

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**École Nationale Polytechnique d'Alger**  
**Département du Génie de l'Environnement**



**PROJET DE FIN D'ETUDES**  
**POUR L'OBTENTION DU DIPLOME**  
**D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE DE L'ENVIRONNEMENT**  
**THEME**

**ETUDE DU VIEILLISSEMENT DES DECHETS DE  
FIBRE DE JUTE**

**Présentés par : Monsieur SEMOUNE Mohammed Lamine**

**Soutenu le : 15/06/2015 devant le jury suivant :**

**Président : Mr. A. CHERGUI MCA, ENP**

**Promotrices : Mme. B. BOUBEKEUR, MAA, Université de Boumerdès**

**Mme. N. BELHANECHÉ, Pr, ENP**

**Examineurs : Mme. N.LARDJANE, MCA, Université de Tizi Ouzou**

**Mr. H. BALOUL, MAA, Université de Boumerdès**

**Promotion : Juin 2015**

# *Dédicaces*

*A mes chers parents*

*Pour votre amour incommensurable, votre soutien indéfectible et pour tous les efforts et les sacrifices que vous avez déployés pour ma réussite, Que dieu tout puissant vous bénisse.*

*A ma femme Randa*

*A mes frères et ma sœur*

*A mes proches: Yasser, Bahi, Babi et Ghani*

*A toute ma famille*

*A mes collègues de l'ENP et l'EPST Annaba*

*A tous mes amis de Barika*

## **REMERCIEMENTS**

*Mes premières pensées se dirigent vers mes deux promotrices madame BOUBEKEUR Bahia maître assistante à l'université de Boumerdès, et madame BELHANECHÉ Naima, professeur à l'ENP, pour le formidable encadrement qu'elles m'ont accordé tout au long de ce travail. Je ne peux que les remercier, non seulement pour leurs compétences scientifiques, mais aussi pour leurs qualités humaines et pour la confiance qu'elles m'ont toujours témoignée. Merci*

*Je voudrais adresser mes vifs remerciements à Monsieur A. CHERGUI, maître de conférences à l'ENP, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance.*

*J'adresse également ma profonde reconnaissance à madame N.LARDJANE maître de conférences à l'Université de Tizi Ouzou, et monsieur H. BALOUL maître assistant à l'Université de Boumerdès, pour avoir accepté de juger mon travail et de participer à mon jury en tant qu'examineurs.*

*Je remercie également tous les enseignants de la spécialité pour avoir contribué à ma formation.*

*Enfin, je remercie toute personne avec qui j'ai partagé des moments agréables à l'Ecole Nationale Polytechnique.*

## Liste des Figures :

Figure 1 : Photographie au microscope électronique à balayage d'une fibre de coton.....	7
Figure 2 : Structure complète d'une fibre de lin dans un faisceau .....	7
Figure 3: Modèle de description de la structure d'une fibre végétale.....	9
Figure 4: Représentation schématique d'une fibre de bois.....	10
Figure 5: Molécule de la cellulose.....	11
Figure 6: Structure de la microfibrille de cellulose.....	12
Figure 7 : Liaisons hydrogènes O-H-3' intramoléculaires.....	12
Figure 8: Liaison hydrogène inter et intramoléculaires au sein de la fibre de cellulose.....	13
Figure 9 : Structure d'un type de xyloglucane.....	14
Figure 10 : Principaux constituants des hémicelluloses.....	14
Figure 11: Représentation schématique de la lignine.....	15
Figure 12 : Structure des précurseurs de la lignine.....	16
Figure 13: Structure d'une chaîne d'acide polygalacturonique et formation d'un coude par la présence de rhamnose.....	17
Figure 14: Structure des fibres végétales.....	20
Figure 15 : Variation de masse en fonction de la température de 7 variétés de li (vitesse de 10°C/min).....	23
Figure 16: La plante du jute .....	26
Figure 17: Les fibres de Jute.....	27
Figure 18: Les différentes applications des fibres de jute .....	32
Figure 19: Les Principaux pays producteurs de Jute.....	33
Figure 20: Réaction de traitement par la soude.....	37
Figure 21: La structure de cellulose I et cellulose II.....	38
Figure 22: Réactions chimiques du traitement par un alcoxyde de silicium fonctionnalisé.....	39
Figure 23: Modification chimique de la cellulose pour compatibilisation avec la matrice PP.....	41
Figure 24: Fibres de jutes découpées.....	42

Figure 25: Protocole de mesure de la densité par la méthode du pycnomètre.....	44
Figure 26: Appareil de traction.....	45
Figure 27: Photos des fibres de jute brutes.....	47
Figure 28 : Photos des fibres de jute après 60 jours de vieillissement dans différentes solutions...	47
Figure 29 : Evolution de la perte de masse des différents traitements.....	48
Figure 30: Evolution de la densité des fibres brutes et fibres traitées par la soude .....	49
Figure 31 : Evolution de la densité des fibres brutes et des fibres traitées par la chaux.....	49
Figure 32 : Evolution de la densité des fibres brutes et des fibres traitées par l'eau de robinet.....	50
Figure 33 : Evolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après le vieillissement dans la soude.....	51
Figure 34 : Evolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après le vieillissement dans la chaux.....	51
Figure 35 : Evolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après le vieillissement dans l'eau de robinet.....	52
Figure 36 : Contrainte à la rupture de la fibre de jute brute et les fibres traitées dans les différents milieux.....	53
Figure 37 : Spectres infrarouges de la fibre brute (FB) et traitée par NaOH (FN).....	53
Figure 38 : Spectres infrarouges de la fibre brute (FB) et traitée par Ca(OH) <sub>2</sub> (FC).....	54
Figure 39 : Spectres infrarouges de la fibre brute (FB) et traitée par l'eau (FE).....	54

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales.....	6
Tableau 2 : Composition en cellulose de quelques fibres naturelles.....	10
Tableau 3 : Composition chimique des fibres végétale.....	18
Tableau 4 : Propriétés mécaniques moyennes de quelques fibres végétales.....	21
Tableau 5 : Propriétés physiques de différentes fibres végétales.....	22
Tableau 6 : Avantages et inconvénients des fibres végétales.....	24
Tableau 7 : Les propriétés physiques de la fibre de jute.....	28
Tableau 8 : Composition chimique du jute.....	29
Tableau 9 : Description de la préparation des différents milieux .....	42
Tableau 10 : Récapitulatif des bandes présentées dans les figures précédentes.....	55

## Liste des annexes :

Annexe 1 : Perte de masse des fibres de jute vieillie dans la soude (NaOH 0.1N) en fonction du temps.....	65
Annexe 2 : Perte de masse des fibres de jute vieillie dans la chaux (Ca(OH) <sub>2</sub> saturé) en fonction du temps.....	65
Annexe 3 : Perte de masse des fibres de jute vieillie dans l'eau en fonction du temps.....	65
Annexe 4 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibre brute.....	65
Annexe 5: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la soude pendant 10 jours .....	66
Annexe 6: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la soude pendant 20 jours .....	66
Annexe 7 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la soude pendant 30 jours.....	66
Annexe 8: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la soude pendant 40 jours .....	66
Annexe 9 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la soude pendant 50 jours.....	67

Annexe 10: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la soude pendant 60 jours.....	67
Annexe 11 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la chaux pendant 10 jours.....	67
Annexe 12 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la chaux pendant 20 jours.....	67
Annexe 13 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la chaux pendant 30 jours .....	68
Annexe 14 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la chaux pendant 40 jours .....	68
Annexe 15 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la chaux pendant 50 jours.....	68
Annexe 16 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la chaux pendant 60 jours .....	68
Annexe 17 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 10 jours.....	69
Annexe 18 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 20 jours.....	69
Annexe 19 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 30 jours .....	69
Annexe 20 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 40 jours.....	69
Annexe 21 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 50 jours.....	70
Annexe 22 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 60 jours.....	70
Annexe 23: Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres vieilles dans la soude.....	70
Annexe 24: Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres vieilles dans la chaux.....	71
Annexe 25: Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres vieilles dans l'eau.....	71
Annexe 26 : Densité de la fibre brute.....	72

Annexe 27 : Densité des fibres vieillie dans la soude, la chaux et l'eau respectivement en fonction du temps.....72



## Liste des abréviations :

°C : Degré Celsius

$\lambda$  : Lambda

$\mu\text{m}$ : Micro-mètre

**F0** : la fibre Brute

**FC** : les fibres vieillis dans la chaux

**FE** : les fibres vieillis dans l'eau de robinet

**FN** : les fibres vieillis dans la soude

**g** : Gramme.

**GPa** : Giga Pascal

**h** : Heure

**IRTF** : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

**J**: Joule

**K**: Kelvin

**m** : Mètre

**mn** : Minute

**MPa** : Méga Pascal

**W**: Watt

## Table de Matière :

Dédicaces.....	i
Remerciement.....	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des annexes.....	v
Introduction Générale .....	1

### Chapitre I :Les fibres végétales

I .1 Introduction.....	3
I .2 Définition de la fibre végétale .....	3
I .3 Présentation de différentes fibres végétales.....	3
I .4 Classification des fibres végétales .....	5
I .5 Morphologie de la fibre végétale .....	6
I .6 Structure de la fibre végétale .....	7
I .7 Composition chimique des fibres végétales .....	9
I .7.1 La cellulose.....	10
I .7.2 L' hémicellulose .....	13
I .7.3 La lignine .....	15
I .7.4 Les pectines .....	16
I .7.5 Extractibles .....	17
I .7.6 Cires.....	17
I .8 Préparation des fibres végétales.....	18
I .9 Propriétés des fibres végétales.....	20
I .9.1 Propriétés mécaniques et physiques.....	20
I .9.2 Propriétés thermiques.....	22
I .10 Intérêt des fibres végétales .....	23

### Chapitre II: Le jute

II.1 Introduction .....	25
II.2 Présentation de la fibre de jute .....	25
II.2.1 Origine et historique .....	25

II.2.2 La plante .....	26
II.2.3 La fibre de jute.....	26
II.3 Classification des fibres de jute.....	27
II.3.1 Teneur en racines.....	27
II.3 .2 La longueur .....	27
II.3 .3 Couleur et lustrage .....	28
II.4 Les Propriétés de la fibre de jute .....	28
II.4.1 Propriétés physiques.....	28
II.4.2 Propriétés chimiques.....	29
II.4.3 Composition chimique.....	29
II.5 Processus d'élaboration.....	29
II.6 Les usages des fibres de jute .....	30
II.6.1 Textiles .....	31
II.6.2 Géotextile .....	31
II.6.3 Emballage.....	31
II.6.4 Plastiques.....	31
II.6.5 Substitut du bois .....	32
II.6.6 Sous-produits .....	32
II.7 La production du jute .....	32
II.7.1 Exportations .....	33
II.7.2 Importations .....	33
II .8 Perspectives du marché .....	33
II.9 Avantages environnementaux .....	34
<b>Chapitre III : Vieillessement des fibres de jute</b>	
III.1 Définition du vieillissement .....	35
III.2 Les catégories de vieillissement.....	35
III.2.1 Vieillessement Physique.....	35
III.2.2 Vieillessement Chimique.....	36
III.2.2.1 Traitement Alcalin.....	36
III.2.2.2 Traitement par les silanes .....	38
III.2.2.3 Acétylation .....	40

III.2.2.4 Addition d'un compatibilisant .....	40
III.2.3 Vieillessement hydrique .....	41
III.2.4 Vieillessement thermique .....	41

### **Chapitre IV : Matériels et méthodes**

IV.1 Découpage des fibres .....	42
IV. 2 Traitement des fibres de jute.....	42
IV.3 Appareillages et méthodes d'analyse.....	43
IV.3.1 Evolution de la perte de masse.....	43
IV.3.2 Mesure de la densité.....	44
IV.3.3 Evolution de l'absorption d'eau par les fibres .....	44
IV.3.4 Caractérisation mécanique.....	45
IV.3.5 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	46
IV.3.5.1 Éléments constituant un spectrophotomètre infrarouge	

### **Chapitre V :Résultats et interprétations**

V. 1 Observation visuelle des fibres après vieillissement.....	47
V.2 Evolution de la Perte en masse.....	48
V.3 Evolution de la densité .....	48
V.3.1 Les fibres de jute traitées par NaOH .....	48
V.3.2 Les fibres de jute traitées par Ca(OH) <sub>2</sub> .....	49
V.3.3 Les fibres de jute traitées par H <sub>2</sub> O .....	50
V.4 Evolution de l'absorption d'eau .....	50
V.4.1 Les fibres de jute traitées par NaOH .....	50
V.4.2 Les fibres de jute traitées par Ca(OH) <sub>2</sub> .....	51
V.4.3 Les fibres de jute traitées par H <sub>2</sub> O .....	52
V.4 Essai de traction sur les fibres .....	52
V.5 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.....	53
Conclusion générale.....	56
Références bibliographique.....	58
Annexes.....	65

# **Introduction Générale**

### **Introduction Générale**

Depuis l'Antiquité, l'homme a élaboré des matériaux composites par combinaison de matières de natures différentes dans le but d'obtenir des matériaux aux propriétés spécifiques.

La famille des matériaux composites à fibres, apparue dans les années 1940 n'a cessé de se développer en raison de leurs propriétés mécaniques associées souvent à une faible densité. Le bon rapport coût/performance leur a permis une très large gamme d'application dans des domaines variés; industrie aérospatiale, automobile, maritime, ferroviaire, bâtiment, ameublement, décoration etc... [1].

Toutefois, même si le développement des composites est qualifié de prometteur, cette progression est jalonnée de quelque contraintes à surmonter dont celles liées à l'environnement, l'hygiène et la sécurité.

En juin 1986 à l'occasion de l'adoption de la convention et de la recommandation sur l'amiante, la Conférence internationale du Travail a exprimé son inquiétude face aux risques pour la santé pouvant résulter de l'exposition professionnelle à d'autres matériaux fibreux. Elle a, par conséquent, adopté une résolution concernant l'établissement de mesures de prévention et de protection relatives aux risques pour la santé associés à l'exposition professionnelle aux fibres, qu'elles soient naturelles ou artificielles [2].

Dans les deux dernières décennies, l'utilisation des ressources renouvelables dans les matériaux composites est devenue de plus en plus fréquente. Les marchés sont de plus en plus axés vers une demande en produits plus respectueux de l'environnement. Un effort considérable a été orienté sur l'utilisation de diverses fibres végétales issues de ressources renouvelables et disponibles en abondance dans les pays tropicaux et subtropicaux, comme renfort des matériaux. À cause de leurs propriétés (faible coût, densité faible et propriétés mécaniques spécifiques élevées résistance et rigidité). Les fibres végétales ont ainsi pris une place importante dans le secteur industriel remplaçant ainsi les fibres minérales non respectueuses de l'environnement. [3 ,4].

## *Introduction Générale*

---

L'objectif de notre étude est de connaître au mieux le comportement de fibres végétales dans différents milieux. Nous nous sommes intéressées aux déchets de fibres de jute fournis par la Société Algérienne « Tapis d'Or ».

Dans le présent travail nous nous sommes intéressés au vieillissement de la fibre jute en fonction du temps dans différentes solutions :

- ✓ NaOH,
- ✓ Ca(OH)<sub>2</sub>,
- ✓ l'eau de robinet.

L'effet des différentes solutions est évalué par l'évolution de ;

- ✓ la perte de masse,
- ✓ l'absorption d'eau,
- ✓ la densité,
- ✓ la structure,
- ✓ les propriétés mécaniques.

Le présent mémoire comporte cinq chapitres. Les trois premiers traitent, respectivement, les généralités sur les fibres végétales, la fibre de jute et le vieillissement des fibres de jute.

Le quatrième chapitre regroupe les matériels et méthodes utilisés tandis que le dernier est consacré aux résultats et interprétations.

Enfin, une conclusion est donnée.

# **Chapitre I**

## **Les fibres végétales**



## **I.1 Introduction**

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 (emballage, automobile) [5].

Ce chapitre présente la définition des différentes fibres végétales, leur composition, leurs propriétés ainsi que leur intérêt pour l'environnement.

## **I.2 Définition de la fibre végétale**

Une fibre végétale est une cellule morte de la plante, de forme allongée et de structure biologique fibrillaire contenant 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 composés 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 bien sûr de la nature des fibres [6,7].

## **I.3 Présentation de différentes fibres végétales**

### ➤ Le lin

Le lin appartient à la famille des linacées (*Linum usitatissimum*).

C'est une plante annuelle dont la tige atteint de 0,60 à 1,20 m de hauteur pour un diamètre de 1 à 3 mm. Le lin textile est une culture septentrionale. En Europe, on le trouve en Russie, en Pologne, en Belgique et en France (principalement en Normandie).

Le lin est soit coupé, soit arraché. On récupère la matière textile qui se trouve à la tige de la plante sous forme de faisceaux qui constituent la fibre technique. Cela requiert trois opérations : le rouissage, le teillage et le peignage (voir paragraphe 3.4). La cellule élémentaire de lin apparaît comme un cylindre imparfait polygonal, généralement à six côtés, comportant éventuellement un lumen (cavité centrale d'une fibre végétale) [8].

➤ La ramie

La ramie (*Boehmeria nivea*) est un arbuscule de la famille des urticacées, originaire d'Asie (en anglais China grass). Il se présente sous la forme d'une touffe formée de tiges d'environ 1,5 à 3 m de hauteur avec de grandes feuilles. L'extraction de la fibre nécessite un décortilage et un dégomme très poussés. La cellule élémentaire, ressemblant davantage à celle du coton qu'à celle du lin, peut atteindre 17 cm de longueur ; elle présente une concentration en cellulose importante, une haute cristallinité et un degré de polymérisation élevé. Sa blancheur et son aspect soyeux la destinent à l'habillement [8].

➤ Le chanvre

Le chanvre (*Cannabis sativa*) est une plante annuelle dont la hauteur varie de 1 à 3 m. Cultivé dans les pays à climat tempéré, on en trouve dans l'est de l'Europe, en France et en Italie. Le processus d'obtention de la fibre technique du chanvre est identique à celui du lin. La fibre ultime est moins régulière, plus aplatie et légèrement plus lignifiée que celle du lin [8].

➤ Le jute

Le jute est une plante des régions tropicales (genre *Corchorus*) appartenant à la famille des liliacées. La tige atteint une hauteur de 4 à 6 m avec un diamètre d'environ 3 cm. Le jute pousse essentiellement au Bangladesh, qui détient un quasi-monopole de son commerce. Il en existe deux variétés (une blanche et un rouge), ce qui exige un triage préalable avant l'utilisation. La fibre ultime est très courte et très lignifiée. L'extraction de la fibre technique est obtenue par rouissage et décortilage. Après le rouissage, on détache la fibre, on nettoie la filasse et on rince à l'eau [8].

➤ Le sisal

Ses fibres sont extraites des feuilles de la plante sisal (*Agave sisalana*). Originaire du Yucatán, elle est produite en Amérique du Sud, en Afrique, aux Antilles et en Extrême-Orient. Les fibres mécaniques sont surtout extraites de la périphérie de la feuille. Un plant de sisal produit environ 200 à 250 feuilles et chaque feuille contient 1 000 à 1 200 paquets de fibres. Les méthodes de traitement pour l'extraction des fibres de sisal sont le rouissage et le teillage. Les fibres sont ensuite lavées à grande eau pour enlever les déchets en surplus [8].

- Le coir de la noix de coco

Le cocotier (*Cocos nucifera*) est un palmier poussant dans les pays tropicaux. Les fibres sont prélevées dans le coir (mésocarpe fibre) de la noix de coco et sont utilisées en corderie et en sparterie (objet tissé, vanné ou tressé) [8].

- Le kenaf (ou *Hibiscus hemp*)

Il provient d'une plante, appelée aussi dah, cultivée aux Indes, en Afrique et dans l'île de Java. D'une couleur blanc doré, la fibre de kenaf a des qualités comparables à celles du jute [8].

#### **I.4 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 (Kénafe, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, Abace, paille de graminée) [9].
- ✓ 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 kenaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) [9].
- ✓ Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories : fibres longues, dites libériennes, provenant des tiges et d'écorces 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 [10].

## I.5 Morphologie de la fibre végétale

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale [11].

**Tableau 1 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales [9,10,11,12].**

<b>Fibres</b>	<b>Longueur de laFibre (mm)</b>	<b>Diamètre de la libre (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Angle micro Fibrillaire(<sup>0</sup>)</b>
<b>Cotton</b>	<b>35</b>	<b>10-45</b>	<b>-</b>
<b>Lin</b>	<b>4-77</b>	<b>5-76</b>	<b>10</b>
<b>Chanvre</b>	<b>5-55</b>	<b>10-51</b>	<b>6,2</b>
<b>KénaF</b>	<b>2,5-4,5</b>	<b>14-33</b>	<b>-</b>
<b>Jute</b>	<b>2,5</b>	<b>5-25</b>	<b>8</b>
<b>Sisal</b>	<b>900</b>	<b>8-50</b>	<b>20</b>
<b>Ramie</b>	<b>900-1200</b>	<b>20-80</b>	<b>7,5</b>
<b>Noix de coco</b>	<b>0,3-1</b>	<b>12-24</b>	<b>45</b>

La morphologie des fibres végétales peut constituer une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contraintes aux interfaces fibre-matrice. La figure 1 présente exemple de la structure torsadée d'une fibre de coton.

D'autres fibres ont des morphologies encore plus tourmentées. La géométrie des fibres végétales est donc un problème important et difficilement surmontable pour ce qui concerne la micromécanique des composites renforcées par de telles fibres [8].

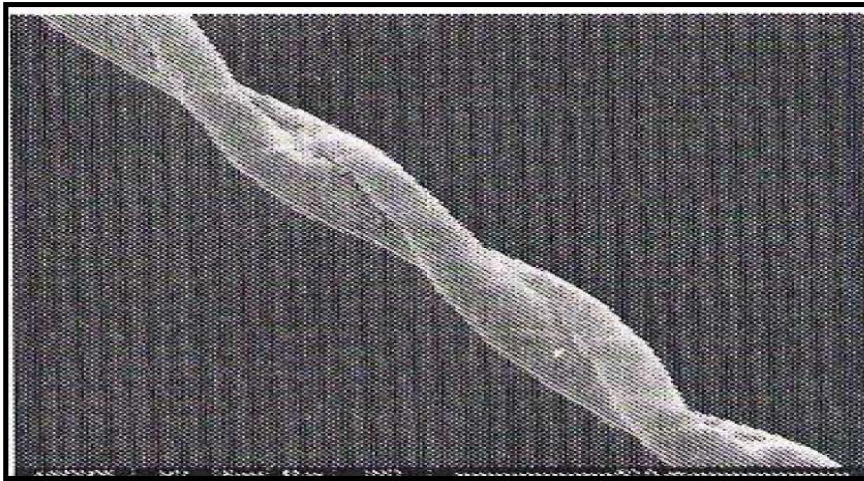


Figure 1 : Photographie au microscope électronique à balayage d'une fibre de coton [8].

### I.6 Structure de la fibre végétale

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaisons hydrogènes et covalentes à la lignine [14].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposées en couches superposées dans le sens radial. Ces différentes couches forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3) (Figure 2).

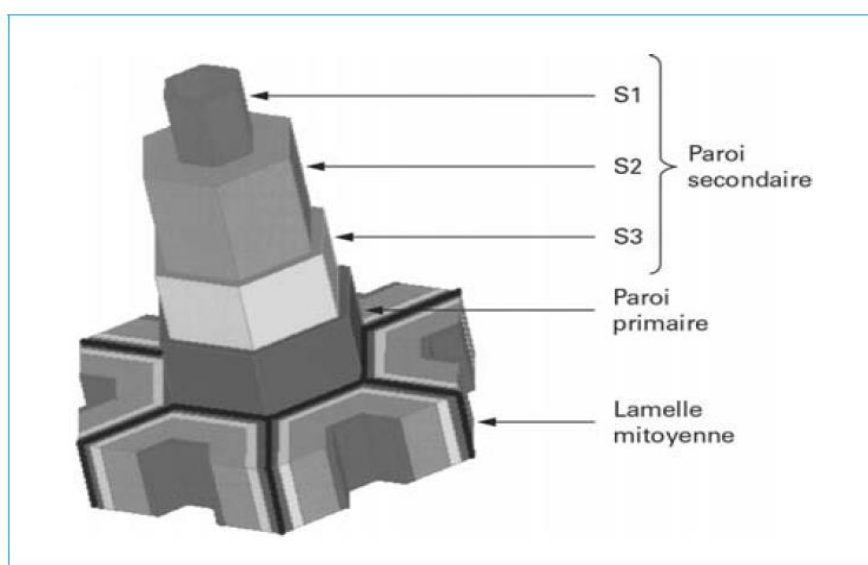


Figure 2 : Structure complète d'une fibre de lin dans un faisceau [17].

De manière générale, l'examen des parois cellulaires peut être effectué à différentes échelles d'observation et se décompose en [17] :

- macrofibrilles de 0,5  $\mu\text{m}$  de diamètre.
- microfibrilles de 10 à 30 nm de diamètre.
- fibrilles élémentaires appelées micelles de 3,5 à 5 nm de diamètre.
- molécules de cellulose ; une micelle est constituée d'environ 50 à 100 molécules de cellulose.

Entre les fibres, on trouve une lamelle moyenne, constituée de pectine, une substance amorphe, qui réunit fortement les parois cellulaires contiguës [15,16].

La paroi primaire renferme de la cellulose dans une proportion estimée de 8 à 14 %. Les microfibrilles sont enchevêtrées et forment un maillage lâche, un arrangement dit en structure dispersée. Elles sont disposées dans une matrice de composition très analogue à la pectine de la lamelle moyenne. Il y a continuité entre la matrice et la lamelle moyenne. La paroi primaire est très élastique, elle se laisse détendre et déformer. Elle peut ainsi suivre l'augmentation de taille de la cellule en croissance.

La paroi secondaire renferme nettement plus de cellulose que la paroi primaire. Elle présente une stratification aussi bien microscopique que submicroscopique [17].

Les microfibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. 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 le module d'Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augmente [18].

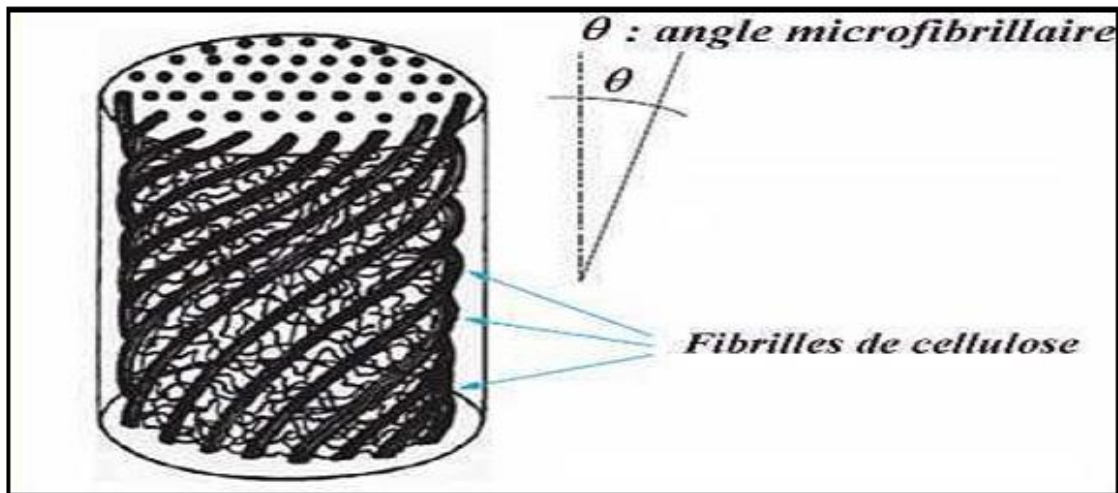


Figure 3: Modèle de description de la structure d'une fibre végétale [14].

## I.7 Composition chimique des fibres végétales

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Comme nous l'avons vu précédemment, les composés les plus majoritaires sont la cellulose, l'hémicellulose, les pectines et les lignines. Ces différents constituants sont agencés de manière très complexe.

Dans le bois, la cellulose est concentrée à l'intérieur de la fibre (Figure 4). Les parois extérieures de la fibre sont composées principalement de lignines et d'hémicelluloses et les lamelles de jonction inter fibres sont composées presque uniquement de lignine. Un réseau supplémentaire de pectines (polymères de polysaccharides acides) augmente la complexité de la matrice. Le réseau polysaccharidique peut également être solidifié par un réseau secondaire de protéines HRGP (Hydroxyproline Rich GlycoProteins) [13].

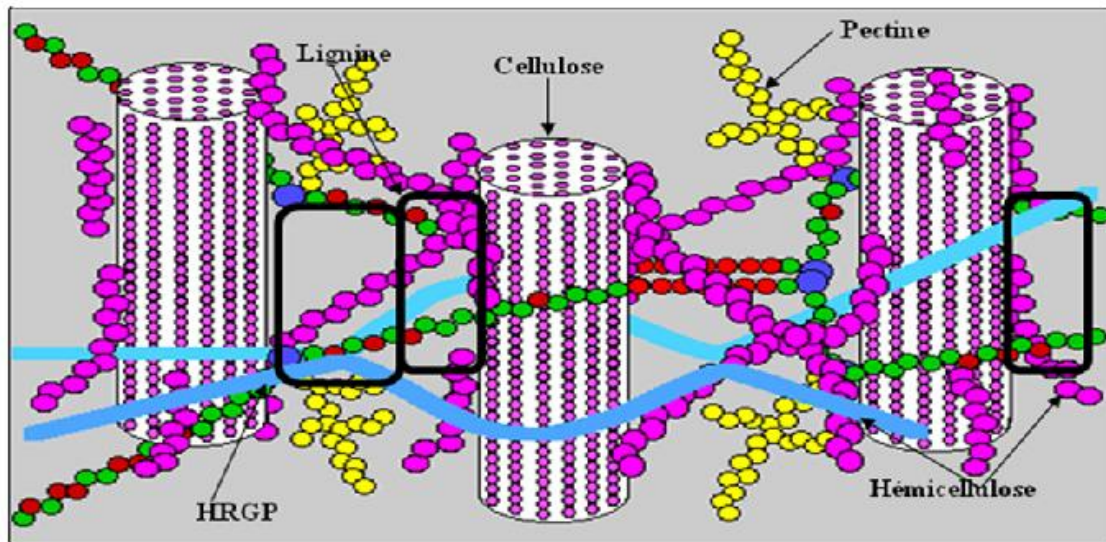


Figure 4 : Représentation schématique d'une fibre de bois [13].

### I.7.1 La cellulose

La cellulose est une molécule glucidique qui représente la molécule biologique principale de la masse végétale (Tableau 2).

Tableau 2 : Composition en cellulose de quelques fibres naturelles [14]

Fibre	% de cellulose
coton	> 90,0
jute	64,4
chanvre	55,0
lin	64,1
ramie	68,6



D'un point de vue chimique, la cellulose est une macromolécule constituée par une très longue chaîne stéréorégulière composée de maillons de glucose. La formule brute exacte est  $(C_6H_{10}O_5)_n$ .

Les fibres de cellulose sont constituées de D-anhydroglucopyranoses liés par des liaisons  $\beta$ -(1,4)-glycosidiques en position C1 et C4 (Figure 5). Le degré de polymérisation (DP) est d'environ 10 000, il varie selon l'espèce végétale. Chaque unité de répétition comporte trois groupes hydroxyles. Ces groupes hydroxyles et leur capacité à réaliser des liaisons hydrogène jouent un rôle majeur pour la cristallinité [19, 20].

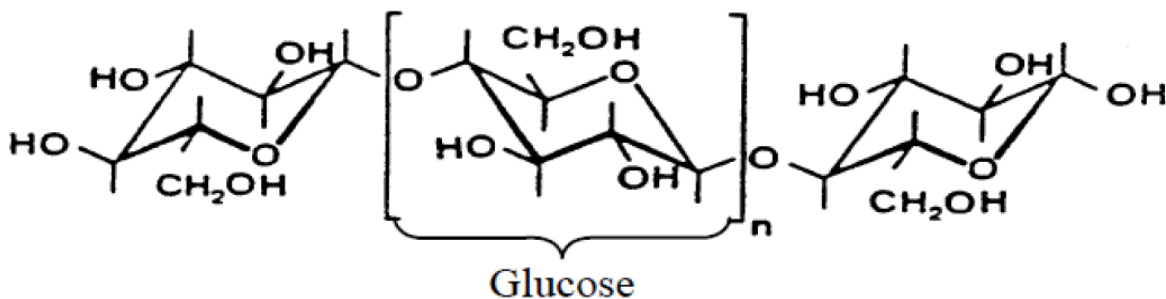


Figure 5: Molécule de la cellulose.

Les chaînes de cellulose sont rassemblées en structures basiques appelées microfibrilles (Figure 6) qui ont des diamètres de 2 à 20 nm. Chaque microfibrille peut être considérée comme un assemblage de chaînes de cristaux de cellulose liés par des domaines amorphes [21].

Contrairement aux autres composants des fibres qui possèdent une structure amorphe, la cellulose possède en effet une structure en grande partie cristalline. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, soit environ 136 GPa à comparer aux 75 GPa de la fibre de verre [22].

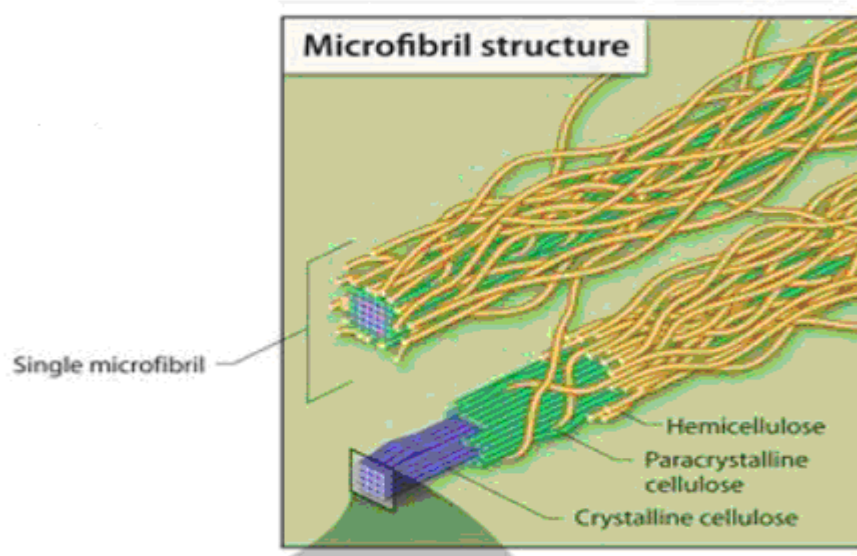


Figure 6 : Structure de la microfibrille de cellulose [21]

Les propriétés de la cellulose sont étroitement corrélées à la forte densité des liaisons hydrogène qui se développent entre les chaînes (figure 7).

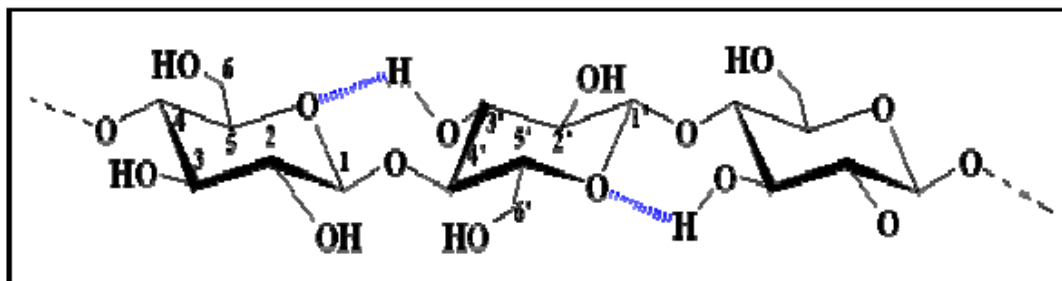


Figure 7 : Liaisons hydrogènes O-H-3' intramoléculaires [23].

Malgré la présence de groupements fonctionnels hautement réactifs que sont les hydroxyles, la cellulose réagit difficilement. Les interactions moléculaires inter- et intra-chaînes (figure 8) sont fortes et assurent l'essentiel de la cohésion tout en empêchant la pénétration des réactifs car la rupture de ces interactions est le préalable à toute réaction [23].

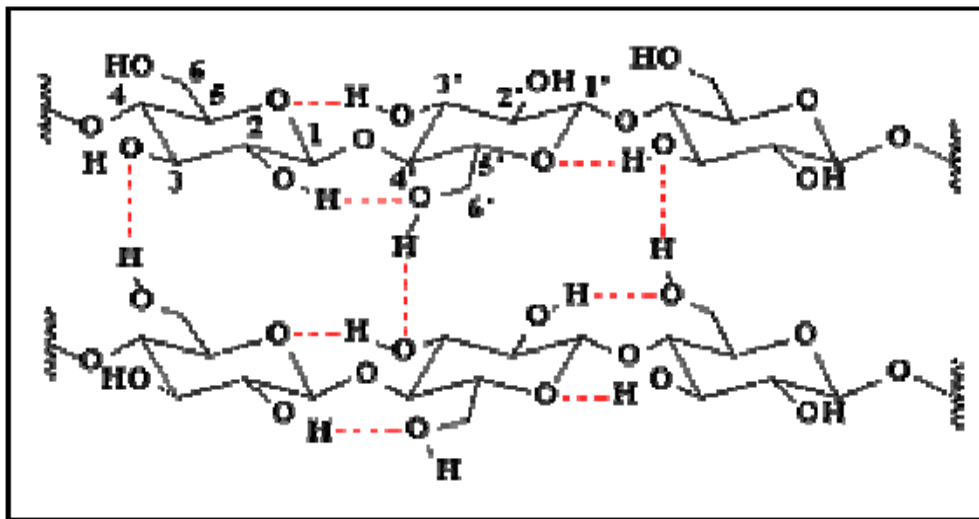


Figure 8: Liaison hydrogène inter et intramoléculaire au sein de la fibre de cellulose [23].

La cellulose n'est pas hydrosoluble mais est fortement hydrophile, propriété qui est à l'origine, pour les fibres exploitées, de leur grand confort en tant que fibres textiles. Dans les conditions normales d'utilisation, elle peut contenir jusqu'à 70% d'eau plus ou moins liée. Le remplacement d'une partie des interactions inter-chaînes par des liaisons hydrogènes entre la cellulose et l'eau provoque une plastification du matériau et donc une diminution de ses caractéristiques mécaniques. Alors que la contrainte à la rupture des fibres de cellulose très cristalline peut atteindre 700 MPa à sec, elle peut perdre jusqu'à 30% de sa valeur en atmosphère humide [22].

### I.7.2 L' hémicellulose

Dans la plupart des fibres naturelles, la cellulose est mélangée à des hémicelluloses qui sont également des polysaccharides. L'hémicellulose n'est pas une forme de cellulose. Elle comprend un groupe de polysaccharides composés d'une combinaison de cycles à 5 et 6 carbones (un exemple est représenté en Figure 9). L'hémicellulose forme la matrice de support des microfibrilles de cellulose [24].

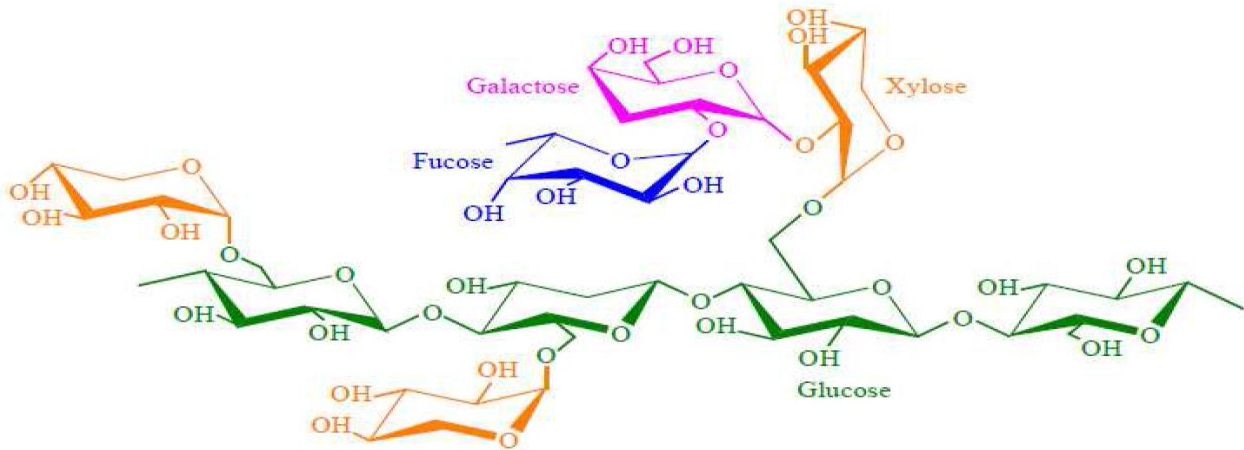


Figure 9 : Structure d'un type de xyloglucane [24].

L'hémicellulose diffère de la cellulose par trois aspects :

-Tout d'abord, elle est composée de sucres neutres : xylose, arabinose, galactose, glucose, mannose, et d'acides uroniques (figure 10) alors que la cellulose ne contient que des unités 1,4-βD-glucopyranose.

-Deuxièmement, elle présente un degré considérable de branchements contenant des groupes latéraux à l'origine de sa nature non-cristalline.

Enfin, à l'état naturel, elle a un degré de polymérisation compris entre 50 et 300, tandis que celui de la cellulose native est 10-100 fois plus élevé. L'hémicellulose est très hydrophile, soluble en milieu alcalin, et facilement hydrolysable dans les acides

L'hémicellulose a de plus une structure chimique très différente selon l'origine végétale, le type cellulaire, la localisation dans la paroi ou bien encore l'âge des tissus [19,20,25].

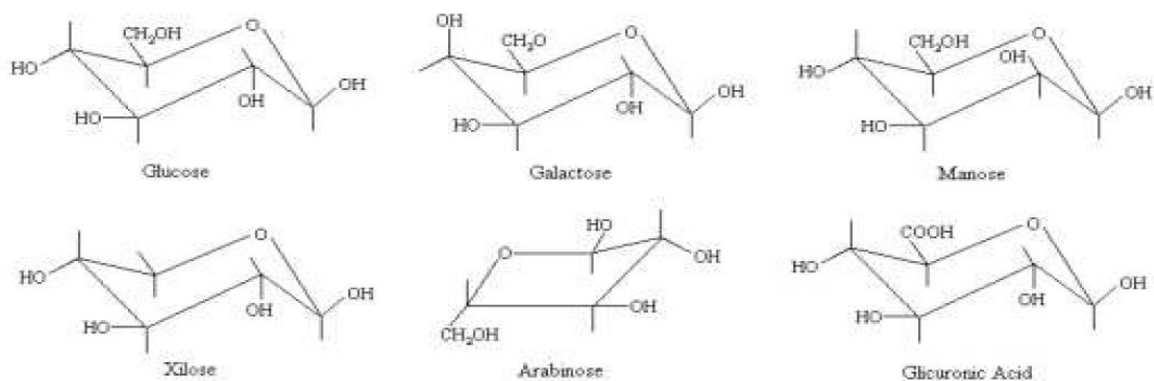


Figure 10 : Principaux constituants des hémicelluloses [25]

### I.7.3 La lignine

La lignine ou "protolignine" est une macromolécule extrêmement hétérogène composée de polymères aromatiques. Elle représente, après les polysaccharides, le polymère naturel le plus abondant sur terre et constitue la plus importante fraction non saccharique des fibres végétales.

Elle participe à la rigidité structurale des parois cellulaires et protège les plantes contre l'attaque des organismes pathogènes. La lignine est une molécule à trois dimensions composée d'unités de phényle propane (Figure 11).

Les unités primaires (monolignols) constituant la lignine sont l'alcool coniférylique, l'alcool sinapylique et l'alcool p-coumarylique (Figure 12).

Au cours du processus de lignification, des phénoloxydases végétales telles que les laccases interviennent et permettent la polymérisation des différentes unités élémentaires. Une fois synthétisée, la lignine s'associe avec les différents polysaccharides pour former une matrice constitutive de la paroi végétale [26].

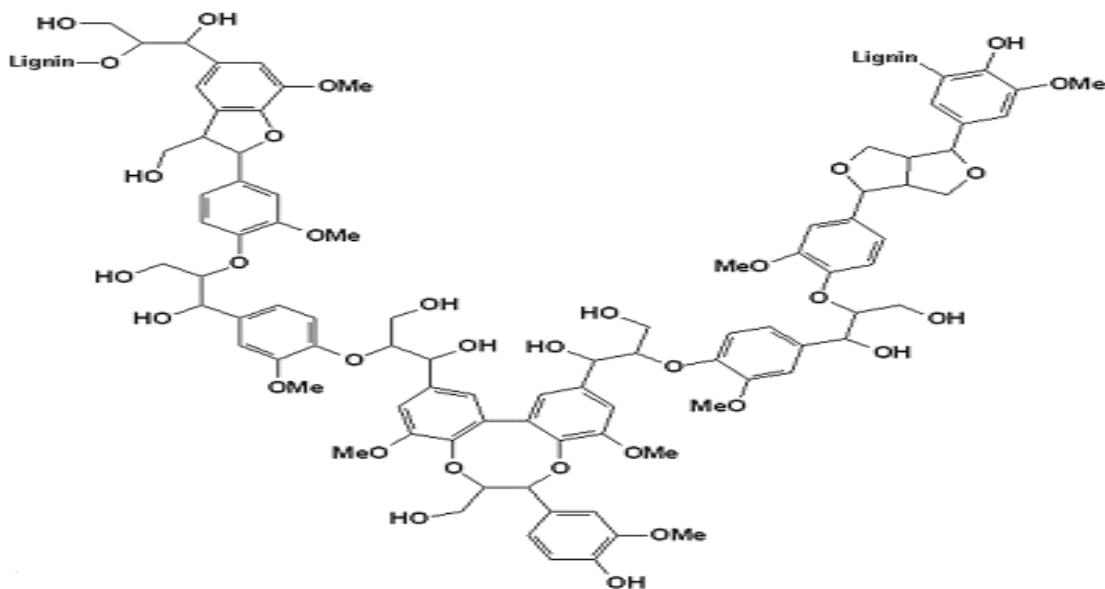


Figure 11: Représentation schématique de la lignine [26].



**Figure 12 : Structure des précurseurs de la lignine [26].**

La lignine est totalement amorphe et hydrophobe. Elle n'est pas hydrolysée par les acides, mais soluble à chaud dans la soude, facilement oxydée et facilement condensable avec du phénol. Parce qu'il est impossible d'isoler la lignine native du bois sans la dégrader, sa masse moléculaire reste encore inconnue. Nous pouvons trouver des masses moléculaires approximatives dont les valeurs moyennes sont de 5000 à 10000 g/mol pour les bois durs (des feuillus), et de 20000 g/mol pour les bois tendres (des résineux) [13].

#### I.7.4 Les pectines

Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux. Les pectines sont des polysaccharides acides dont la chaîne principale est composée de monomères d'acide uronique liés en 1-4 (Figure 13) [27].

Régulièrement, des molécules de rhamnose s'intercalent entre ces monomères par des liaisons 1-2 et 1-4. Certaines de ces unités rhamnose portent des chaînes latérales composées d'oses neutres parmi lesquels le galactose et l'arabinose sont les plus abondants. Ce type de liaison entre les molécules d'acide uronique et de rhamnose forme des coudes (Figure 13). La macromolécule de pectine ressemble à un zig-zag. Cet agencement lui confère des propriétés particulières. Elle procure une certaine flexibilité aux plantes [27].

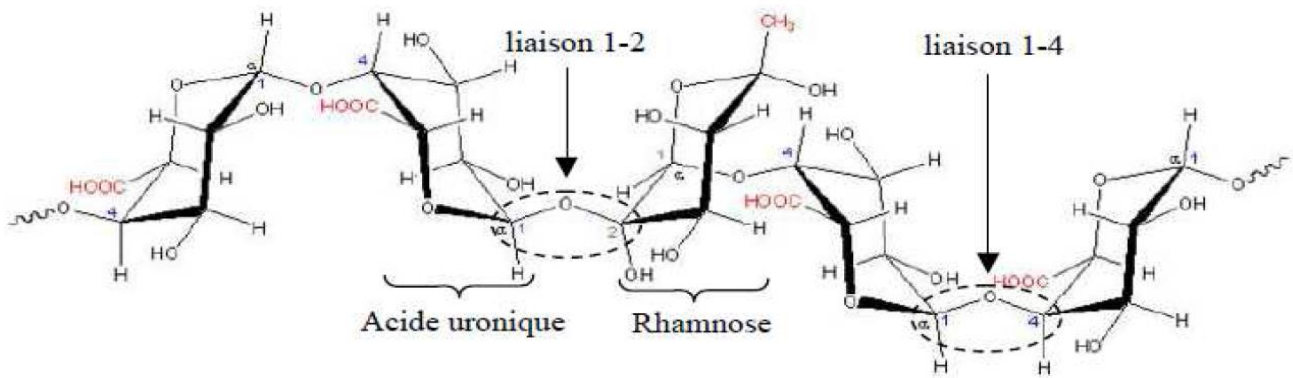


Figure 13: Structure d'une chaîne d'acide polygalacturonique et formation d'un coude par la présence de rhamnose [27].

### I.7.5 Extractibles

Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules. Ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques, d'où leur dénomination.

La composition en extractibles varie en fonction de l'essence considérée et influe sur la couleur et l'odeur. Il s'agit de tanins, de pectines, de sucre et d'autres composés [28].

### I.7.6 Cires

Les cires sont des constituants des fibres naturelles, qui peuvent être extraits avec des solutions organiques.

Ces matériaux se composent de différents types d'alcools insolubles dans l'eau et de plusieurs acides tels que l'acide palmitique, l'acide oléagineux et l'acide stéarique [14].

Le tableau 3 présente la composition chimique de quelques plantes à fibres

Tableau. 3: Composition chimique des fibres végétale.

Fibre	Cellulose(%)	Hémicellulose(%)	Lignine (%)	Pectine (%)	Références
Coton	85-90	5,7	0,5-1,6	5,7	[14,20,29]
Noix de coco	32-46	0,15-0,3	40-45	4	[20,29]
Jute	64,4-84	12-20	12-13	0,2	[14,20,29]
Lin	64,1-81	16,7-20,6	2-3	0,9-1,8	[14,20,29]
Chanvre	68-92	15-22	10	0,9	[20,29]
Ramie	68,6-76,2	13,1-16	0,6-0,7	1,9-2	[14,20,29]
Sisal	65,8	12	9,9	0,8-2	[14,20,29]
palmier	32-35,8	24,4-28,1	26,7-28,7	–	[30,31]

## I.8 Préparation des fibres végétales

La partie utilisée pour réaliser la fibre textile est généralement la tige de la plante. On parle alors de fibre libérienne, comme dans le cas du lin, du chanvre, de la ramie et du jute. L'écorce et la périphérie de la tige s'avèrent renfermer les fibres disposant des meilleures propriétés mécaniques.

Elles se présentent alors sous forme de faisceaux et pour les extraire, plusieurs étapes sont nécessaires [32] :

- le rouissage : permet d'hydrolyser la pectose qui lie les fibres entre elles au sein de la tige. Il est réalisé dans le champ, les plantes coupées ou arrachées sont laissées au sol permettant ainsi aux microorganismes de libérer des enzymes dégradant les pectines.
- le broyage : permet de fragmenter les parties ligneuses. Cette étape de décortication est généralement réalisée de manière mécanique à l'échelle industrielle mais d'autres techniques existent comme la séparation en phase vapeur, ultrasonique, chimique ou enzymatique.



- le teillage : permet de séparer les fragments ligneux. Il consiste à isoler les fibres textiles du reste des composants non fibreux de la tige ("buchettes").
- le peignage (ou cardage) : permet de démêler et aérer les fibres.

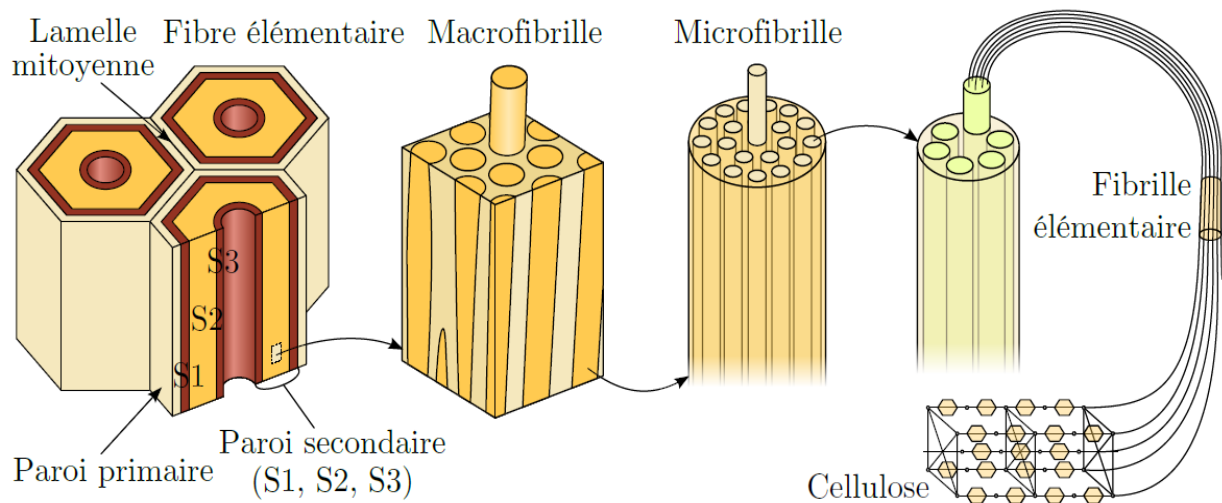
Dans le cas où l'on souhaite obtenir des rovings, l'orientation des fibres est maintenue durant tous les procédés, de la récolte au produit final, afin d'éviter la dispersion des fibres et faciliter la filature. Cependant, les lignes de fabrication de ces torons continus sont différentes et bien moins répandues que celles des fibres courtes.

La fibre unitaire obtenue à la suite de l'extraction possède une section circulaire imparfaite (hexagonale en général) qui comporte éventuellement une cavité centrale (lumen) (figure 14).

Dans les composites, une mauvaise adhésion entre les fibres et la matrice est un paramètre rédhibitoire, l'adhérence est responsable de la transmission des contraintes. Pour cette raison, des post-traitements sont fréquemment effectués sur les fibres. Ces traitements peuvent avoir plusieurs objectifs : une meilleure séparation des fibres, le nettoyage de leur surface, la diminution du caractère hydrophile, l'amélioration de la compatibilité chimique vis-à-vis de la matrice polymère [33]. On cite les traitements de modification de surface :

- des traitements physico-chimiques (ex : ozonation, plasma froid, irradiation) [35].
- des traitements chimiques qui créent des liaisons chimiques avec le polymère (exemples : silanes, isocyanates et acides carboxyliques) [34,36].
- des traitements alcalins qui dissolvent la lignine (sur les lamelles mitoyennes) ainsi que la pectine et des cires présentes sur la surface externe (ex : soude) [34,35].
- des traitements d'acétylation qui améliorent la stabilité dimensionnelle et la durabilité des fibres [34].
- des traitements thermiques (sous atmosphère inerte) qui permettent de stabiliser la paroi cellulaire (résistance mécanique et à la dégradation environnementale) [34].
- une fonctionnalisation du polymère matriciel qui crée des groupes réactifs sur la matrice au lieu de la fibre ; le polymère possède le rôle d'agent de comptabilisation qui est réactif vis-à-vis de la cellulose (ex : anhydride maléique) [34].

Les traitements visant à comptabiliser fibres et matrices par des agents de couplage chimiques semblent montrer une bonne efficacité, tout comme, certes dans une moindre mesure, les traitements de nettoyage alcalins [37,38].



**Figure 14 Structure des fibres végétales [39]**

## I.9 Propriétés des fibres végétales

Les fibres végétales de qualité présentent de grands intérêts dans de nombreux domaines d'application. Même si leurs propriétés font qu'elles ne peuvent pas concurrencer certaines fibres synthétiques pour des utilisations spécifiques, dans de larges domaines, elles peuvent être employées avec succès, voire même avec un gain de performance [40].

### I.9.1 Propriétés mécaniques et physiques

L'angle microfibrillaire ainsi que le pourcentage total de cellulose sont les paramètres les plus déterminants au regard des propriétés mécaniques de la fibre (Tableau 4).

Mais, compte-tenu de leur caractère naturel, d'importantes dispersions de leurs performances peuvent être observées. Non seulement celles-ci vont dépendre des conditions de culture mais aussi de la zone de prélèvement dans la plante et dans la longueur de la fibre. De plus, le diamètre, un des facteurs les plus importants vis à vis des performances mécaniques tel le module d'Young [41] est rarement identique d'une fibre à l'autre.

Tableau 4: Propriétés mécaniques moyennes de quelques fibres végétales [42]

Nature	Angle microfibrillaire[°]	Taux de cellulose [%]	Module d'Young [GPa]	Contrainte de traction [MPa]	Elongation à rupture [%]
<b>Lin</b>	<b>5-10</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>700</b>	<b>3</b>
<b>Chanvre</b>	<b>2-6</b>	<b>70</b>	<b>65</b>	<b>800</b>	<b>3</b>
<b>Ramie</b>	<b>7-10</b>	<b>72</b>	<b>65</b>	<b>800</b>	<b>3</b>
<b>Jute</b>	<b>7-10</b>	<b>65</b>	<b>30</b>	<b>500</b>	<b>1,8</b>
<b>Sisal</b>	<b>10-25</b>	<b>66</b>	<b>12</b>	<b>600</b>	<b>3</b>
<b>Noix de coco</b>	<b>30-49</b>	<b>40</b>	<b>5</b>	<b>200</b>	<b>30</b>
<b>Abaca</b>	<b>10-12</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>600</b>	<b>4</b>
<b>Coton</b>	<b>20-30</b>	<b>90</b>	<b>8</b>	<b>450</b>	<b>8</b>

Par ailleurs, le comportement non-linéaire des fibres ne facilite pas la détermination du module d'Young. En effet, lorsque les fibres sont soumises à un effort de traction, leur comportement est régi par deux effets [43] : la réorientation des fibrilles suivant l'axe de sollicitation et leur glissement les unes par rapport aux autres. De ce fait, ce comportement n'est pas parfaitement linéaire et une augmentation de la rigidité est observée lors de l'alignement des fibrilles suivant l'axe de sollicitation.

Enfin, les conditions de caractérisation (moyens d'essais, montage des fibres, vitesse de sollicitation, température, humidité...) dans la littérature sont souvent différentes ce qui ne facilite pas les comparaisons. Par conséquent, il ne faut donc pas conclure trop rapidement sur un classement de l'intérêt que ces fibres représentent pour telle ou telle application.

D'autant plus que pour être utilisée en tant que renfort dans un composite, la fibre doit répondre à certains critères d'ordre morphologique afin de faire bénéficier le matériau de ses caractéristiques physique (Tableau 5). Bien que le pourcentage de cellulose et l'angle microfibrillaire soient déterminants, le rapport d'aspect (longueur/diamètre) de la fibre est primordial afin d'éviter son déchaussement de la matrice.

Tableau 5: Propriétés physiques de différentes fibres végétales [41,42].

Nature	Diametre [ $\mu\text{m}$ ]	Longueur [mm]	Rapport L/d [-]	Densite [g/cm <sup>3</sup> ]
Lin	5-76	4-77	1687	1,4-1,52
Chanvre	10-51	8-55	960	1,4-1,6
Ramie	16-126	40-250	3500	1,5-1,56
Jute	5-30	1-6	110	1,3-1,5
Sisal	7-47	0,8-8	100	1,0-1,5
Noix de coco	12-24	0,3-1,2	35	1,15-1,5
Abaca	10-46	2-12	240	1,4-1,5
Coton	12-38	10-64	1200	1,5-1,6

### I.9.2 Propriétés thermiques

Bien qu'il semble qu'aucune étude n'ait été réalisée pour comparer de façon objective les différentes fibres végétales entre elles, il semblerait que leurs caractéristiques soient assez proches. Pour les matériaux d'isolation thermique, en fonction du type de conditionnement, la conductivité thermique ( $\lambda$ ) des produits manufacturés se situe généralement entre  $0,035\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  et  $0,040\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

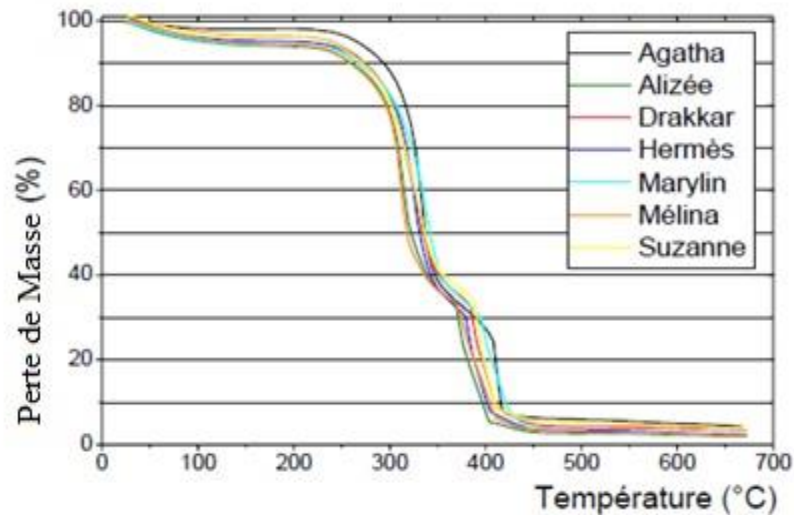
Ce qui leur permet d'entrer en concurrence avec la plupart des produits existants sur le marché [44].

La température de dégradation des fibres naturelles est beaucoup plus basse que celle des fibres d'origine minérale, ce qui doit être pris en compte si le matériau doit être soumis à des températures supérieures à  $150^\circ\text{C}$  dans certaines applications techniques [45].

Contrairement aux fibres de verre qui peuvent résister facilement aux températures requises pour la préparation des composites thermoplastiques, les fibres végétales y sont beaucoup plus sensibles. Des analyses thermogravimétriques (ATG) sur des fibres de lin à une vitesse de chauffage de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  montrent que ces fibres commencent à perdre de leur masse et à se dégrader thermiquement à partir de  $250\text{-}300^\circ\text{C}$ .

La décomposition de la cellulose se passe initialement dans les zones amorphes et interviendrait à partir de 300-350°C (comme pour la lignine), alors que la décomposition des hémicelluloses se déroulerait à des températures inférieures à partir de 250°C. Cependant, ces températures de dégradation sont mal connues et diffèrent beaucoup selon les auteurs et selon les conditions de détermination [46].

Il a été aussi observé que la décomposition du lin ne dépend pas de sa variété (Figure 15).



**Figure 15. Variation de masse en fonction de la température de 7 variétés de lin (vitesse de 10°C/min) [46].**

## I.10 Intérêt des fibres végétales

Les fibres végétales, telles que le bois, le coton, le lin, le chanvre, le sisal ou le jute sont des matières premières abondantes dans le monde qui présentent un faible coût, une densité peu élevée et un caractère recyclable. En conséquence, elles viennent concurrencer les fibres synthétiques telles que les fibres de verre dont la production et le recyclage ont un impact plus lourd sur l'environnement [47].

Un composite renforcé par des fibres naturelles peut également contribuer au respect de l'environnement grâce à son poids inférieur et, pour une application dans l'automobile, une consommation réduite de carburant des véhicules de transport en résulte [48].

De plus, les fibres végétales possèdent des caractéristiques mécaniques très intéressantes. Elles trouvent donc des applications dans les domaines de l'ingénierie, de l'électronique et de l'automobile [49].

Les avantages et les inconvénients des fibres naturelles sont regroupés dans le Tableau 6.

**Tableau 6: Avantages et inconvénients des fibres végétales [49].**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodégradabilité</li> <li>- Faibles coûts</li> <li>- Densité faible</li> <li>- Absence de résidu après incinération</li> <li>- Entièrement recyclables</li> <li>- Neutre pour l'émission de gaz carbonique</li> <li>- Propriétés mécaniques identiques aux renforts traditionnels</li> <li>- Bonnes propriétés d'isolation phonique et thermique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodégradabilité</li> <li>- Absorption d'eau</li> <li>- Les conditions de culture et de conservation influent sur les propriétés des fibres</li> <li>- Faible résistance au feu (200-230°C)</li> <li>- Faible stabilité dimensionnelle</li> <li>- Anisotropie des fibres</li> <li>- Renfort discontinu</li> </ul>

L'inconvénient majeur des fibres végétales est leur faible stabilité dimensionnelle due principalement à leur caractère hydrophile. La biodégradabilité des fibres est un avantage mais également un inconvénient. C'est un avantage du point de vue de la recyclabilité, mais lorsque ces fibres sont introduites dans des matrices, elles peuvent être dégradées à long terme par les micro-organismes présents dans le milieu ou par la basicité de ce dernier [49].

Par contre, l'avantage des fibres végétales par rapport aux fibres minérales est leur caractère non cancérigène.

# Chapitre II

## Le jute

## **II.1 Introduction**

Le jute est une fibre naturelle très résistante, il vient en deuxième position après le coton en termes de volume de production et d'utilisations.

Pendant la révolution industrielle il a connu un grand essor dans la fabrication de toiles à sacs se substituant au lin et au chanvre cultivés en Europe.

Si les sacs constituent encore de nos jours la majeure partie des produits manufacturés en jute un grand nombre d'articles novateurs à haute valeur ajoutée ont vu le jour : revêtements pour sols, composants, géotextiles, non-tissés, pâte à papier, textiles techniques, produits chimiques, tissus d'habillement, artisanat et accessoires de mode [53].

## **II.2 Présentation de la fibre de jute**

### **II.2.1 Origine et historique**

La plante herbacée dont est extrait le jute abonde dans les régions humides (températures comprises entre 24 et 38 degrés et précipitations annuelles de 1 000 mm d'eau au moins).

Le Bangladesh et l'Inde sont les principaux producteurs mondiaux de jute, suivis de loin par Myanmar et le Népal [53].

La culture du jute est exigeante en main d'œuvre mais elle est peu gourmande en engrais et en pesticides.

Le Jute est cultivé depuis très longtemps dans la région du Golfe du Bengale. Les premières exportations vers l'Europe de l'Ouest datent des années 1790, la fibre était alors utilisée dans la fabrication de cordes. En 1822, la première manufacture de filage du jute fut créée à Dundee en Ecosse.

La ville devint rapidement le centre de cette industrie. Dès 1855, l'Inde développa sa propre capacité à transformer le jute, Calcutta devenant la capitale de cette activité. Lors de la partition de l'Inde en 1947, une partie de la production se retrouva alors localisée dans le Pakistan est (aujourd'hui Bangladesh).

Aujourd'hui, la production se situe principalement en Inde et au Bangladesh. Néanmoins de nombreux pays le cultivent : Bhoutan, Brésil, Cambodge, Cameroun, Chine, Egypte, Iran, Myanmar, Népal, Pakistan, Pérou, Thaïlande, Ouzbékistan et Viêtnam. Leur production est toutefois sans commune mesure avec celle de l'Inde et du Bangladesh [50].



### II.2.2 La plante

Plante annuelle, le *Corchorus capsularis* est un arbuste de 2 à 4 m de haut, une plante tropicale à tige rigide et fibreuse de 2 cm de diamètre environ, ramifiée seulement dans la partie supérieure.

Les feuilles, longuement pétiolées, à limbe triangulaire font 10 à 15 cm de long sur 5 cm de large (Figure 16).

La floraison a lieu au mois d'août, et les graines sont mûres en Octobre.

La plante est surtout utilisée pour ses fibres très résistantes que l'on extrait de l'écorce de la tige.

Ses fibres sont employées dans la confection de sacs d'emballage, nattes, vêtements grossiers, etc.

La partie restante après l'extraction des fibres est utilisée dans l'industrie papetière.

Les feuilles et les graines sont comestibles, contiennent un fort pourcentage de protéines sont de petites tailles et de couleur jaune [52,53].



**Figure 16 : La plante de jute**

### II.2.3 La fibre de jute

La fibre de jute est longue, douce et brillante (Figure 17). Sa longueur va de 1 à 4 mètres et son diamètre de 17 à 20 microns. Elle est essentiellement composée de cellulose végétale et de lignine, qui sont respectivement les principaux composants de la fibre végétale et de la fibre de bois. Les méthodes de rouissage utilisées pour séparer l'écorce filamenteuse avec la tige peuvent être biologiques ou chimiques, mais les premières sont plus répandues compte tenu du coût des produits chimiques. Le rouissage biologique englobe plusieurs techniques consistant à lier les tiges en faisceaux avant de les faire tremper afin de séparer plus facilement les fibres de la tige. On gratte ensuite la matière non fibreuse, ce qui permet enfin d'arracher les fibres [54].



Figure 17 : Les fibres de Jute

### II.3 Classification des fibres de jute

Seules ces deux espèces *Corchorus capsularis* et *Corchorus olitarius* sont cultivées à des fins commerciales. Ainsi les fibres de *Corchorus Capsularis* sont référencées comme « White jute » ou jute blanc et celles de *Corchorus olitarius* comme « Tossa jute ».

Plusieurs variétés de fibres de propriétés différentes, sont commercialisées.

La longueur, la résistance, la finesse, la couleur, la densité, la brillance, ..., la proportion de racines et l'uniformité de la couleur restent les principales propriétés pour l'appréciation de la qualité des fibres de jute. Les couleurs de base du jute sont au nombre de deux : le blanc doré et le brun rouge [53].

#### II.3.1 Teneur en racines

Elles sont robustes et incomplètement décomposées. Elles forment la base de la plante ou les fibres de racine. On les trouve plus en jute blanc qu'en jute tossa.

Pour les travailler dans les usines ou avant l'exportation, ces dernières, de longueurs environ 12,5 à 39,0 cm, sont coupées à part et vendues séparément à un prix beaucoup moins cher [53].

#### II.3.2 La longueur

Il existe différentes longueurs des brins de la fibre. Il a été observé que la fibre qui pèse lourd dans la main tend à avoir une qualité meilleure en filature [53].

### II.3 .3 Couleur et lustrage

La couleur normale de la fibre du jute est blanche et celle du jute de tossa est dorée. Une déviation défavorable de la couleur normale est signe de la mauvaise qualité.

Le lustre est une caractéristique d'éclat lorsque la lumière tombe sur la fibre. Plus l'éclat est important, meilleure est la qualité [53].

## II.4 Les Propriétés de la fibre de jute

### II.4.1 Propriétés physiques

Les propriétés physiques importantes de la fibre de jute sont données dans le Tableau 7.

**Tableau 7 : Les propriétés physiques de la fibre de jute [54].**

1. Largeur de la cellule fondamentale du jute (étendue)	15 - 20 $\mu\text{m}$
2. Longueur de la cellule fondamentale du jute (étendue)	1 - 6 mm
3. Largeur de la cellule fondamentale du jute (moyenne)	18 $\mu\text{m}$
4. Longueur de la cellule fondamentale du jute (moyenne)	2,5 mm
5. Ténacité	23-57 (cN/tex)
6. Densité	1,48 $\text{g/cm}^3$
7. Taux de reprise à 65% d'humidité relative et à une température de 22°C (conditions normales)	13,8%
8. Finesse (g/1000 m par fibre)	0,26-0,46 Tex
9. Allongement à la rupture	0,8 - 1,8 %
10. Indice de réfraction (parallèle)	1,577
11. Indice de réfraction (perpendiculaire)	1,536
12. Module de Young	8,6 - 17,9 (GPa)
a. White jute	9,6 - 19,4 (GPa)
b. Tossa jute	
13. Module de rigidité	0,442 (GPa)
14. Chaleur de combustion	17,46 (J/g)

### II.4.2 Propriétés chimiques

- Effet de blanchiment : n'est pas affecté par l'oxydant et le réducteur.
- Effet de l'acide et des alcalis: facilement abimé par les acides concentrés ou dilués à chaud ou à froid.
- A froid, il n'est pas affecté par les acides faibles. Résistant aux alcalis.
- Effet de solvant : résistant aux solvants organiques
- Effet du soleil : faible résistance à la lumière du soleil, brûle à haute température.
- Effet de la chaleur : brûle rapidement.
- Possibilité de teinture : bonne affinité pour les couleurs de base, mais mauvaise résistance à la lumière et au lavage des teintures.
- Conductivité : moyen conducteur de chaleur et d'électricité [53].

### II.4.3 Composition chimique

La composition chimique de la fibre de jute est donnée dans le tableau 8

**Tableau 8 : composition chimique du jute**

Constituant	Pourcentage (%)
Cellulose :	65,2
Hémicellulose :	22,2
Lignine :	10,8
Eau :	1,5
Graisse et cire	0,30

### II.5 Processus d'élaboration

Certaines conditions sont nécessaires pour la culture du jute : un climat chaud et humide. Le sol doit être de type alluvial ou argilo-sableux. Le jute pousse dans les endroits de pluies abondantes, où les précipitations moyennes se situent entre 75-100 mm pendant la phase de croissance.

Les graines sont généralement plantées entre le mois de Mars et le mois de Juin. La terre doit être labourée et fertilisée. Le semage se réalise en laissant un espace de 15cm entre les graines.

Deux ou trois jours plus tard, les graines commencent à germer, mais c'est seulement après 3 ou 4 mois que la plante fleurit. Un mois après la floraison et avant que les fruits mûrissent, on coupe les tiges à hauteur du sol. Durant cette période, on procède deux ou trois fois au désherbage de la plante et au ratissage du terrain [52].

Après la récolte, les tiges de Jute sont liées en bottes et immergées dans de l'eau stagnante ou à faible courant : C'est le rouissage. Les tiges restent immergées dans l'eau pendant environ 20 jours, jusqu'à ce que la fibre se sépare facilement de l'écorce. Ensuite, c'est l'écorçage. Les tiges sont frappées, bottes par bottes, avec un maillet de bois pour rompre l'écorce. Quand les fibres sont libérées, on les lave en les écartant en éventail afin d'enlever à la main les dernières impuretés.

Les fibres sont essorées et mises à sécher à une température d'environ 30 degrés durant trois semaines. Il est important que ce procédé se réalise correctement, dans le cas contraire, la fibre devient gluante, difficile à filer et peu lumineuse. Les fibres de jute mesurent entre 1 et 4 mètres et sont de couleur blanche-jaunâtre, jaune ou brune. On effectue à nouveau un séchage de la fibre, on la plie au centre, elle est ensuite entassée en balles, c'est sous cette forme qu'elle sera ensuite vendue [54].

La fibre de jute constitue uniquement 6% du poids de la plante. Le processus de production est long et requiert une main d'œuvre importante, l'extraction de la fibre s'effectue totalement manuellement [55].

## **II.6 Les usages des fibres de jute**

Le jute est une fibre polyvalente. Avec la Révolution industrielle, le jute a comme caractéristique intéressante de pouvoir être utilisé indépendamment aussi bien qu'avec diverses fibres et matières. S'il est de plus en plus souvent remplacé par des matières synthétiques, certains fabricants tirent parti de sa biodégradabilité pour des usages où ces dernières seraient inadaptées.

On le retrouve par exemple dans des toiles pour mottes, destinées à la plantation de jeunes arbres, pour lutter contre l'érosion et maintenir les sols. Ces produits se désagrègent et il est donc inutile de les retirer du sol.

Le jute présente d'autres avantages. Bon isolant, il est doté de propriétés antistatiques intéressantes et affiche une faible conductivité thermique ; sa capacité de rétention de l'humidité est moyenne [14].

### **II.6.1 Textiles**

Les principaux produits à base de jute sont les fils et ficelles, les sacs et autres toiles et les dos de tapis. La fibre de jute est également utilisée dans des textiles mixtes. Elle présente une forte résistance à la traction, une faible extensibilité et permet d'améliorer la « respirabilité ». Elle est tissée pour fabriquer des rideaux, des revêtements de chaises, des tapis et des carpettes, et se trouve souvent mélangée avec d'autres fibres synthétiques ou naturelles. De surcroît, les fils les plus fins peuvent être séparés pour imiter la soie.

Il est également possible de mélanger le jute avec la laine, en le traitant auparavant avec de la soude caustique afin d'en améliorer l'ondulation, la douceur, la souplesse et l'apparence générale [14].

### **II.6.2 Géotextile**

Une des applications les plus récentes du jute a été réalisée dans le domaine des géotextiles. Grâce à ses propriétés particulières (forte teneur en lignine et tissabilité de la fibre), le fil de jute peut servir à la confection d'un maillage lâche destiné à être posé sur les sols. Ce genre de tapis retient la terre et limite ainsi l'érosion. Sa complète biodégradabilité en fait un produit écologique et par la même occasion fertilisant (2 tonnes d'apport de matière organique par are en 2 ans).

Ce "tapis" peut servir également de protection pour les racines et les graines en conservant une humidité minimum au niveau du sol. Les utilisations agronomiques sont par ailleurs nombreuses [51].

### **II.6.3 Emballage**

Le jute est souvent utilisé pour emballer les produits agricoles et, de plus en plus fréquemment, dans des emballages rigides. Il remplace également le bois dans des pâtes et papiers [14].

### **II.6.4 Plastiques**

La fibre de jute peut servir à renforcer la matière plastique. Le mélange granules de plastique et fibres de jute peut remplacer le plastique pur dans tous les types de produits à base de plastique. Compte tenu du prix moins élevé du jute et de la possibilité d'intégrer jusqu'à 40% de jute (en poids de produit fini), ce procédé est une substitution intéressante. Ce procédé est notamment expérimenté dans la fabrication automobile [51].

## II.6.5 Substitut du bois

Le jute peut être utilisé comme substitut du bois dans deux domaines: la papeterie et le mobilier. La fabrication de planches nécessite l'utilisation d'une technologie d'assemblage par résine à chaud. Les produits finis sont des portes, encadrements de fenêtres, couvertures de toits (en remplacement de la tôle ondulée), etc. Ces produits sont résistants à la vermine, au feu, ne gonflent pas à l'humidité et peuvent être enduits avec des peintures classiques [51].

## II.6.6 Sous-produits

Les sous-produits du jute sont employés en cosmétique, dans des médicaments, dans des peintures et dans d'autres produits. Dans les zones rurales des pays producteurs, les tiges de jute sont utilisées comme combustible et pour fabriquer des clôtures. Elles remplacent avantageusement le bois de forêt et le bambou dans la production de panneaux de particules et de pâtes et papiers [54].

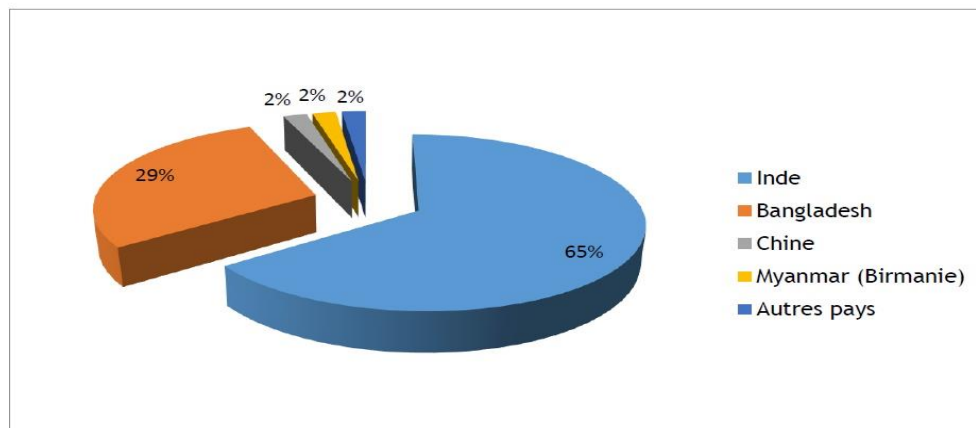


Figure 18 : les différentes applications des fibres de jute [54].

## II.7 La production du jute

La production de jute fluctue au gré des conditions météorologiques et des cours. Ces dernières années, elle s'échelonnait entre 2,3 et 2,8 millions de tonnes, à l'instar de la production de laine.

L'Inde fournit 65 pour cent de la production mondiale et le Bangladesh la presque totalité du reste (Figure 19).



**Figure 19 : Les Principaux pays producteurs de Jute [53].**

### II.7.1 Exportations

Le principal exportateur de fibre brute est le Bangladesh, qui exporte environ 300 000 tonnes de jute par an.

C'est aussi le premier exportateur de fibre transformée (fils de jute, sacs, tissus) avec 400 000 tonnes, suivi par l'Inde avec 95 852 tonnes [53].

### II.7.2 Importations

Les principaux pays importateurs de fibre brute sont l'Inde (73 000 t), le Pakistan (74 000 t) et la Chine (60 000 t), tandis que la fibre transformée est expédiée principalement vers le Moyen-Orient et l'Europe, avec respectivement 20 000 et 250 000 tonnes [53].

## II .8 Perspectives du marché

La demande pour le jute et les autres fibres naturelles susceptibles d'être mélangées avec le coton progresse à mesure qu'augmente celle pour les mélanges de fibres naturelles. Les usages du jute se sont développés dans l'industrie textile. En plus des applications traditionnelles, on le retrouve désormais dans différents textiles à valeur ajoutée utilisés dans l'ameublement ainsi que dans des composites, en particulier, comme fibre de bois. Les produits diversifiés en jute représentent actuellement un faible pourcentage de la consommation totale, mais ce segment pourrait connaître une croissance rapide si des investissements étaient réalisés pour renforcer les ressources et améliorer les compétences.



Le jute joue également un rôle direct dans l'agriculture de conservation et il constitue aujourd'hui une option écologique et économique reconnue dans différentes applications touchant aux sols [51].

## **II.9 Avantages environnementaux**

Les fibres végétales sont totalement biodégradable et recyclable, la fibre de jute est respectueuse de l'environnement. Un hectare de jute consomme environ 15 tonnes de dioxyde de carbone et relâche 11 tonnes d'oxygène. La rotation des cultures permet par ailleurs d'améliorer la fertilité des sols au profit de la récolte suivante. De surcroît, le jute ne produit pas de gaz toxique lorsqu'il est brûlé [51].

## Chapitre III

# Vieillissement des fibres de jute

### **III.1 Définition du vieillissement**

Selon Fayolle et al. [56] Le vieillissement est tout phénomène d'évolution lent et irréversible de la structure et/ou de la composition du matériau sous l'instabilité propre de l'interaction avec l'environnement, de sollicitations mécaniques ou de la combinaison de plusieurs causes. Cette évolution affecte les propriétés mécaniques du matériau. Lorsque les sollicitations extérieures sont trop importantes ou trop agressives, les performances de la structure diminuent

Le vieillissement d'une fibre végétale a donc un impact sur sa durée de vie, ce qui s'exprime par le temps pendant lequel les performances du matériau sont assurées. Afin d'évaluer cette durée de vie, il est possible d'effectuer des expériences en vieillissement naturel, qui sont souvent très longues. Il est donc souvent préférable de recourir au vieillissement accéléré en laboratoire qui permet ainsi de réduire le temps d'expérimentation des traitements qui ont pour rôle de modifier de nombreuses propriétés des fibres végétales. Ils améliorent la mouillabilité de la fibre avec la matrice polymérique et créent un lien fort à l'interface fibre-matrice. Une bonne adhérence à l'interface contribue à l'amélioration du transfert de charges entre les fibres et la matrice et, par conséquent, les propriétés mécaniques sont accrues.

### **III.2 Les catégories de vieillissement**

Il existe deux types de vieillissement: le vieillissement physique et le vieillissement chimique.

Les méthodes de modification physiques et les méthodes chimiques permettant de réaliser le vieillissement en laboratoire ont été mises en place pour refléter au mieux les conditions réelles durant le cycle d'utilisation des fibres végétales [57].

#### **III.2.1 Vieillessement Physique**

Les méthodes physiques induisent un changement des propriétés structurales et surfaciques de la fibre cellulosique mais pas de modifications chimiques. Les techniques très répandues pour le traitement physique des fibres végétales sont :

- Le processus de relaxation structurale dépend du paramètre Température, d'où l'instabilité propre du matériau; il n'y a pas forcément d'interaction avec le milieu extérieur, seule la configuration spatiale des macromolécules est modifiée,
- Le processus d'absorption-désorption (absorption de solvants, migration d'adjuvants), c'est-à-dire des petites particules de solvant vont migrer au sein du matériau ce qui peut avoir des conséquences sur les propriétés des matériaux.

- Agents dispersifs : les cires et les paraffines sont largement utilisées dans les composites à base de bois. D'autres additifs comme les élastomères et les plastifiants sont aussi utilisés. Ces produits agissent sur des propriétés spécifiques qui entraînent des modifications de surface permettant d'améliorer d'une manière directe et indirecte la fabrication du composite. Ces modifications contribuent à faciliter le procédé de fabrication (changements des paramètres du procédé : baisse de la température, homogénéisation du mélange, diminution des contraintes mécaniques lors du processus) [20].
- Traitement par décharge électrique (corona, plasmas froids): Le traitement Corona, ou effet couronne, est une technique d'activation de surface par oxydation. Cela se traduit par une augmentation de la concentration des groupements aldéhydes lors de l'activation de la surface des fibres. On obtient sensiblement le même type d'action avec les plasmas à basse température. Ce traitement modifie la surface des fibres sans affecter les propriétés intrinsèques du matériau. Cette technique ne nécessite pas l'usage de solvant et s'applique avec un temps de traitement court [58].

### III.2.2 Vieillessement Chimique

Plusieurs approches ont été utilisées pour réduire le caractère hydrophile des fibres de cellulose et améliorer leur adhérence avec les matrices des composites [59].

La modification de la surface par les méthodes chimiques a pour objectif de rendre compatibles deux matériaux par l'introduction d'un troisième ayant des propriétés intermédiaires.

#### III.2.2.1 Traitement Alcalin

C'est l'un des traitements chimiques les plus employés dans le cas des fibres naturelles destinées pour le renforcement des plastiques, la modification importante apportée par un traitement alcalin est la diminution des liaisons hydrogène entre la cellulose et les principaux constituants: hémicellulose et lignine.

La définition standard du traitement alcalin (proposée par la norme ASTM D 1965) est la suivante : c'est un 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 [20, 60].

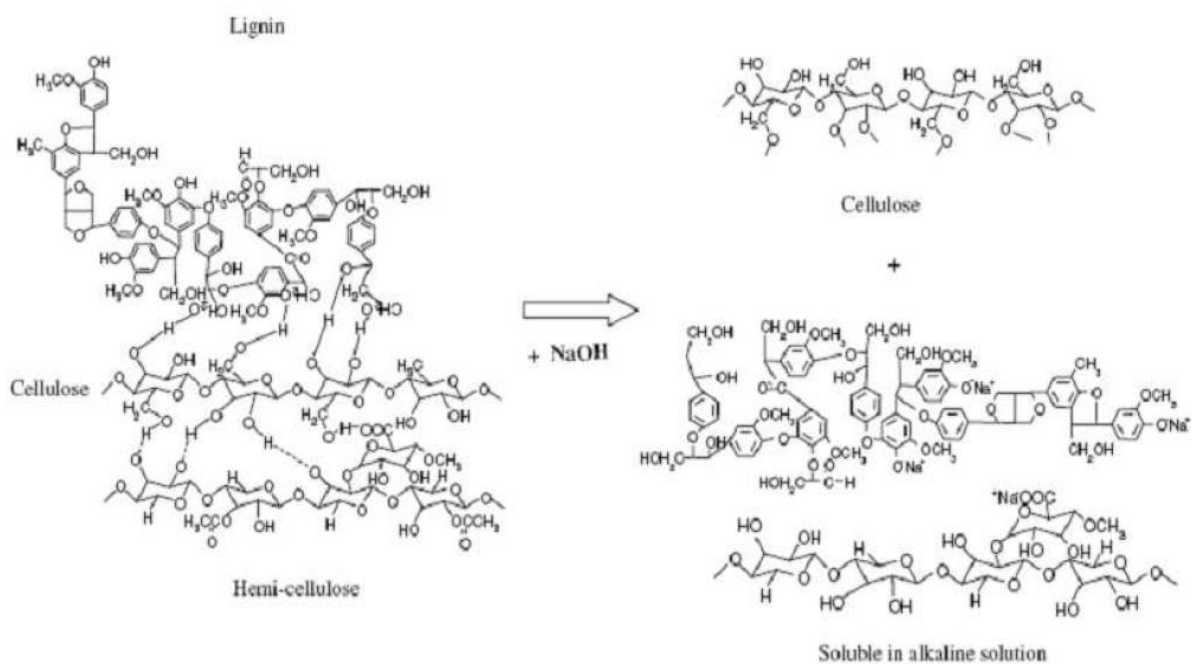
Le traitement par la base change la topographie de la surface des fibres, supprime la cire, la pectine, une partie de la lignine, et l'hémicellulose ce qui est favorable à l'utilisation ultérieure des fibres comme renfort de matériaux polymères. En effet, l'élimination de ces composants est nécessaire car du fait de leur structure amorphe, ils conduisent à une résistance en traction plus faible [20, 61].

Le traitement alcalin par l'hydroxyde de sodium (NaOH) à la fibre naturelle favorise l'ionisation du groupe hydroxyle selon la formule suivante [21, 26] :



L'effet de la soude sur la fibre de cellulose est une réaction de gonflement, au cours de laquelle la structure cristalline naturelle de la cellulose relaxe. La cellulose native (telle qu'elle existe dans la nature) possède un réseau cristallin monoclinique de cellulose-I, qui peut être transformé en différentes formes polymorphes par des traitements chimiques ou thermiques.

La figure 20 présente la réaction de traitement par la soude.



**Figure 20 : Réaction de traitement par la soude [21].**

Quand les fibres sont traitées avec une solution de soude de concentration inférieure à 5%, la densité de la fibre augmente parce que la plupart de l'hémicellulose et la lignine est éliminée.

Ceci permet un rapprochement des microfibrilles de cellulose conduisant à une meilleure compacité et une augmentation de la densité [66].

Le type d'alcalin (KOH, LiOH, NaOH) et sa concentration influent sur le degré de gonflement, et donc le degré de transformation en cellulose-II. Des études ont montré que  $\text{Na}^+$  a un diamètre favorable et il est capable d'élargir l'espace entre les plans réticulaires et d'y pénétrer. Cela conduit à la formation d'un réseau Na-cellulose-I, réseau comportant des distances relativement grandes entre les molécules de cellulose. Les espaces créés sont remplis de molécules d'eau. Dans cette structure, les groupes -OH de la cellulose sont convertis en groupes -ONa, élargissant les dimensions des molécules. Des lavages ultérieurs à l'eau enlèveront les liaisons Na-ions et convertiront la cellulose en une nouvelle structure cristalline, la cellulose II [18] (Figure 21). La soude permet une transformation complète du réseau de cellulose I en cellulose II, contrairement aux autres solutions alcalines qui ne conduisent qu'à une transformation partielle du réseau.

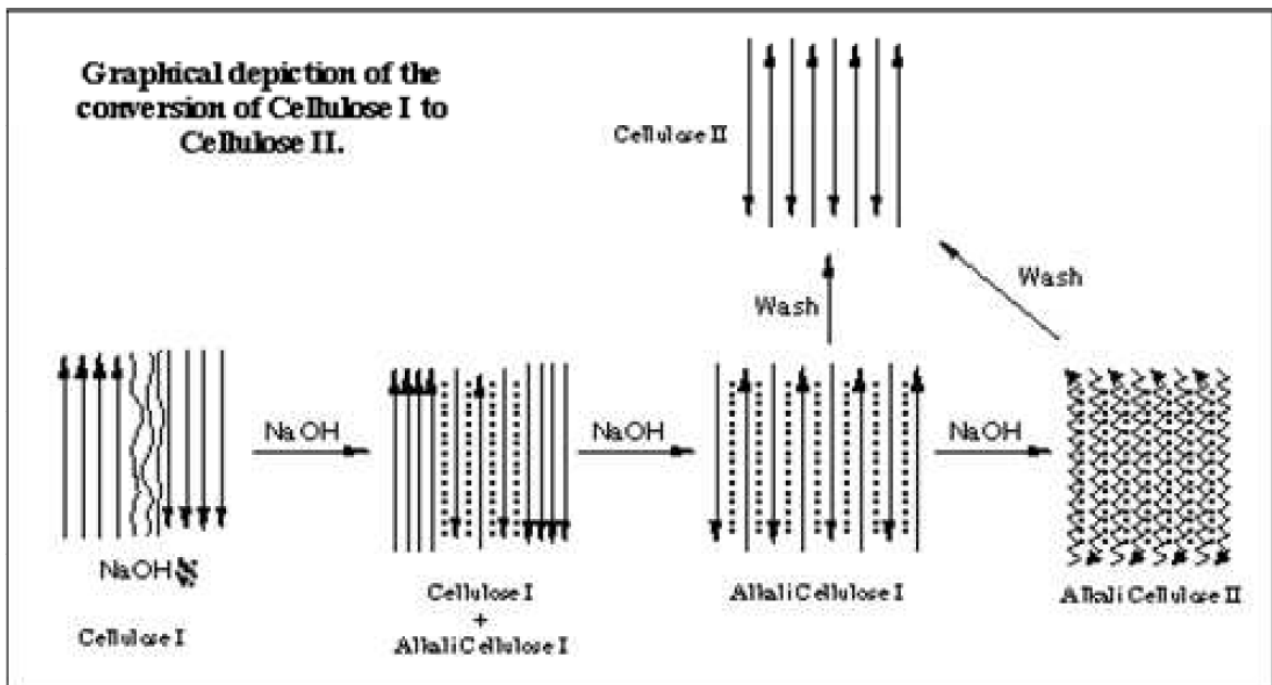


Figure 21 : La structure de cellulose I et cellulose II.

### III.2.2.2 Traitement par les silanes

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

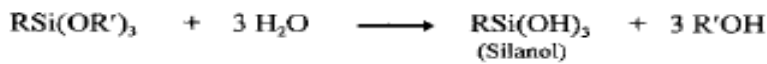
Ce sont des composés hydrophiles avec différents groupements associés au silicium tels qu'une extrémité va interagir avec la matrice et l'autre avec la fibre hydrophile, agissant comme un pont entre eux.

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.

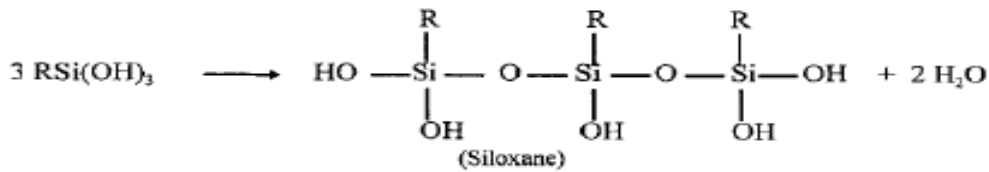
Les alkoxydes de silicium sont capables de former des liaisons avec les groupes hydroxyles. Les silanols peuvent former des polysiloxanes par réaction avec les groupes hydroxyles de la fibre [20, 62].

La réaction chimique est décrite dans la Figure 22.

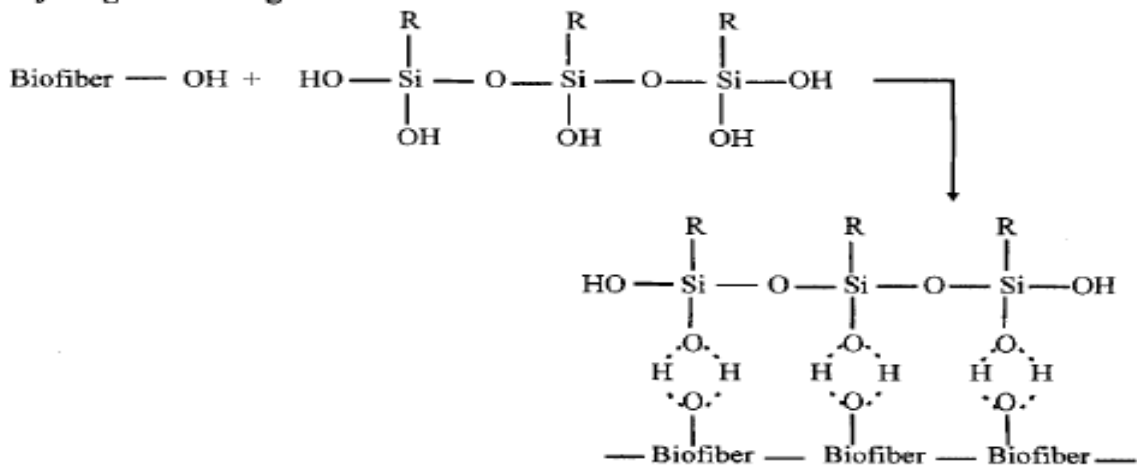
**Hydrolysis**



**Condensation**



**Hydrogen Bonding**



**Surface Grafting**

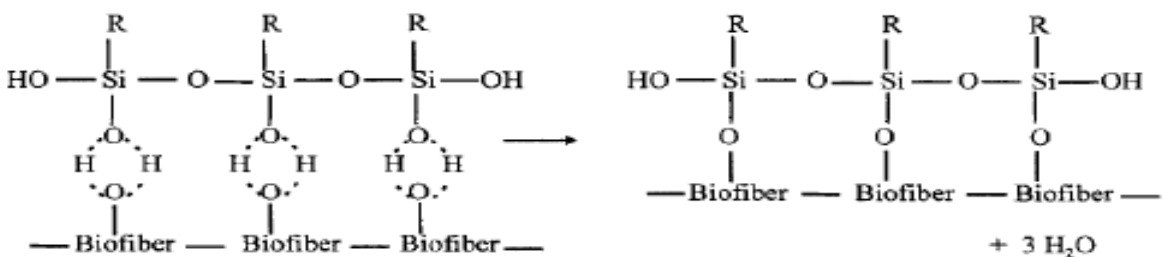
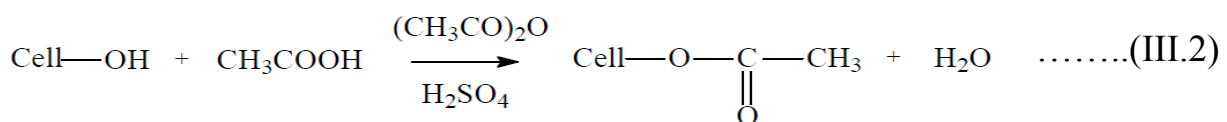


Figure 22 : Réactions chimiques du traitement par un alcoxyde de silicium fonctionnalisé [62].

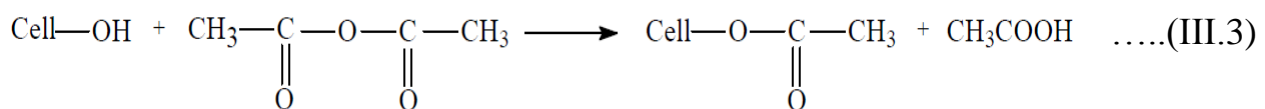
### III.2.2.3 Acétylation

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 acétyls ( $\text{CH}_3\text{CO}$ ), 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 ci-dessous [63]:

Acétylation avec un catalyseur acide:



Acétylation sans catalyseur acide:

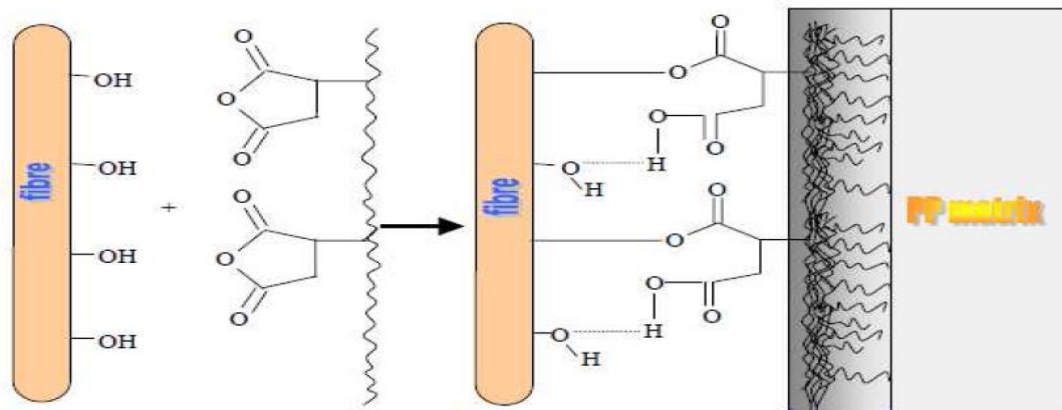


Parce que l'acide acétique ne réagit pas suffisamment avec la cellulose, il est préférable d'utiliser l'anhydride acétique.

### III.2.2.4 Addition d'un compatibilisant

Parmi les agents de couplage organiques, les anhydrides comme l'anhydride maléique, l'anhydride acétique, l'anhydride succinique et l'anhydride phtalique sont les agents de couplage les plus utilisés pour les composites renforcés fibres de bois. L'anhydride acétique, l'anhydride succinique et l'anhydride phtalique ont deux groupements fonctionnels (ex : les groupes carboxylate  $-\text{COO}-$ ), qui peuvent être liés aux fibres de bois par estérification et liaison hydrogène [6]. L'anhydride maléique est un composé carbonyle insaturé contenant une double liaison carbone-carbone ( $-\text{C}=\text{C}-$ ) et deux groupements carboxylates ( $-\text{COO}-$ ). Cette structure augmente considérablement la réactivité de la liaison carbone-carbone avec la matrice hydrophobe, résultant en une réaction ou une forte adhésion à l'interface (Figure 23) [6].





**Figure 23 : Modification chimique de la cellulose pour compatibilisation avec la matrice PP [6].**

### III.2.3 Vieillessement hydrique

Les différents polymères constituant les fibres végétales se comportent différemment en fonction de leur hydrophilie, et du fait du caractère hétérogène, vont créer des gonflements différentiels au sein de la fibre. En effet, la paroi cellulaire, riche en groupements hydroxyles et groupes oxygénés, attire les molécules d'eau grâce aux liaisons hydrogènes [64]. Bien que la cellulose amorphe et la lignine soient hydrophiles, c'est l'hémicellulose qui est principalement responsable de l'absorption d'eau. Le comportement des fibres en milieu humide varie donc en fonction de leurs différents constituants.

La structure non-isotrope des fibres rend, en présence d'humidité, leur comportement également différent dans le sens longitudinal ou transverse.

Par ailleurs, les traitements apportés à la fibre (alcalin, silane, isocyanate, peroxyde...) permettent de freiner de manière importante la diffusion aqueuse en dissolvant en partie les parois cellulaires ou en neutralisant les groupes hydroxyles. La résistance des fibres ainsi traitées améliore généralement leur résistance face au vieillissement thermohydrique [36].

### III.2.4 Vieillessement thermique

D'autres facteurs de vieillissement sont susceptibles d'affecter les fibres de jute et plus généralement les fibres naturelles. Par exemple, une exposition à des températures élevées (105°C) durant plusieurs heures peut engendrer un relâchement des contraintes internes et une diminution de certaines propriétés mécaniques [65].

# Chapitre IV

## Matériel et méthodes

### IV.1 Découpage des fibres

Le découpage des 300 fibres de jute s'effectue à l'aide d'une paire de ciseaux aux longueurs de 170 mm en essayant d'avoir un même diamètre des fibres (figure 24).



**Figure 24 : Fibres de jutes découpées.**

### IV. 2 Traitement des fibres de jute

Les fibres de jute sont étuvées à 105°C pendant 24 heures pour éliminer toutes les traces d'eau. On procède à la pesée des fibres avec une balance analytique d'une précision de  $10^{-4}$  g et on note la masse  $m_0$  ensuite elles sont immergées dans différentes solutions : NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> et l'eau de robinet pour une durée de 60 jours dans des bouteilles de 500 ml . La température est fixée à 25°C. Un prélèvement est réalisé tous les 10 jours [67].

Après chaque prélèvement les fibres de jute sont étuvées à 105°C pendant 24 heures ensuite pesées pour avoir la masse  $m_t$ . Les résultats représentent une moyenne de trois échantillons pour chaque prélèvement.

**Tableau 9 : Description de la préparation des différents milieux [67] .**

Milieu de traitement	Description
<b>NaOH (la soude)</b>	On prépare la solution d'hydroxyde de sodium NaOH (0.1N) avec pH = 13.
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (la chaux)</b>	On prépare la solution de di hydroxyde de calcium Ca(OH) <sub>2</sub> saturée. Tel que à 20°C, $K_s = 1.73\text{g.l}^{-1}$ , la masse utilisée = 1.8 g, pH = 13,8
<b>L'eau fraîche</b>	On utilise l'eau de robinet d'El-Harrach (ENP) avec pH = 7,8.

Pour cela on prendra la dénomination suivante :

<b>Fij</b>
------------

Telle que :

F : fibre de jute.

i : nombre de prélèvement (entre 1 et 6).

j : milieu de vieillissement (N : NaOH, C : Ca(OH)<sub>2</sub>, E : H<sub>2</sub>O).

Exemple :

F0 : la fibre brute

F4N : les fibres du 4<sup>ème</sup> prélèvement qu'est traitées par la soude.

### IV.3 Appareillages et méthodes d'analyse

#### IV.3.1 Evolution de la perte de masse

Les échantillons sont pesés avant et après immersion dans les différentes solutions à l'aide d'une balance Kern de précision 0,0001 g. On note la masse initiale ( $m_0$ ) et la masse au temps ( $m_t$ ).

La perte de masse est calculée par l'équation suivante :

$$\Delta m = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$\Delta m$  : la perte de masse en grammes.

$m_0$  : la masse initiale avant immersion dans les solutions .

$m_t$  : masse prélevée au temps t.

### IV.3.2 Mesure de la densité

La densité est déterminée par la méthode du pycnomètre.

On pèse le pycnomètre rempli d'eau distillée jusqu'au repère r. On note une masse  $m_1$ .

Ensuite, on cherche la masse volumique de l'échantillon solide ; on procède aux deux pesées  $m_2$  et  $m_3$  (voir Figure 25). Toutes les manipulations doivent être faites avec soin. En cours d'opération, il faut éliminer les bulles d'air, compléter, si nécessaire, le volume d'eau et ne pas laisser de gouttes d'eau au-dessus du repère. Après chaque remplissage, il faut bien essuyer le pycnomètre [68].

La densité du corps solide s'écrit :

$$d = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} \dots\dots(2)$$

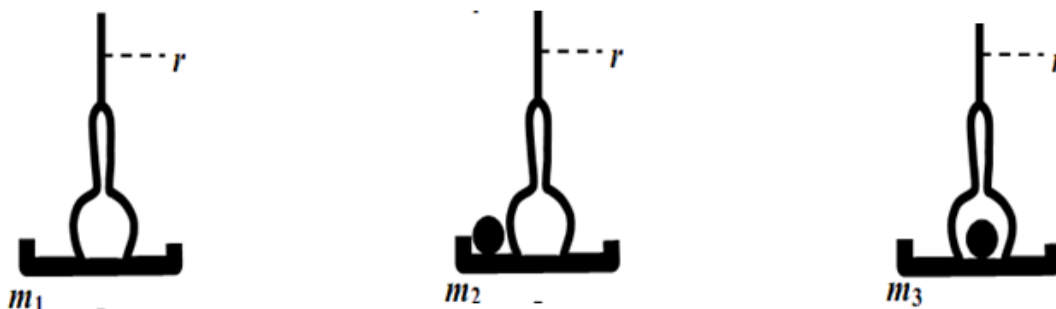


Figure 25 : Protocole de mesure de la densité par la méthode du pycnomètre.

### IV.3.3 Evolution de l'absorption d'eau par les fibres

Les fibres végétales sont hydrophiles. Afin de connaître l'effet du traitement sur l'absorption d'eau les fibres brutes et traitées sont immergées dans de l'eau distillée à une température constante de 30 °C. La variation de masse des échantillons est mesurée à un intervalle régulier sur une période de 15 mn. Trois échantillons de chaque type de fibre sont récupérés du bain et sont légèrement essuyés à l'aide d'un papier absorbant pour éliminer la pellicule d'eau présente en surface. Les échantillons sont alors pesés et à nouveau immergés.

La teneur en eau ( $M_t$ ) est donnée par la formule suivante :

$$M_t (\%) = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100(\%) \dots\dots(3)$$

$M_t$  : teneur en eau (g)

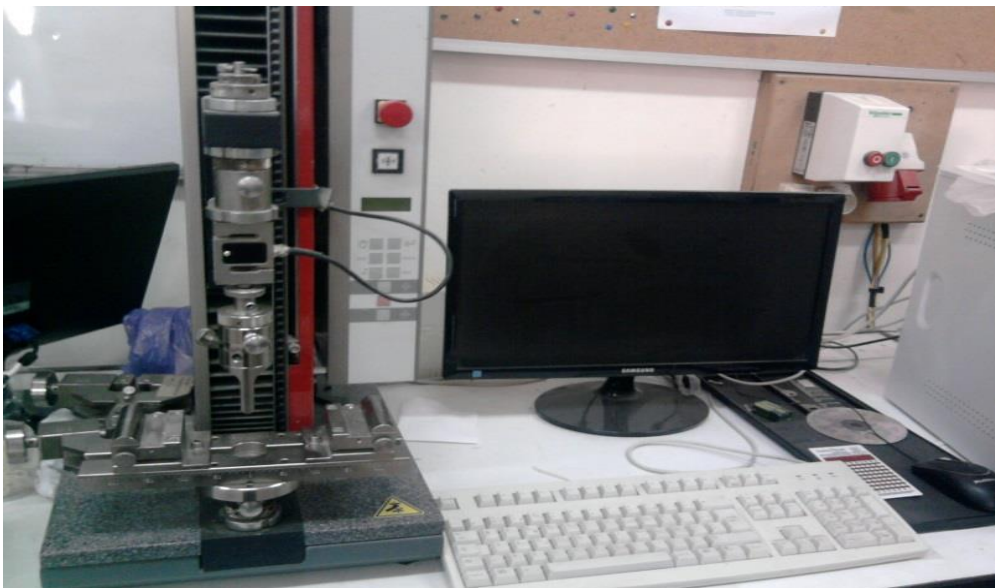
$m_t$  : la masse des fibres à l'instant t (g)

$m_0$  : la masse initiale des fibres (g)

La mesure est effectuée pour trois échantillons, chaque valeur correspond à la moyenne calculée avec l'écart type.

#### IV.3.4 Caractérisation mécanique

L'essai de traction a été effectué à l'aide d'une machine universelle ZWICK /ROELL (figure 26). Le banc d'essai est équipé de mors auto serrant et d'une cellule de force ayant une capacité de 10 kN, la vitesse de traction est 100 mm/mn, et la distance entre les crochets est 10 cm .Son pilotage se fait par le logiciel TESTEXPERT qui permet à la fois de consigner le paramètre d'essais, d'acquérir et de traiter les données.



**Figure 26 : Appareil de traction.**

### IV.3.5 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie infrarouge (IR) s'utilise principalement pour l'analyse qualitative d'une molécule. Elle permet de mettre en évidence la présence ou l'absence d'une liaison particulière.

L'absorption du rayonnement IR par les composés organiques correspond à deux types principaux de vibrations atomiques :

- Vibrations de valence ou d'élongation ;
- Vibrations de déformation angulaire.

Plusieurs modes de vibrations sont possibles pour un groupe d'atomes donnés. A chacun correspond une fréquence caractéristique, mais seuls les mouvements qui entraînent une variation du moment dipolaire électrique donnent lieu à des bandes d'absorption.

Des pastilles de KBr ont été préparées comme suit :

Mélanger de petite particule de l'échantillon avec 200 mg de KBr dans un mortier propre et sec. Broyer le solide trois à quatre fois pendant une dizaine de secondes en le rassemblant avec la spatule entre chaque broyage. Transférer ensuite la totalité de la poudre dans le moule à pastiller. Mettre le moule sous la presse, brancher la pompe à vide pour extraire l'air, attendre une à deux minutes puis appliquer la force prééglée (10000 kg  $\rightarrow$  7391 bars) pendant 3 minutes. Supprimer la pression puis extraire délicatement la pastille en utilisant la presse IR [69].

#### IV.3.5.1 Éléments constituant un spectrophotomètre infrarouge

**Source :** Elle est constituée par un Globar (baguette de carbure de silicium chauffée vers 1300°C, énergie maximale vers 5300cm<sup>-1</sup>), ou par un filament de Nernst (mélange d'oxydes de zirconium, d'yttrium et de thorium dans un tube fin chauffé à 1900°C, énergie maximale vers 7100cm<sup>-1</sup>).

**Détecteur :** De type thermique, le détecteur le plus utilisé est un détecteur pyroélectrique.

**Interféromètre :** La lumière infrarouge (IR) émise par la source est dirigée vers le diviseur de faisceau. La première moitié du faisceau passe à travers le diviseur en direction du miroir mobile, l'autre moitié est réfléchi sur le diviseur en direction du miroir fixe situé à une distance fixe du diviseur.

Les deux faisceaux sont réfléchis à la surface des deux miroirs et se recombinent sur le diviseur créant alors des interférences constructives ou destructives suivant la position du miroir mobile par rapport au miroir fixe. Le faisceau résultant passe ensuite à travers l'échantillon où il se produit une absorption sélective. L'énergie qui atteint le détecteur est donc la somme d'énergie des deux faisceaux. Le signal transmis au cours du temps par le détecteur est traduit sous forme d'interférogramme. Cet interférogramme est ensuite traité par transformée de FOURIER [69].

# Résultats et Discussions



Dans ce chapitre nous regroupons les résultats et les interprétations.

### V. 1 Observation visuelle des fibres après vieillissement

Les fibres vieilles dans différents milieux présentent des aspects différents. Les fibres vieilles dans la solution de NaOH à 0,1N ont pris une couleur jaune claire et elles sont devenues fragiles, alors que celles vieilles dans la solution de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  saturée sont d'un jaune foncé mais encore plus fragile. Par contre, celles vieilles dans  $\text{H}_2\text{O}$  présentent des taches noires (Figure 28 ).



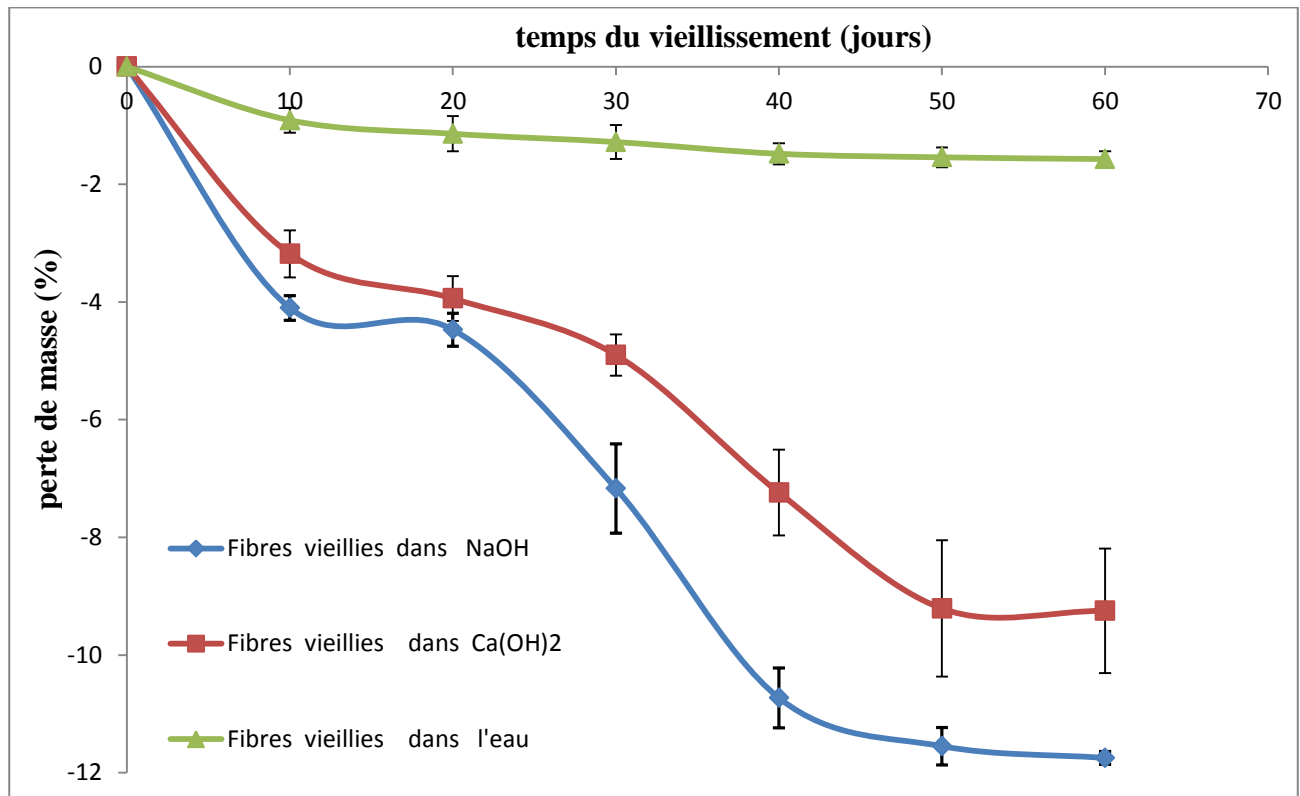
Figure 27 : Photos des fibres de jute brutes.



Figure 28 : Photos des fibres de jute après 60 jours de vieillissement dans différentes solutions.

## V.2 Evolution de la Perte en masse

Les résultats de la perte de masse des fibres de jute en fonction du temps sont présentés dans la figure 29.



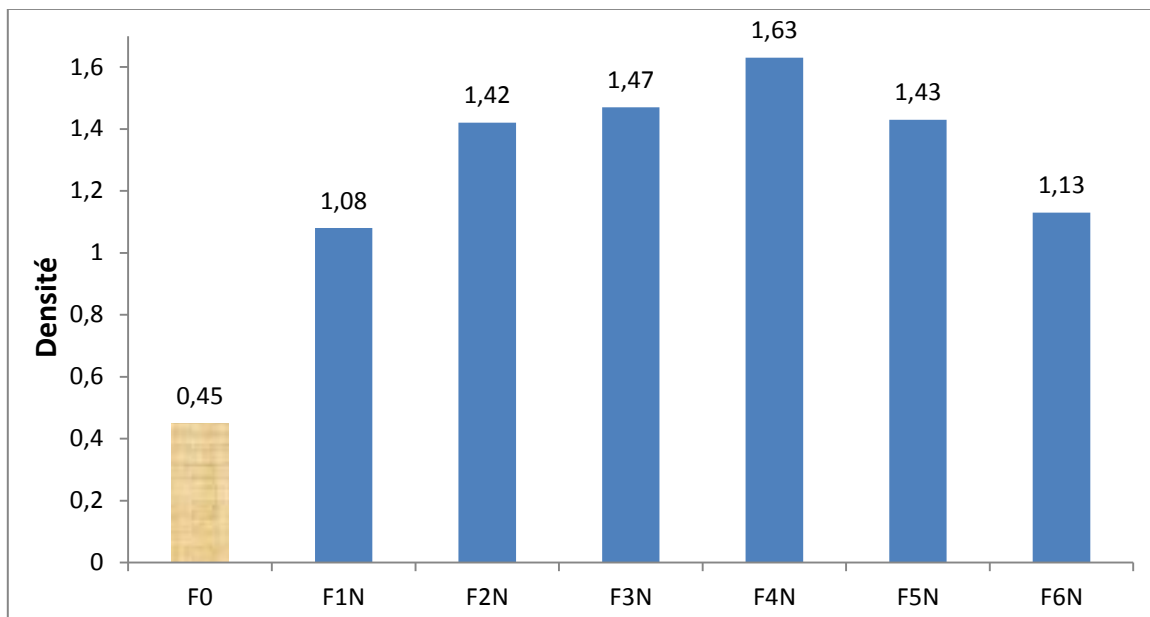
**Figure 29 : Evolution de la perte de masse des différents traitements.**

La perte de masse diminue avec l'augmentation du temps. On note une perte de masse de 12% pour les échantillons vieillis dans la solution de NaOH (0,1N) en comparant à celle des échantillons vieillis dans la solution de Ca(OH)<sub>2</sub> saturée qui est de 9% et de 1,5% pour celles vieillis dans l'eau pour un temps de vieillissement égal à 60 jours.

## V.3 Evolution de la densité

### V.3.1 Les fibres de jute traitées par NaOH

La figure 30 présente la densité des fibres de jute brutes et fibres traitées par la soude.

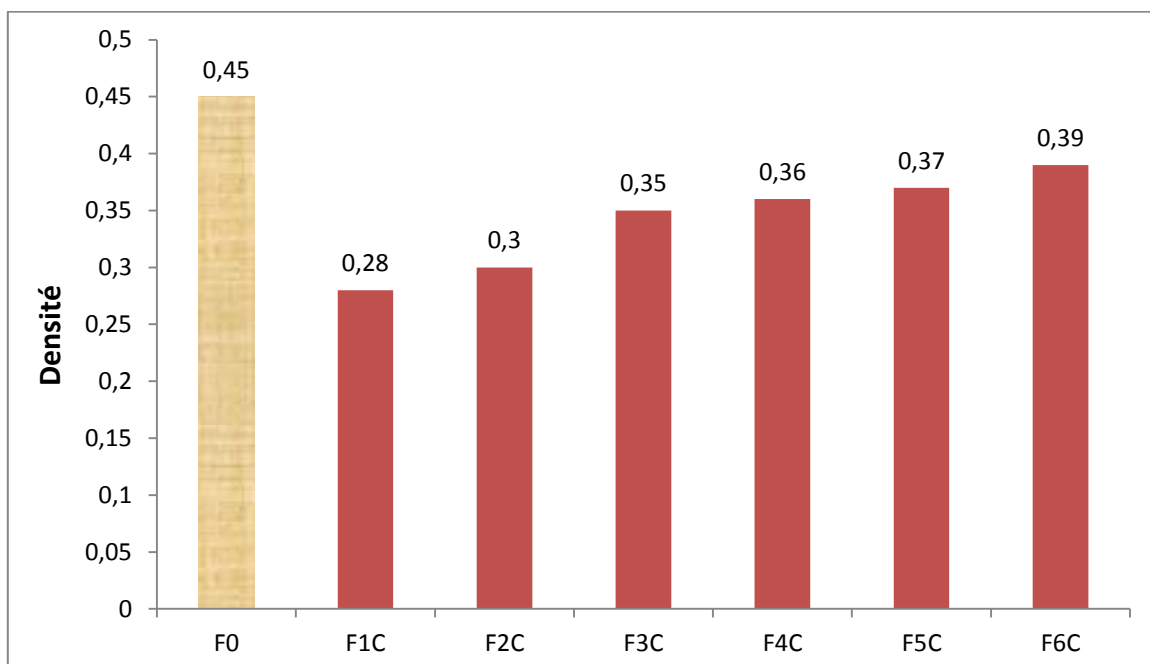


**Figure 30 : Evolution de la densité des fibres brutes et fibres traitées par la soude.**

Les résultats de la densité illustrés dans la figure 30 montrent que celle-ci augmente avec l'augmentation du temps du traitement pour atteindre une valeur maximale de 1,63 pour les échantillons vieillissant pendant 40 jours suivie d'une diminution.

### V.3.2 Les fibres de jute traitées par $\text{Ca}(\text{OH})_2$

La figure 31 présente l'évolution de la densité des fibres de jute brutes et traitées par la chaux.



**Figure 31 : Evolution de la densité des fibres brutes et des fibres traitées par la chaux.**

Le traitement des fibres de jute par la solution de la chaux saturée présente une diminution significative au bout des 10 premiers jours suivis d'une augmentation. La plus grande valeur de la densité 0.39 est obtenue par les échantillons vieillis pendant 60 jours.

### V.3.3 Les fibres de jute traitées par H<sub>2</sub>O

La figure 32 présente l'évolution de la densité des fibres de jute brutes et traitées par l'eau de robinet.

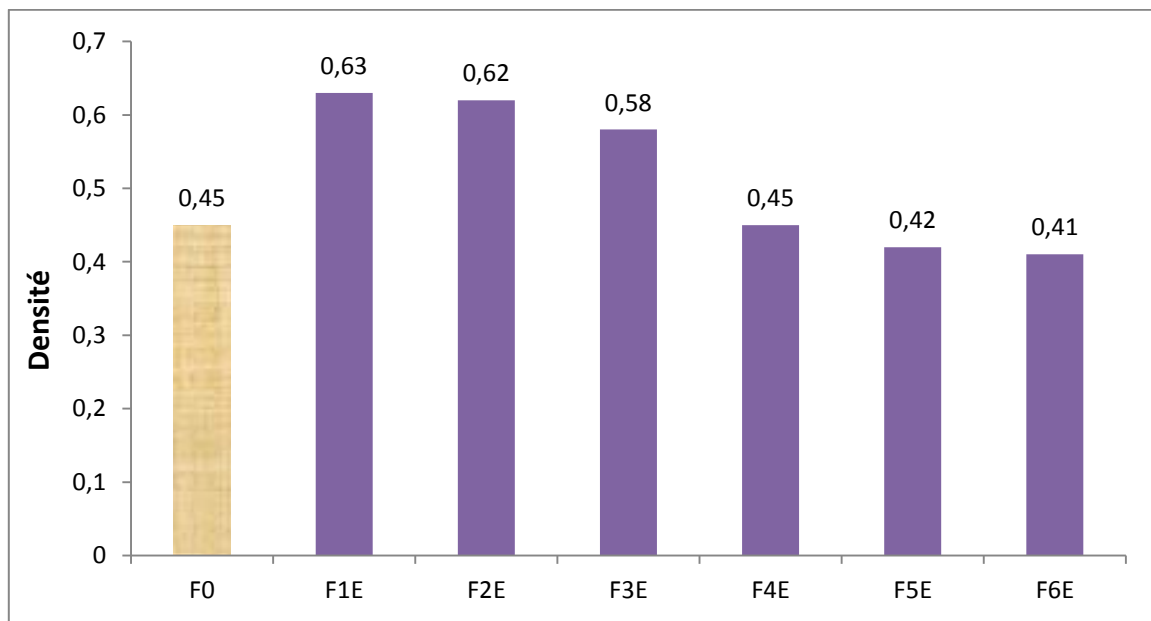


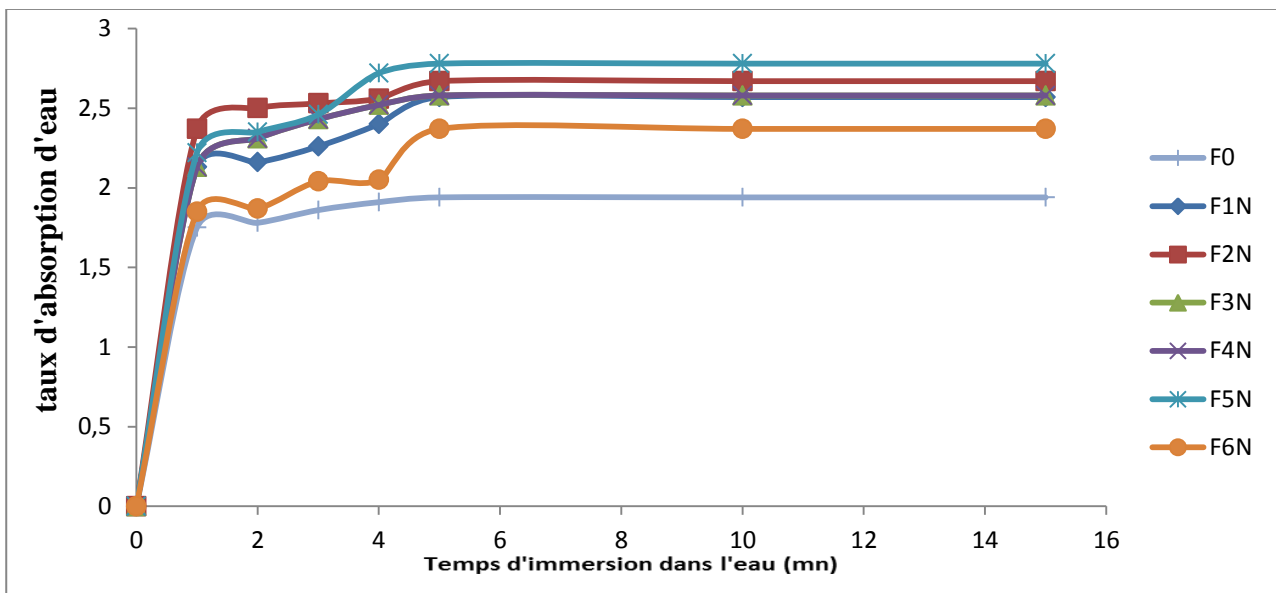
Figure 32 : Evolution de la densité des fibres brutes et des fibres traitées par l'eau de robinet.

Les résultats du traitement par l'eau de robinet montrent une augmentation due à l'absorption d'eau suivie d'une légère diminution après 30 jours pour atteindre la valeur initiale qui est de l'ordre de 0,45.

## V.4 Evolution de l'absorption d'eau

### V.4.1 Les fibres de jute traitées par NaOH

La figure 33 illustre l'évolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après le vieillissement dans la soude.

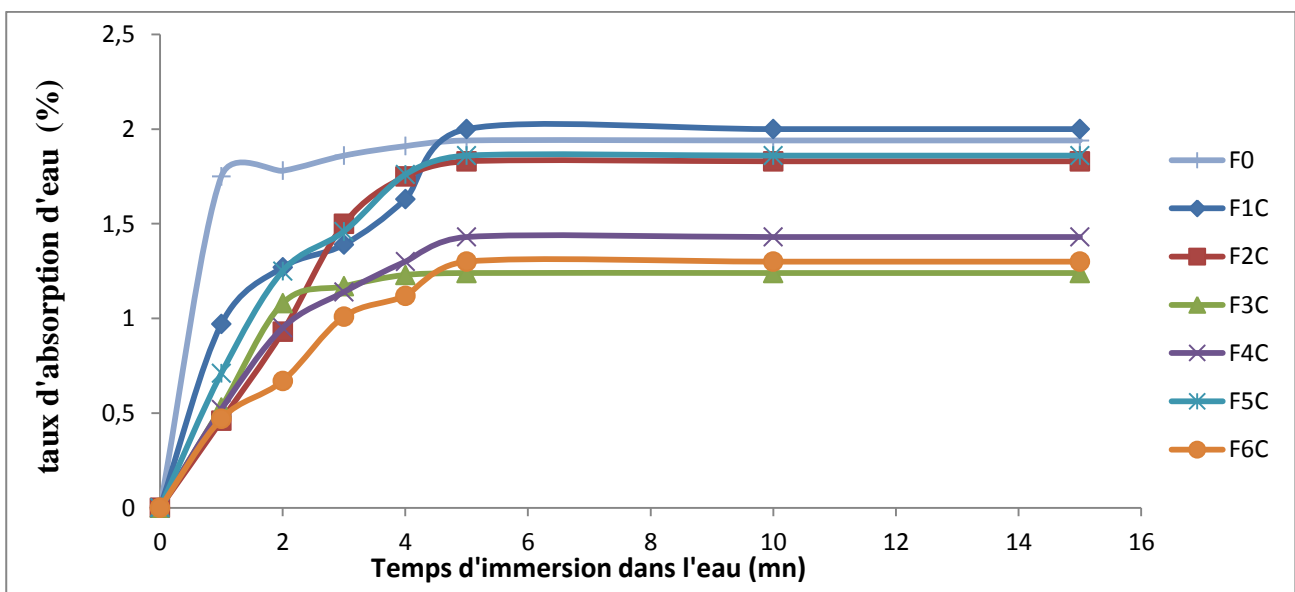


**Figure 33 : Evolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après vieillissement dans la soude.**

L'évolution de l'absorption d'eau des fibres traitées par la solution de NaOH en fonction de temps montre une augmentation du caractère hydrophobe cela dû à la quantité d'eau qui a pénétré à l'intérieur des pores ainsi formés lors de la destruction de la cellulose et l'hémicellulose.

#### V.4.2 Les fibres de jute traitées par Ca(OH)<sub>2</sub>

La figure 34 illustre l'évolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après le vieillissement dans la chaux.

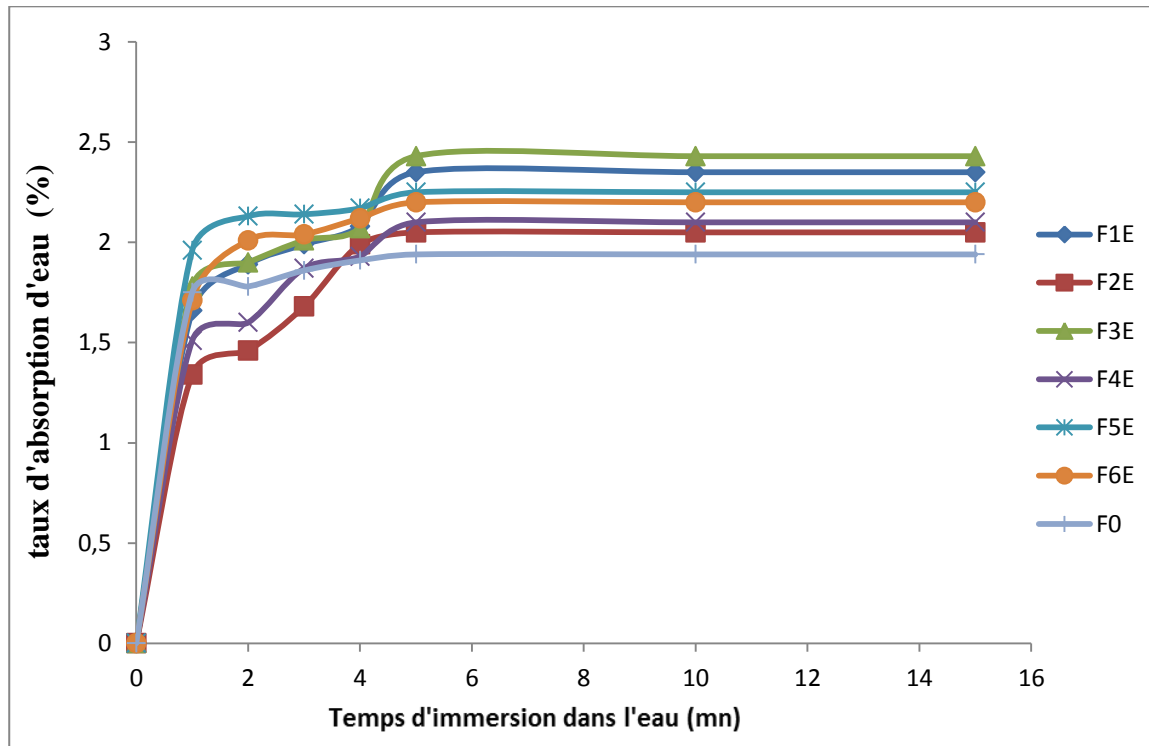


**Figure 34 : Evolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après vieillissement dans la chaux.**

Les résultats d'absorption d'eau pour les fibres traitées par la solution de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  montre un effet bénéfique.

#### V.4.3 Les fibres de jute traitées par $\text{H}_2\text{O}$

La figure 35 illustre l'évolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après le vieillissement dans l'eau de robinet.



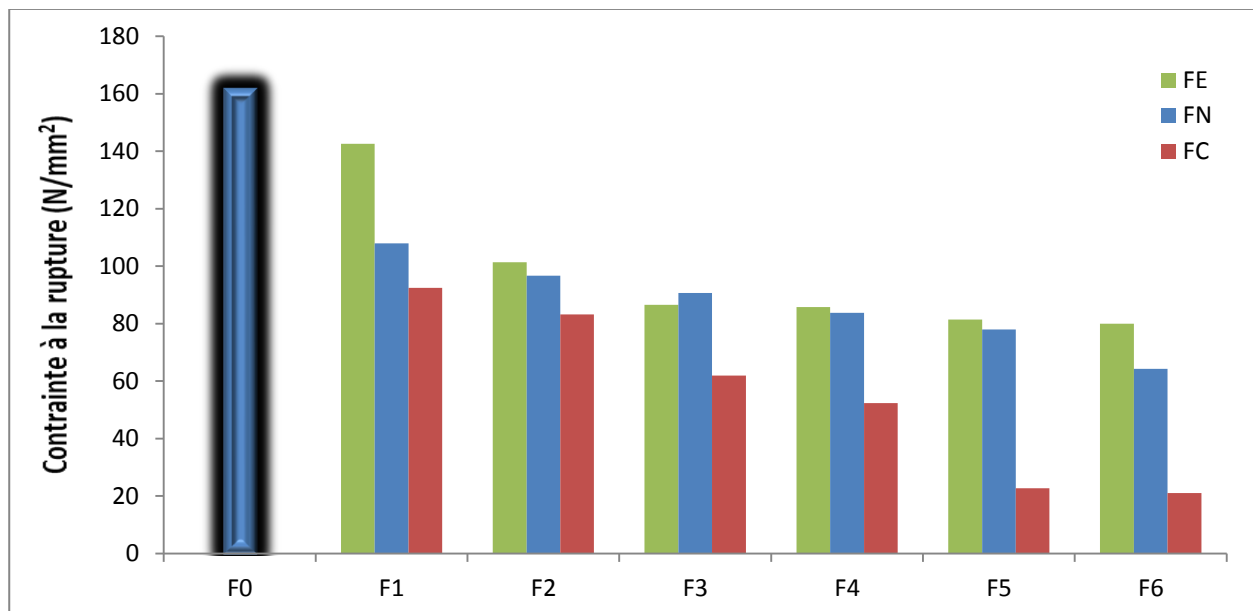
**Figure 35 : Evolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute avant et après vieillissement dans l'eau de robinet.**

On observe une augmentation du taux d'absorption d'eau des fibres traitées en fonction du temps. L'eau pénètre en profondeur et assure le gonflement. Les échantillons vieillis dans l'eau pendant 60 jours absorbent moins ce qui est dû à la dégradation de la fibre.

#### V.4 Essai de traction sur les fibres

Nous avons analysé les fibres brutes et traitées dans les différents solutions pour voir l'effet du vieillissement sur la rigidité de la fibre.

Les résultats de la contrainte à la rupture sont illustrés par la figure 36.



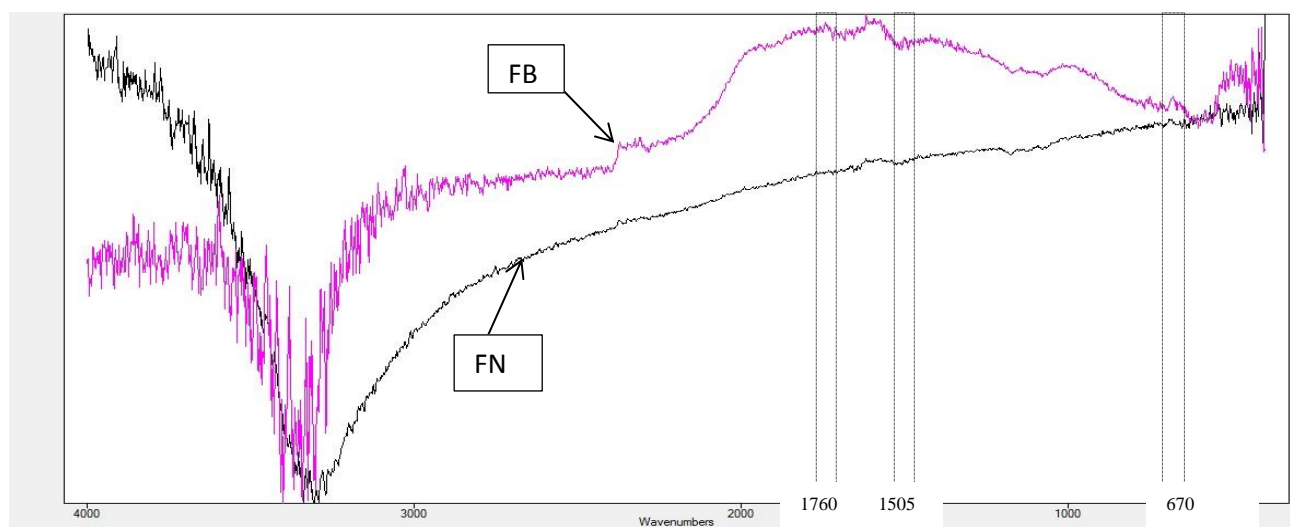
**Figure 36 : Contraite à la rupture de la fibre de jute brute et les fibres traitées dans les différents milieux.**

La contraite à la rupture des fibres traitées dans les différents milieux (NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) diminue en fonction du temps en comparant à la fibre brute.

Les fibres de jute traitées dans la solution Ca(OH)<sub>2</sub> présent une perte de contraite importante qui est de l'ordre de 87%. De ce fait on peut conclure que la chaux est un milieu agressif pour la fibre de jute.

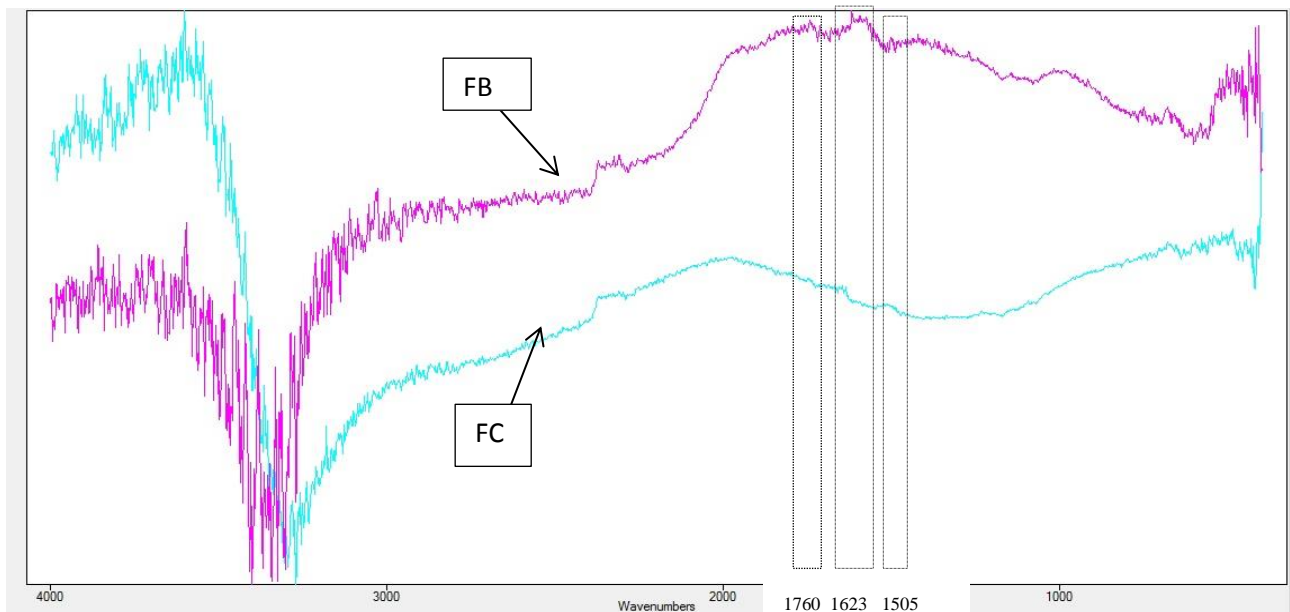
### V.5 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

- Les spectres infrarouges de la fibre de jute brute et traitée dans la soude pendant 60 jours sont présenté dans la figure 37.



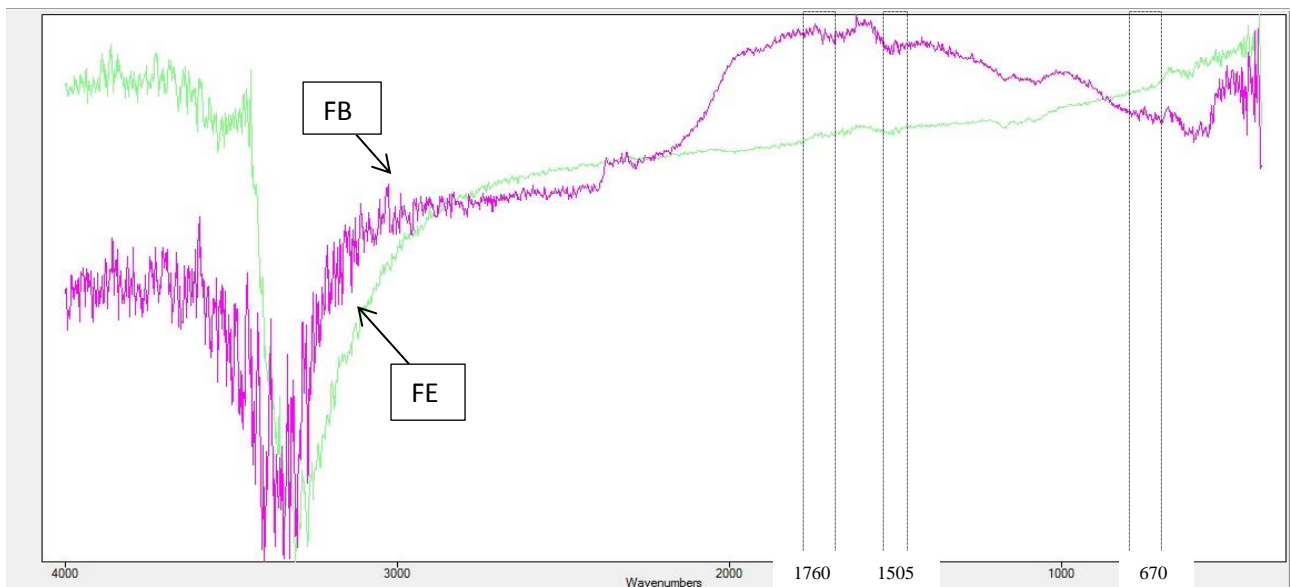
**Figure 37 : Spectres infrarouges de la fibre brute (FB) et traitée par NaOH (FN).**

- Les spectres infrarouges de la fibre de jute brute et traitée dans la chaux pendant 60 jours sont présentés dans la figure 38.



**Figure 38 : Spectres infrarouges de la fibre brute (FB) et traitée par  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (FC).**

- Les spectres infrarouges de la fibre de jute brute et traitées pendant 60 jours dans la chaux présentés dans la figure 39.



**Figure 39 : Spectres infrarouges de la fibre brute (FB) et traitée par l'eau (FE).**

Les spectres IFR des fibres traitées dans les différentes solutions présentent quelques modifications en comparant au spectre de la fibre de jute brute modifié ce qui confirme la perte de masse obtenu et la diminution de la contrainte à la rupture ainsi que la diminution de l'absorption d'eau dans le cas du traitement des fibres par  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Le tableau 10 récapitule les modifications observées dans les figures 37,38 et39



Tableau 10 : Récapitulatif des bandes présentes dans les figures 37,38 et 39.

Milieu	La bande (cm <sup>-1</sup> )	Etat	Signification
NaOH (0,1 N)	1738-1760	Disparition	Modification chimique de l'hemicellulose d'où formation de la liaison ester C =O
	1505	Disparition	Absence de la lignine C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>
	670	Disparition	Déformation de la cellulose
Ca(OH) <sub>2</sub> saturé	1738-1760	Disparition	Modification chimique de l'hemicellulose d'où formation de la liaison ester C =O
	1623	Disparition	la bande responsable à l'absorption de l'eau O-H
	1505	Disparition	Absence de la lignine C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>
	1023	Disparition	Déformation de la lignine C-O et cellulose C-O
L'eau de robinet (H <sub>2</sub> O)	1738-1760	Disparition	Modification chimique de l'hemicellulose d'où formation de la liaison ester C =O
	1505	Diminution	Diminution de la quantité de la lignine C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>
	670	Disparition	Déformation de la cellulose C-O

# Conclusion générale

---

## Conclusion Générale

L'objectif de notre travail est étudié le vieillissement dans différents milieux des déchets de fibres de jute fournis par la Société Algérienne « Tapis d'Or »

Les fibres végétales sont de nos jours très utilisées dans différents domaines tel que le textile, l'agriculture, le bâtiment etc..... ce qui met les fibres en contact direct ou indirect des produits chimiques. Afin d'étudier le comportement des fibres de jute, nous nous sommes intéressés au traitement des fibres par NaOH (0,1N), Ca(OH)<sub>2</sub> saturée et l'eau de robinet.

Les traitements des déchets de fibres de jute dans les différents milieux (NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) ont permis de donner les résultats suivants :

- La perte de masse augmente en fonction du temps.
- La perte de masse la plus importante a été enregistrée pour les échantillons traités par NaOH.
- La densité a augmenté avec l'augmentation du temps du traitement pour atteindre une valeur maximale de 1,63 pour les échantillons vieillis dans NaOH pendant 40 jours puis a diminué.
- Les fibres de jute traitées par la solution de chaux saturée présente une diminution significative au bout des 10 premiers jours suivis d'une augmentation. La plus grande valeur de la densité (0.39) a été obtenue pour les échantillons vieillis pendant 60 jours.
- Le traitement par l'eau de robinet a montré une augmentation de la densité qui est due à l'absorption d'eau suivie d'une diminution après 30 jours pour atteindre la valeur initiale de la fibre brute qui est de l'ordre de 0,45.
- Le taux d'absorption d'eau des fibres traitées par la solution de NaOH en fonction du temps a montré une augmentation du caractère hydrophobe.
- L'absorption d'eau pour les fibres traitées par la solution de Ca(OH)<sub>2</sub> a montré un effet bénéfique.
- Une augmentation de l'absorption d'eau des fibres traitées dans l'eau a été observée.
- La contrainte à la rupture des fibres traitées dans les différents milieux (NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) a diminué en fonction du temps en comparant à la fibre brute.
- Les fibres de jute traitées par la solution Ca(OH)<sub>2</sub> ont présenté une perte de contrainte importante de l'ordre de 87% . C'est un milieu agressif pour les fibres de jute.

---

Les spectres infrarouges des fibres traitées dans les différentes solutions ont présenté des modifications ce qui confirme la perte de masse obtenue et la diminution de la contrainte à la rupture ainsi que la diminution de l'absorption d'eau dans le cas du traitement des fibres par  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Afin de bien cerner le phénomène de vieillissement des fibres végétales et en particulier « le jute » l'extension vers d'autres études en variant la température est souhaitable vu les structures complexes des fibres végétales et le développement de leurs utilisations.

# Références bibliographique

## Références bibliographique

---

- [1]: N.Anil ‘ ‘composite get greener ’’, Material today, Vol 45, pp12, 2001.
- [2] : ‘Conférence internationale du Travail ,72<sup>ème</sup> session’, 1986, Genève.
- [3]: L.yahiaoui ’ ’ Caractérisation d’un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss), Magister’, Université Ferhat Abbas , Setif, Algerie 2011
- [4]: M.Nardin, ’ ’interface fibre-matrice dans les matériaux composites application aux fibres végétales’’, revue des composites et des matériaux avancés, Vol 16, pp 49-61, 2006.
- [5]: M.Ragoubi "Contribution à l’amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne", Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré Nancy 1, France, 2010.
- [6]: M.Dalour "The Improvement of Interfacial Bonding, Weathering and Recycling of Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites ", Thèse de doctorat, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 2007.
- [7]: B. Kurek, "Les fibres naturelles: originalités, propriétés, qualités et défauts." in Journée technique "matériaux" renforcés fibres naturelles et matériaux issus de ressources renouvelables, appliqués en plasturgie", Pôle européen de plasturgie, Bellignat, France, 2006.
- [8]: Y.LI , Y.W. MAI et L.YE "Sisal fibre and its composites: a review of recent developments"Composites Science and Technology,vol. 60, issue 11, p. 2037-2055, août 2000.
- [9]: 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, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 2009.
- [10]: F. Michaud "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage". Thèse Phd, université Laval, Canada ,2003.

## Références bibliographique

---

- [11] : K. Charles, C. Morvan, J. Bréard, JP. Jernot, M. Gomina, "Etude morphologique d'un composite naturel la fibre de lin", *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, Vol16, pp11-24,2006.
- [12] : G.Satyanarayana, G.C.Arizaga, F.Wypych, "Biodegradable composite based on lignocellulosique Fibers- An overview " *Progress in Polymer Science*, 34, pp 982-1021, 2009.
- [13] : C Couhert "Pyrolyse flash à haute température de la biomasse lignocellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse".Thèse de Doctorat , Ecole des Mines de Paris,2007.
- [14]: A.K. Bledzki, J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres", *Progress in Polymer Science*. 24 , pp 221–274, 1999.
- [15]: W.NULTSCH "Botanique générale. De Boeck Université Paris-Bruxelles 1998.
- [16]: J.VALLADE "Structure et développement de la plante. Morphogenèse et biologie de la reproduction des angiospermes, Dunod, Paris 1999.
- [17] : C. Baley"Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites" *Techniques De L'Ingénieur*, AM (2220) :10/04/2005.
- [18] : F.Laurans, A.Déjardin, J.Pilate"Physiologie de la formation des parois de fibres de bois", *Composites et Matériaux Avancés*, Vol.16, pp.27-39,2006.
- [19]: S.Ramarad "Preparation and properties of kenaf bast fiber filled (plasticized) poly (lactic acid) composites" Master, 2008.
- [20]: M.J John, R.D. Anandjiwala, "Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites"*Polymer composites*, 187-207.(2008)
- [21] : G.Siqueira, J.Bras, A.Dufresne," Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications". *Polymer*,2, 728-765.2010.

## Références bibliographique

---

- [22] : M.J John, S.Thomas; "Rubber Nanocomposites: Preparation, Properties and Applications" Chapitre 8, Sabu Thomas and Ranimol Stephen (Ed), John Wiley & Sons Pte Ltd, 2010.
- [23] : C. Satge "Etude de nouvelles stratégies de valorisation de mono et polysaccharides".Thèse de doctorat Université de limoges, 2002.
- [24] : M. Nicolas Le Moigne " Mécanismes de gonflement et de dissolution des fibres de cellulose". Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008.
- [25] : J.P.Joseleau, "Les hémicelluloses", Les polymères végétaux, les polymères pariétaux et alimentaires non azotés. Edition Monties, Bordas, Paris, 87-121,1980.
- [26] : E.A.Gutiérrez; "Influence de facteurs abiotiques sur la régulation des paramètres microbiens impliqués dans la dégradation de la matière organique d'une litière forestière méditerranéenne, ".Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, L'universite Paul Cezanne, 2007.
- [27] : D.Sedan" Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les proprietes mecaniques du composite". Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges, 2007.
- [28] : P, Boustingorry,"Élaboration d'un matériau composite à matrice gypse renforcé par bois fragmenté -amélioration de la résistance au visage de produits préfabriqué en gypse," thèse de doctorat de l'école Nationale Supérieure des Mine de Saint Etienne, Génie des procédés, 2002
- [29] : L. Y. Mwaikambo, "Review of the history, properties and application of plant fibres," African Journal of Science and Technology (AJST), vol. 7, pp. 120 - 133, 06.
- [30] : M. R. Moha Taourirte, Nathalie Issartel, Henry Sautereau, and N. S. Jean-François Gérard "Short palm tree fibers – Thermoset matrices composites," Composites: Part A, vol. 37, pp. 1413-1422, 2006.



## Références bibliographique

---

- [31] : A. Chehma and H. Longo, "Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail," *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, pp. 59-64, 2001.
- [32] M. Flandrin-Bletty " Technologie et chimie des textiles". Cépadues Editions, Toulouse, 1995.
- [33] : J.-M. Park, S. T. Quang, B.-S. Hwang, and K. L. DeVries " Interfacial evaluation of modified Jute and Hemp fibers/polypropylene (PP)-maleic anhydride polypropylene copolymers (PP-MAPP) composites using micromechanical technique and nondestructive acoustic emission". *Composites Science and Technology*, 66(15) :2686-2699, Dec. 2006.
- [34] : C. Baley " Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites". *Techniques De L'Ingénieur*, AM (5130) :1/12/2004.
- [35] : P. Joseph, K. Joseph, and S. Thomas. "Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal-fiber-reinforced polypropylene composites". *Composites Science and Technology*, 59(11) :1625-1640, Aug. 1999.
- [36] : S. Alix, L. Lebrun, C. Morvan, and S. Marais " Study of water behaviour of chemically treated flax fibres-based composites : A way to approach the hydric interface". *Composites Science and Technology*, 71(6) :893-899, Apr. 2011.
- [37] : M. S. Huda, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and M. Misra. "Effect of fiber surface-treatments on the properties of laminated biocomposites from poly(lactic acid) (PLA) and kenaf fibers". *Composites Science and Technology*, 68(2) :424-432, Feb.2008.
- [38] : H. Ku, H. Wang, N. Pattarachaiyakoo, and M. Trada. " A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites". *Composites Part B : Engineering*, 42(4) :856-873, June 2011.
- [39] : A.Regazzi "Contribution à l'étude du vieillissement couplethermo-hydomécanique de biocomposites PLA/lin" thèse pour obtention grade docteur, l'Ecole nationale supérieure des mines de Paris, 2003.

## Références bibliographique

---

- [40] : A.NICOLLIN "développement de matériaux composite écologique à base de résine de tannins et de renfort de fibres végétales".thèse Pour l'obtention du titre de : Docteur de l'université de Lorraine, 2014.
- [41]: C. Baley , "Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase". *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 33(7) :939- 948, July 2002.
- [42]: J. Mussig. "*Industrial Applications of Natural Fibres*". John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, Apr. 2010.
- [43] : H. Spatz, L. Kohler, and K. J. Niklas"Mechanical behaviour of plant tissues: composite materials or structures" .*The Journal of experimental biology*, 202(Pt 23) :3269-72, Dec. 1999.
- [44]: H. Takagi, R. Osugi, Z. Yang K. Liu, "Effect of lumen size on the effective transverse thermal conductivity of onidirectional natural fiber composites," *Composite Sci. and Tech.*, vol. 72, pp. 633-639, 2012.
- [45]: [Online] . [http://www.constructionchanvre.asso.fr/performances\\_fr\\_20\\_31.html](http://www.constructionchanvre.asso.fr/performances_fr_20_31.html)
- [46] : F. Destaing " Contribution à l'étude du comportement mécanique de matériaux composites biosourcés lin/PA11 élaborés".Thèse de doctorat, Université de Caen (2012).
- [47] : Joshi S.V., Drzal L.T., Mohanty A.K., Arora S., "Are natural fibers composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites". *Composites Part A*, 2004, 5; 371-376.
- [48] : FAO, "Consultation sur les fibres naturelles". Rome, 15-16 décembre 2004.
- [49] : Ademe. "Etude de marché des nouvelles utilisations des fibres végétales". 2005.
- [50]: [On line]: <http://www.ethicshopfactory.com/fr/bio-ethique/jute-a/histoire-du-jute.htm>
- [51]: [On line]: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute.fr>

## Références bibliographique

---

[52]: [On line]: <http://www.deyute.com/fr/le-jute.fr>

[53] : A.Iguedad ‘ Cours de matières textiles ‘ .ISGP. Page 56-64, 2015.

[54]: ABM Abdullah, L.B. Lutfar and N. Matin , 'An introduction to jute /allied fibers proprieties and processing' International Jute Organization. Dhaka. Bangladesh 1992.

[55] : Intégration agriculture-aquaculture. Principes de base et exemples par FAO 2003. ISBN : 92-5-204599-6.

[56]: B. Fayolle and J. Verdu. " Vieillissement physiques des matériaux composites". Techniques de l'Ingénieur, AM 3150:1\_19, 2005.

[57] : B. Mortaigne. " Vieillissement des composites - mécanismes et méthodologie d'étude ". Techniques de l'Ingénieur, AM 5320:1\_21, 2005.

[58] : F. Gouanvé, S. Marais, M. Métayer, " composites polyester insaturé renforcés par des fibres de lin", composites et matériaux avancées, Vol.16, pp.117.128 ,2006.

[59] : G.H.D. Tonoli, U.P. Rodriguez Filho b, H. Savastano Jr. c, J. Bras d, M.N. Belgacem d, F.A. Rocco Lahr " Cellulosemodified fibres in cementbasedcomposites", Composites: Part A 40 2046–2053.2009.

[60] : L.Y. Mwaikambo, M.P. Ansell, "The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok fibres for composite reinforcement". Die Angewandte Makromolekulare Chemie 272, 108-116,1999.

[61] : Dipa Ray, B K Sarkar, A K Rana, N R Bose, "Effect of alkali treated jute fibres on composite properties". Bull. Mater. Sci., Vol. 24, No. 2, 129-135, 2001.

[62] : R.Karnani,M.Krishnan, R.Narayan; "Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites". Polymer engineering and science, Vol. 37, No. 2, 476-483, 1997.

## Références bibliographique

---

[63] : M. S. Sreekala, M. G. Kumaran, Sabu Thomas, "Oil Palm Fibers: Morphology, Chemical Composition, Surface Modification, and Mechanical Properties". *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 66, 821-835, 1997.

[64] : A. Bismarck, I. Aranberri-Askargorta, J. Springer, T. Lampke, B. Wielage, A. Stamboulis, I. Shenderovich, and H.-H.Limbach. " Surface characterization of ax, hemp and cellulose fibers". Surface properties and the water uptake behavior. *PolymerComposites*, 23(5): 872,894,.Oct. 2002.

[65] : J. George. "Effects of environment on the properties of low-density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre". *Composites Science and Technology*,58(9): 1471;1485, Sept, . 1997

[66] : M.Das, D.Chakraborty."Evaluation of Improvement of Physical and Mechanical Properties of Bamboo Fibers Due to Alkali Treatment". *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 107, 522–527, 2008.

[67]: G. Ramakrishna , T. Sundararajan ‘Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar’. *Cement & Concrete Composites* 27 pp 575–582,2005.

[68] : S.Degallaix, B.Ilschner, M.Boussuge et al "Caractérisation expérimentale des matériaux" , Presses polytechniques et universitaires romandes Lausanne.France ,p108,2007.

[69] : J.Vandegans , AM. Kersabiec ; Spectrométrie d’absorption atomique; Techniques de l’ingénieur; pp.1-20 ; 1999.

# ANNEXES

## ANNEXES

**Annexe 1 : Perte de masse des fibres de jute vieillie dans la soude (NaOH 0.1N) en fonction du temps.**

Echantillon	10 jours	20 jours	30 jours	40 jours	50 jours	60 jours
Echantillon 1	4,33	4,38	8,03	10,62	11,50	11,65
Echantillon 2	3,91	4,80	6,59	11,28	11,90	11,72
Echantillon 3	4,08	4,25	6,89	10,27	11,27	11,87
Moyenne(%)	4,10	4,47	7,17	10,73	11,55	11,75
Ecart type	0,21	0,28	0,76	0,51	0,32	0,11

**Annexe 2 : Perte de masse des fibres de jute vieillie dans la chaux Ca(OH)<sub>2</sub> saturé en fonction du temps.**

Echantillon	10 jours	20 jours	30 jours	40 jours	50 jours	60 jours
Echantillon 1	2,78	3,67	4,68	6,46	11,01	7,88
Echantillon 2	3,18	4,38	4,72	7,92	7,19	10,06
Echantillon 3	3,58	3,77	5,31	7,35	9,54	9,67
Moyenne(%)	3,18	3,94	4,90	7,24	9,21	9,25
Ecart type	0,4	0,38	0,35	0,73	1,16	1,93

**Annexe 3 : Perte de masse des fibres de jute vieillie dans l'eau en fonction du temps.**

Echantillon	10 jours	20 jours	30 jours	40 jours	50 jours	60 jours
Echantillon 1	0,79	1,91	1,61	1,32	1,42	1,51
Echantillon 2	0,78	0,86	1,04	1,69	1,74	1,72
Echantillon 3	1,16	0,65	1,19	1,44	1,46	1,49
Moyenne(%)	0,91	1,14	1,28	1,48	1,54	1,57
Ecart type	0,21	0,67	0,29	0,18	0,17	0,13

**Annexe 4 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibre brute**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,73	1,89	1,91	1,91	1,94	1,94	1,94
Echantillon 2	0	1,71	1,64	1,69	1,79	1,86	1,86	1,86
Echantillon 3	0	1,81	1,83	1,99	2,01	2,03	2,03	2,03
Moyenne(%)	0	1,75	1,78	1,86	1,91	1,94	1,94	1,94
Ecart type	0	0,05	0,13	0,16	0,11	0,09	0,09	0,09

## ANNEXES

**Annexe 5: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la soude pendant 10 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,23	0,77	1,07	1,33	1,54	1,54	1,54
Echantillon 2	0	2,62	2,83	2,85	2,85	3,04	3,04	3,04
Echantillon 3	0	2,55	2,89	2,87	3,03	3,13	3,13	3,13
Moyenne(%)	0	2,13	2,16	2,26	2,40	2,57	2,57	2,57
Ecart type	0	0,78	1,20	1,03	0,93	0,90	0,89	0,89

**Annexe 6: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la soude pendant 20 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	2,37	2,96	2,98	2,21	2,63	2,63	2,63
Echantillon 2	0	2,39	2,50	1,87	2,85	2,25	2,25	2,25
Echantillon 3	0	2,34	2,04	2,73	2,64	3,14	3,14	3,14
Moyenne(%)	0	2,37	2,50	2,53	2,56	2,67	2,67	2,67
Ecart type	0	0,02	0,46	0,58	0,33	0,45	0,45	0,45

**Annexe 7 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la soude pendant 30 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,87	2,28	2,50	2,52	2,55	2,55	2,55
Echantillon 2	0	2,25	2,38	2,42	2,53	2,56	2,56	2,56
Echantillon 3	0	2,26	2,28	2,37	2,51	2,63	2,63	2,63
Moyenne(%)	0	2,13	2,31	2,43	2,52	2,58	2,58	2,58
Ecart type	0	0,22	0,06	0,07	0,01	0,04	0,04	0,04

**Annexe 8: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans la soude pendant 40 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,75	2,18	2,24	2,26	2,38	2,38	2,38
Echantillon 2	0	1,90	2,34	2,44	2,66	2,71	2,71	2,71
Echantillon 3	0	1,93	2,33	2,49	2,73	2,80	2,80	2,80
Moyenne(%)	0	1,86	2,28	2,39	2,55	2,63	2,63	2,63
Ecart type	0	0,10	0,09	0,13	0,25	0,22	0,22	0,22

## ANNEXES

**Annexe 9 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la soude pendant 50 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	2,26	2,29	2,32	2,39	2,47	2,47	2,47
Echantillon 2	0	2,30	2,32	2,58	2,70	2,72	2,72	2,72
Echantillon 3	0	2,09	2,44	2,49	3,06	3,14	3,14	3,14
Moyenne(%)	0	2,22	2,35	2,46	2,72	2,78	2,78	2,78
Ecart type	0	0,11	0,08	0,13	0,33	0,34	0,34	0,34

**Annexe 10: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la soude pendant 60 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,99	2,11	2,01	1,98	2,17	2,17	2,17
Echantillon 2	0	1,78	1,49	2,09	2,02	2,52	2,52	2,52
Echantillon 3	0	1,77	2,01	2,01	2,15	2,41	2,41	2,41
Moyenne(%)	0	1,85	1,87	2,04	2,05	2,37	2,37	2,37
Ecart type	0	0,13	0,33	0,05	0,09	0,18	0,18	0,18

**Annexe 11 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la chaux pendant 10 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,65	1,34	1,42	1,58	2,23	2,23	2,23
Echantillon 2	0	0,62	1,34	1,43	1,59	1,97	1,97	1,97
Echantillon 3	0	0,63	1,13	1,31	1,71	1,80	1,80	1,80
Moyenne(%)	0	0,97	1,27	1,39	1,63	2,00	2,00	2,00
Ecart type	0	0,59	0,12	0,07	0,07	0,22	0,22	0,22

**Annexe 12 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la chaux pendant 20 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	0,49	1,06	1,51	1,97	2,03	2,03	2,03
Echantillon 2	0	0,43	0,82	1,62	1,70	1,79	1,79	1,79
Echantillon 3	0	0,46	0,93	1,37	1,59	1,68	1,68	1,68
Moyenne(%)	0	0,46	0,93	1,50	1,75	1,83	1,83	1,83
Ecart type	0	0,03	0,12	0,13	0,19	0,18	0,18	0,18



## ANNEXES

**Annexe 13 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la chaux pendant 30 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	0,53	1,09	1,21	1,26	1,32	1,32	1,32
Echantillon 2	0	0,52	1,07	1,15	1,23	1,23	1,23	1,23
Echantillon 3	0	0,55	1,09	1,15	1,19	1,18	1,18	1,18
Moyenne(%)	0	0,53	1,08	1,17	1,23	1,24	1,24	1,24
Ecart type	0	0,01	0,01	0,04	0,04	0,07	0,07	0,07

**Annexe 14 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la chaux pendant 40 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	0,52	0,92	1,28	1,29	1,43	1,43	1,43
Echantillon 2	0	0,56	0,95	1,15	1,38	1,47	1,47	1,47
Echantillon 3	0	0,48	0,98	0,99	1,24	1,39	1,39	1,39
Moyenne(%)	0	0,52	0,95	1,14	1,30	1,43	1,43	1,43
Ecart type	0	0,04	0,03	0,14	0,07	0,04	0,04	0,04

**Annexe 15 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la chaux pendant 50 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	0,86	1,30	1,50	1,82	1,97	1,97	1,97
Echantillon 2	0	0,58	1,07	1,32	1,74	1,90	1,90	1,90
Echantillon 3	0	0,69	1,39	1,55	1,70	1,71	1,71	1,71
Moyenne(%)	0	0,71	1,25	1,46	1,76	1,86	1,86	1,86
Ecart type	0	0,14	0,17	0,12	0,06	0,14	0,14	0,14

**Annexe 16 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans la chaux pendant 60 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	0,45	0,64	1,16	1,19	1,20	1,20	1,20
Echantillon 2	0	0,39	0,64	0,89	1,01	1,25	1,25	1,25
Echantillon 3	0	0,55	0,73	0,97	1,18	1,46	1,46	1,46
Moyenne(%)	0	0,47	0,67	1,01	1,12	1,30	1,30	1,30
Ecart type	0	0,08	0,05	0,14	0,10	0,14	0,14	0,14

## ANNEXES

**Annexe 17 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans l'eau pendant 10 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,49	1,84	2,04	2,05	2,66	2,66	2,66
Echantillon 2	0	1,64	1,87	1,96	1,99	2,18	2,18	2,18
Echantillon 3	0	1,86	1,97	1,97	2,20	2,22	2,22	2,22
Moyenne(%)	0	1,66	1,89	1,99	2,08	2,35	2,35	2,35
Ecart type	0	0,19	0,07	0,04	0,11	0,27	0,27	0,27

**Annexe 18 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans l'eau pendant 20 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,24	1,55	1,65	2,03	1,95	1,95	1,95
Echantillon 2	0	1,47	1,47	1,72	1,92	2,01	2,01	2,01
Echantillon 3	0	1,31	1,36	1,68	2,02	2,18	2,18	2,18
Moyenne(%)	0	1,34	1,46	1,68	1,99	2,05	2,05	2,05
Ecart type	0	0,12	0,10	0,03	0,06	0,12	0,12	0,12

**Annexe 19 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans l'eau pendant 30 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,68	1,71	1,88	1,90	2,21	2,21	2,21
Echantillon 2	0	1,83	1,98	2,04	2,16	2,59	2,59	2,59
Echantillon 3	0	1,83	2,00	2,09	2,14	2,49	2,49	2,49
Moyenne(%)	0	1,78	1,90	2,01	2,07	2,43	2,43	2,43
Ecart type	0	0,08	0,16	0,11	0,14	0,19	0,19	0,19

**Annexe 20 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieillie dans l'eau pendant 40 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,55	1,56	1,97	1,97	2,05	2,05	2,05
Echantillon 2	0	1,49	1,80	1,82	1,88	2,26	2,26	2,26
Echantillon 3	0	1,48	1,45	1,82	1,93	1,99	1,99	1,99
Moyenne(%)	0	1,51	1,60	1,87	1,93	2,10	2,10	2,10
Ecart type	0	0,04	0,18	0,08	0,05	0,14	0,14	0,14

## ANNEXES

**Annexe 21 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 50 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	2,07	2,12	2,18	2,23	2,23	2,23	2,23
Echantillon 2	0	1,85	2,11	2,04	2,04	2,15	2,15	2,15
Echantillon 3	0	1,97	2,17	2,20	2,23	2,38	2,38	2,38
Moyenne(%)	0	1,96	2,13	2,14	2,17	2,25	2,25	2,25
Ecart type	0	0,11	0,03	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12

**Annexe 22 : Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres vieilles dans l'eau pendant 60 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,95	2,02	2,04	2,10	2,15	2,15	2,15
Echantillon 2	0	1,92	1,95	2,00	2,16	2,18	2,18	2,18
Echantillon 3	0	1,26	2,05	2,08	2,10	2,27	2,27	2,27
Moyenne(%)	0	1,71	2,01	2,04	2,12	2,20	2,20	2,20
Ecart type	0	0,39	0,05	0,04	0,03	0,06	0,06	0,06

**Annexe 23: Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres vieilles dans la soude.**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
F0	0	1,75	1,78	1,86	1,91	1,94	1,94	1,94
F1N	0	2,13	2,16	2,26	2,4	2,57	2,57	2,57
F2N	0	2,37	2,5	2,53	2,56	2,67	2,67	2,67
F3N	0	2,13	2,31	2,43	2,52	2,58	2,58	2,58
F4N	0	1,86	2,28	2,39	2,55	2,63	2,63	2,63
F5N	0	2,22	2,35	2,46	2,72	2,78	2,78	2,78
F6N	0	1,85	1,87	2,04	2,05	2,37	2,37	2,37

## ANNEXES

---

**Annexe 24: Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres vieillie dans la chaux.**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
F0	0	1,75	1,78	1,86	1,91	1,94	1,94	1,94
F1C	0	0,97	1,27	1,39	1,63	2	2	2
F2C	0	0,46	0,93	1,5	1,75	1,83	1,83	1,83
F3C	0	0,53	1,08	1,17	1,23	1,24	1,24	1,24
F4C	0	0,52	0,95	1,14	1,3	1,43	1,43	1,43
F5C	0	0,71	1,25	1,46	1,76	1,86	1,86	1,86
F6C	0	0,47	0,67	1,01	1,12	1,3	1,3	1,3

**Annexe 25: Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres vieillie dans l'eau.**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
F0	0	1,75	1,78	1,86	1,91	1,94	1,94	1,94
F1E	0	1,66	1,89	1,99	2,08	2,35	2,35	2,35
F2E	0	1,34	1,46	1,68	1,99	2,05	2,05	2,05
F3E	0	1,78	1,9	2,01	2,07	2,43	2,43	2,43
F4E	0	1,51	1,6	1,87	1,93	2,1	2,1	2,1
F5E	0	1,96	2,13	2,14	2,17	2,25	2,25	2,25
F6E	0	1,71	2,01	2,04	2,12	2,2	2,2	2,2

## ANNEXES

---

Annexe 26 : Densité de la fibre brute.

Fibre brute	0.45
-------------	------

Annexe 27 : Densité des fibres vieillie dans la soude, la chaux et l'eau respectivement en fonction du temps.

Temps du vieillissement	10 jours	20 jours	30 jours	40 jours	50 jours	60 jours
<b>Le milieu</b>						
NaOH (0.1N)	1,08	1,42	1,47	1,63	1,43	1,13
Ca(OH) <sub>2</sub> saturé	0,28	0,30	0,35	0,36	0,37	0,39
L'eau (H <sub>2</sub> O)	0,63	0,62	0,58	0,45	0,42	0,41

## ملخص

يركز هذا العمل على دراسة شيخوخة الألياف النباتية "الجوت". لهذا الغرض تم قص الألياف النباتية إلى طول 17 سم و تم غمرها في محاليل مختلفة : هيدروكسيد الصوديوم 0,1 ن , الجير المشبع , ماء الصنبور لمدة 60 يوم . شيخوخة ألياف جوت الراجعة الى المعالجة الكيميائية تم تقييمها ب:  
- فقدان الوزن مع مرور الزمن  
- كثافة  
- امتصاص الماء  
- قوة الشد  
بالإضافة الى التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء تحويل فورييه لعينات الاليف التيتمشيخ في المحاليل المختلفة أظهرت النتائج الفحص أن الخصائص المدروسة تتأثر بالعلاج الكيميائي، مما يؤكد تدهور ألياف الجوت.  
**مصطلحات هامة:** جوت .شيخوخة .صودا .الكلس .ماء الصنبور.

## Résumé :

Ce travail porte sur l'étude du vieillissement de la fibre végétale de jute. A cet effet, les fibres végétales découpées en longueur de 17cm sont immergées dans différentes solutions: la soude à 0,1N, la chaux saturée et l'eau de robinet pendant une durée de 60 jours. Le vieillissement des fibres de jute dû aux traitements chimiques est évalué par l'évolution:

- de la perte de masse en fonction du temps,
- de la densité,
- de l'absorption d'eau,
- de la contrainte à la rupture.

De plus, une analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier des échantillons de fibres vieilles dans différentes solutions a été effectuée

Les résultats obtenus ont montré que les propriétés étudiées sont affectées par les traitements chimiques, ce qui confirme la dégradation des fibres de jute.

**Mots clés :** fibre de jute, vieillissement, soude, chaux, eau de robinet.

## Abstract:

This work focuses on the study of the aging of plant fiber "Jute". For this purpose plant fiber cut into 17cm of length are immersed in different solutions: 0.1 N sodium hydroxide, saturated lime and tap water for a period of 60 days. The aging jute fibers due to chemical treatments are evaluated by evolution:

- The mass loss as a function of time,
- The density,
- Absorption of water,
- Tensile strength.

Also analysis infrared Fourier transform spectroscopy was performed to the fibers aging in different solutions.

The results obtained showed that the examined properties are affected by the chemical treatment, which confirms the degradation of jute fibers.

Keywords : jute fiber, aging, soda, lime, tap water.