cela a été rapporté dans la littérature [13]. On constate aussi, que le traitement chimique des fibres de bambou a amélioré la résilience du matériau. Il faut noter que la résistance au choc est très influencée par l'interface fibre-matrice. L'interface

entre la fibre bambou traitée et la matrice PP peut absorber une énergie au choc importante par rapport à l'interface PP-fibre bambou non traitée



**Figure III.12:** Variation de la résistance au choc du PP, et des composites PP/FNT et PP/FTAB.

## Références

- [1]: L.Corno,R. Pilu, et al « Arundo Donax L.: A Non-Food Crop for Bioenergy and Bio-Compound Production. *Biotechnol. » Adv*, 32, 1535–1549, 2014.
- [2]: J.S Lemões, C Silva, et al. « Chemical Pretreatment of Arundo Donax L. for Second-Generation Ethanol Production. *Electron. » J. Biotechnol*,31, 67–74.. 2018.
- [3]: C.Mancera, ,N. El Mansouriet al , «Feasibility of Incorporating Treated Lignins in Fiber boards Made from Agricultural Waste. » *WasteManag*, 32, 1962–1967.2014
- [4]: Do Thi V V ; « Matériaux composites à fibres naturelles / polymères biodégradables ou non» ;. Food and Nutrition, Université de Grenoble, France 2011.
- [5]: S.Oujai , R.Shanks , « Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments»; *PolymDegrad Stabil*, 89: 327–335 ,2005.
- [6]: K.Reddy ,G. Sivamohan Reddy et al , « Structural characterization of coconut tree leaf sheath fiber reinforcement » ; *J For Res*, 21: 53–58 ,2010.
- [7]: MK. Hossain , MW. Dewan MW,M. Hosur , «Effect of surface treatment and nanoclay on thermal and mechanical performances of jute fabric/biopol ‘green’ composites» . *J ReinfPlast Compos* , 30: 1841–1856 , 2011.
- [8]: T. Fiore ,G. Scalici et al « Static and dynamic mechanical properties of Arundo Donax fillers epoxy composites»; *Mater Des*, 57: 456–464 , 2014.
- [9]: BM.Pejić , MM.Kostić MM, Skundrić PD; « The effects of hemicelluloses and lignin removal on wateruptake behavior of hemp fibers » ;*Biores Technol* , 99: 7152–7159 (2008).
- [10]: M. S. Salim, D. Ariawan, et al , « accelerated weathering and water absorption behavior of kenaf fiber reinforced acrylic based polyester composites » *frontiers in materials*, vol. 7, 2020.
- [11]: H. Kim, L. Byoung-Ho,et al , « The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites » *Composites, Part A* 38, 1473–1482, 2007.
- [12]: X. L. Jiang, K. Sun, et al . « Effects of dynamical cure and compatibilization on the morphology and properties of the PP/epoxy blends » *eXPRESS Polymer Letters*, 283–291,2007.
- [13]: C.V. Srinivasa, K.N. Bharath « Impact and Hardness Properties of Areca Fiber-Epoxy Reinforced Composites » *J. Mater. Environ. Sci.* 2 (4) 351-356, 2011.

## *Conclusion*

## Conclusion

Les travaux présentés dans cette étude s'inscrivent dans le cadre de valorisation des ressources locales. Ce travail, avait pour but de développer des nouveaux matériaux à base de PP et fibres de bambou. Suite à cela, une étude a été menée afin de mieux connaître l'effet de l'ajout des fibres de bambou sur la structure et les propriétés du PP.

Dans l'étude bibliographique présentée, nous nous sommes intéressés à présenter les différentes caractéristiques des composites, des polymères et des fibres végétales et leur domaines d'applications. Ensuite, nous avons présenté les propriétés de Polypropylène et fibres de bambou. Par la suite nous avons passé à la présentation des différents aspects théoriques importants des composites, ainsi qu'un état de l'art sur les composites à matrice PP.

Dans cette étude, des matériaux composites à base de Polypropylène (PP) et fibres de bambou ont été élaborés par voie fondue à 20% en masse en fibres. Les résultats des différentes analyses physico-chimiques et mécaniques effectuées ont révélé que :

L'analyse IRTF des composites comparés avec celle du PP vierge n'a montré aucune nouvelle bande d'absorption, ce qui n'indique aucun changement dans la structure chimique de la matrice apportée par l'ajout des fibres de bambou.

La caractérisation structurale par diffraction des rayons X a permis de constater que l'incorporation des fibres de bambou dans la matrice PP engendre une augmentation de la cristallinité des composites.

Le caractère hydrophylque de la fibre de bambou est responsable de l'augmentation du taux d'absorption d'eau des composites. Néanmoins, le traitement chimique des fibres agit positivement sur l'hydrophilie du matériau.

Les propriétés mécaniques des composites élaborés se sont avérées intéressantes. En effet, un transfert de contrainte assuré par les fibres de bambou qui possèdent des bonnes propriétés mécaniques. Cependant, la présence de trop de groupes polaires à la surface des fibres et moins de groupes fonctionnels dans la matrice PP conduit à une faible adhérence interfaciale entre les fibres et la matrice. Par ailleurs, le traitement chimique appliqué sur les fibres est une méthode efficace pour améliorer l'interaction entre le PP et les fibres de bambou.

### **Perspectives**

Plusieurs autres aspects méritent d'être approfondis :

- ❖ Les propriétés thermiques sont indispensable afin d'étudier la stabilité thermique des composites.
- ❖ L'utilisation d'agent de couplage est aussi une bonne démarche pour optimiser la cohésion de composite.
- ❖ L'utilisation de différentes fractions de charges serait pertinente dans de futures recherches pour déterminer les limites de performances des composites.
- ❖ Il en sera de même intéressant de mener une étude sur la durabilité des matériaux élaborés dans différents environnement.

**Résumé :**

Les fibres végétales sont de plus en plus étudiées et employées comme renforts des matériaux composites. Ce travail a pour objectif de préparer des composites à base de Polypropylène (PP) et fibres de bambou par mélange fondu à 20% en masse de charge. Plusieurs modes de traitements visant à améliorer l'adhésion du renfort au polymère ont été réalisés sur les fibres de bambou. Les relations entre la structure et les propriétés fonctionnelles de l'ensemble des échantillons ont été étudiées à l'aide de plusieurs techniques expérimentales. D'après les résultats de caractérisation, le traitement chimique des fibres de bambou a permis de réduire son caractère hydrophile et d'éliminer les constituants non cellulosiques. Le traitement chimique de la surface des fibres de bambou a montré aussi une augmentation de l'adhésion entre la matrice et les fibres de bambou. En conséquence, l'amélioration de l'interface a permis une amélioration des propriétés mécaniques des composites PP/fibres de Bambou. L'étude a révélé l'effet positif joué par les fibres traitées sur la nucléation de PP. De plus, les propriétés mécaniques des composites PP/fibres de bambou traitées sont sensiblement améliorées

**Mots-clés :**

Polypropylène, fibres de bambou, composite, traitements chimiques, propriétés .