

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de  
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Mohamed Boudiaf – M'sila**

**FACULTE DES SCIENCES**

**DEPARTEMENT DE CHIMIE**

N°:.....



**DOMAINE : SCIENCE DE LA MATIERE**

**FILIERE : CHIMIE**

**OPTION : CHIMIE DEL'ENVIRONNEMENT**

**Mémoire présenté pour l'obtention**

**Du diplôme de Master**

**Par :**

***Benchabane Salima***

***Intitulé :***

***Élaboration et caractérisation d'un nouveau  
matériau composite à base de fibre végétale  
(Cynodon Dactylon)***

**Soutenu devant le jury composé de:**

Pr. Lateli Nadjia

Université de M'sila

Président

Mr. Benyahia Azzedine

Université de M'sila

Rapporteur

Mr. Deghfel Nadir

Université de M'sila

Examineur

***Année universitaire : 2019/2020***

# REMERCIEMENTS

Tout d'abord je tiens à remercier **ALLAH** le tout puissant de m' avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pourvoir réaliser ce travail de recherche.

En guise de reconnaissance, je tiens à remercier, très sincèrement, le Monsieur **Ben yahia Azzedine**, responsable de la formation Master , j'ai eu l'honneur et la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences, de ses précieux conseils et de son suivi tout au long de notre parcours académique. son sens élevé du devoir, le fait d'être toujours montré à l'écoute ainsi que sa rigueur scientifique impose l'estime et le respect . je vous remercie infiniment

Je tiens à remercier les membres du jury pour leur présence, pour leur lecture attentive de ce mémoire, ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer mon travail. Ainsi mes enseignants, espérant que vous allez voir, dans ce manuscrit, les fruits du dévouement avec lequel vous avez fait preuve durant les enseignements que vous nous avez prodigué.

Pour ne pas oublier, je voudrais remercier le frère **Sofiane wulid sahli**, qui a grandement contribué à notre travail dans Maghreb Pipe Compagnie, et un merci spécial au directeur de la société, **Baali**, qui a embrassé les étudiants et l'a soutenu pour la connaissance et tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à l'élaboration de ce message ainsi qu'à la réussite de ce voyage universitaire.

# Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A MON TRÈS CHER PÈRE

**Cherif**

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur .

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE

**Noura**

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi . Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études . Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite .

A MES SŒURS

A MES FRÈRES

A TOUS MES AMIS

A Toute la promotion 2021

# Summary

The benefit of this note is the exploitation of the natural fibers found in the Mesila region due to the fiber's high physico-chemical properties such as lightness, hardness, biodegradation, environmentally friendly, low cost, which makes it competitive with the fibers used in the preparation of composite materials.

The aim of this research is to prepare composite materials with a matrix of unsaturated polyester and reinforced with star plant fibers treated with soda solution (1,3,6,9%), the processing time is 2 and 4 hours, using diagnostic tests. FTIR ; DRX; Three point flexion test

Through the tests on star fibers, the results of the treatment showed a positive effect on the morphological structure of the fibers (roots).

Through the tests on star fibers, the results of the treatment showed a positive effect on the morphological structure of the fibers (roots).

The results of the three-point bending showed an improvement in the bending stress of the composite reinforced with star fibers treated with C62, reaching 46,468 Mpa, with an increase of 17.70% compared to the composite reinforced with untreated fibers.

## ملخص

الفائدة من هذه المذكرة هو استغلال الألياف الطبيعية المتواجدة في منطقة المسيلة نظرا لما تتمتع بها للألياف من خصائص فيزيو كيميائية عالية مثل الخفة، الصلابة، التحلل الحيوي، صديقة للبيئة، قلة التكلفة مما يجعلها منافسة للألياف المستعملة في تحضير المواد المركبة.

الهدف من هذا البحث هو تحضير مواد مركبة ذات مصفوفة من البولي استر غير المشبع والمدعمة بألياف نبات النجم المعالجة بمحلول الصودا (1,3,6,9) زمن المعالجة هو 2 و4 ساعات و باستعمال الاختبارات التشخيصية FTIR ; DRX ; اختبار الثني ذو ثلاث نقاط.

من خلال الاختبارات على ألياف نجم أظهرت نتائجها انا للمعالجة تأثير ايجابي على البنية المرفو لوجية للألياف (جذور) نتائج الثني ذو ثلاث نقاط أظهرت تحسنا في إجهاد الثني للمركب المعزز بألياف النجم المعالج بالصودا لمدة ساعتين وبتركيز 6 من الصودا حيث بلغت 46,468 وذلك بزيادة قدرها 17,70 بالمئة مقارنة بالمركب المدعم بألياف غير معالجة.

## Liste des figures

**Figure. 1** :La classification des différentes fibres naturelles. [6].

**Figure . 2 :** Structure simplifiée d'un matériau Composite

**Figure .3:**Types de matrice[15].

**Figure . 4 :**Types de renforts

**Figure. 5:**La constitution d'un polymère [26]

**Figure. 6 :**Les différentes parties d'un avion subissent des contraintes diverses

**Figure. 7:**Les matériaux composites dans automobile

**Figure. 8 :**Les composants du panneau de ski.

**Figure. 9 :**Mur-rideau en panneaux en béton composite [68]

**Figure. 10 :** les différentes formes de fibre. [3]

**Figure.11 :**Représentation schématique d'une fibre de bois [14]

**Figure. 12 :**Structure chimique de la cellulose [14]

**Figure. 13 :**Structure d'un type de xyloglucane [17].

**Figure .14 :**Représentation schématique de la structure des monolignols et unités phenylpropanes associées **(a)** et la structure de la lignine **(b)** [13].

**Figure .15 :**Structure moléculaire d'une chaîne d'acide galacturonique (22)

**Figure. 16:**Unité sanhydroglucose [26].

**Figure. 17 :**Exemple de représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres de chanvre à l'échelle micrométrique [36]

**Figure. 18:**Tapis de Cynodon dactylon

**Figure. 19 :**Cynodon dactylon (POACEAE).a. Appareil végétatif ;b. Base d'un limbe et ligule ; c. Epillet.

**Figure. 20:**Cynodon dactylon L

**Figure. 21:**Profil schématique de la jachère à Cynodon dactylon (1.Cynodon dactylon 2. Erigeronnanudinii 3. Paspalumconjugatum 4. Altenatherasessilis 5. Bidenspilosa).

**Figure .22:**cynodon dactylone utilisée provient de Wilaya Msila

**Figure .23 :**Résine polyester insaturée

**Figure .24 .** Appareil pour la mesure de la viscosité.

**Figure .25** Les étapes du processus de Test de réactivité

**Figure. 26:** temps de gélification la résine

**Figure .27:** Cycle de polymérisation de résine polyester ( isophtalique )

**Figure .28 :** Une photo des fibres cynodon dactylone avec la loupe est en haut de la photo

**Figure .29:**Plan de travail expérimenta

**Figure .30:** Principe de traitement d'une fibre cellulosique avec de la soude

**Figure .31:**Tremper les fibres de Cynodon Dactylone dans une solution d'hydroxyde de sodium

**Figure.32 :** Fibre avant et après broyage

- Figure .34** :Préparation de la résine (A- la résine , B- catalyseur A50)
- Figure .35** :Préparation des matériaux composites
- Figure .36** :Test de flexion avec des l'éprouvette
- Figure.37**: Appareil pour analyse IRTF
- Figure. 38** : Diffraction des rayons X
- Figure.39**: Essai de flexion sur machine de flexion de type Zwick Force appliquée (F)
- Figure.40**:Principe de l'essai de flexion 3 points
- Figure .41**:FTIR des fibres cynodon dactylon de 4h
- Figure .42** :FTIR des fibres cynodondactylon de 2h
- Figure.43** :Spectre de rayons X des fibres non traitées
- Figure.44** :Spectre de rayons X des fibres C64
- Figure .45** :Spectre de rayons X des fibres C94
- Figure . 46** : Courbe d'essai de flexion composite C00
- Figure . 47** : Courbe d'essai de flexion composite C12
- Figure . 48** :Courbe d'essai de flexion composite C14
- Figure . 49** :Courbe d'essai de flexion composite C32
- Figure . 50** : Courbe d'essai de flexion composite C34
- Figure . 51** : Courbe d'essai de flexion composite C62
- Figure . 52** : Courbe d'essai de flexion composite C64
- Figure . 53** : Courbe d'essai de flexion composite C92
- Figure . 54** :Courbe d'essai de flexion composite C94
- Figure . 55** :Histogrammes de l'évolution des contraintes de flexion
- Figure . 56** :Histogrammes de l'évolution des modules de Young de flexion

# Liste des tableaux

**Tableau. 1:**Caractéristiques des résines thermodurcissables[15].

**Tableau. 2:**résines durcies les propriétés

**Tableau.3 :**Les caractéristiques de ces résines condensation

**Tableau. 4:** Caractéristiques mécaniques des résines époxydes.

**Tableau. 5:** caractéristiques Le polyéthylène et Le polyamide

**Tableau. 6:**Principales caractéristiques mécaniques des résines [68].

**Tableau .7:**Composition chimique de quelques fibres végétales [12]

**Tableau.8 :** Caractéristiques des fibres naturelles (37)

**Tableau .9:** Mesures de biomasse (période de pluie et période sèche)

**Tableau.10:**répartition des taxa des espèces recensées dans la zone de relevé

**Tableau .11 :** caractéristique de résine isophtalique.

**Tableau .12:** Propriétés mécaniques de la résine isophtalique.

**Tableau .13:**Vibration des groupes fonctionnels caractéristiques des fibres brutes étudiées.

**Tableau.14:**Module de cristallisation des fibres brutes et traitées

# SOMARE

Chapitre 1 :Etudes Bibliographique

## 1. Matériaux composites

1.1. La matrice.....	5
1.1.1. Les composites à matrice métallique .....	5
1.1.2. Les composites à matrice céramique .....	5
1.1.3. Les composites à matrice organique .....	6
1.2. Le renfort.....	11
1.2.1. Les composites fibreux .....	11
1.2.2. Les fibres végétales .....	12
2. La différence entre la matrice et Le renfort .....	13
3. Définition Les polymères .....	14
3.1. Monomères : .....	14
3.2. Polymère : .....	14
4.Procédés d'obtention des polymères :.....	14
4. 1. Les polymères naturels :.....	14
4.2 . Les polymères artificiels :.....	15
4. 3. Les polymères synthétiques :.....	15
5. Les composites fibres végétales – polymères .....	15
6. Exemples d'applications .....	18
6.1. Aéronautique .....	18
6.2. Automobile .....	19
6.3. Sports& loisirs .....	19
6.4. Construction .....	20
Références bibliographiques .....	

## Chapitre II :Généralité Sur Les Fibres Végétale

1 . Introduction .....	22
2 . Définition.....	22
3 . Classification Des Fibres Végétales .....	23
A. Les Fibres de Feuilles .....	23
B. Les Fibres de Tiges .....	23
C. Les Fibres de Bois.....	23
D. Les Fibres de Surface .....	23
4. Constituants Des Fibres Végétales.....	24
4 .1. Cellulose.....	25
4 .2. Hémicellulose.....	26

4.3. Lignines.....	26
4.4. Pectines .....	27
5. Réactivité et Accessibilité de la cellulose .....	28
5.1. Réactivité de la cellulose.....	28
5.2. Accessibilité de la cellulose .....	30
6. Utilisations des composites à base des fibres végétales .....	31
a) En automobile .....	31
b) En construction.....	32
c) Autres applications.....	32
7. Propriétés Usuelles des fibres .....	32
8. Fibres végétales de Cynodon dactylon L. Pers. ....	34
8.1. Classification systématique .....	34
8.2. Caractères morphologiques .....	34
8.3. Profil culturel .....	36
8.4. Caractéristiques physiques et pédologiques .....	36
8.5. Caractéristiques floristiques .....	37
8.6. Profil structural de la jachère à Cynodon dactylon.....	38
8.7. Conclusion partielle.....	38
Références bibliographiques .....	

### Chapitre III :Techniques expérimentales

Siege de stage .....	40
Maghreb PIPE Industrie.....	40
Ce quoi le PRV ? .....	40
Compositions : .....	40
L Avantages du PRV.....	40
Résine Polyester Isophtalique .....	41
1. Matériaux utilisés :.....	42
1-1 Fibres cynodon dactylone .....	42
1-2 Résine: .....	42
a. Test de propriété rhéologique de la résine : .....	43
b. Test de réactivité (temps de gélification):.....	43
c. Propriétés de résine isophtalique: .....	44
1-3 L'hydroxyde de sodium : .....	44
1-4 L'acide acétique :.....	45
1-5 La phénolphtaléine :.....	45

<b>2. Traitement de Cynodon Dactylone</b> .....	45
<b>3 . Traitement alcalin par NaOH</b> .....	47
<b>4 . Elaboration des composites:</b> .....	48
<b>1. Préparation des composés:</b> .....	48
<b>2. Préparation de la résine:</b> .....	48
<b>3. Préparation des matériaux composites:</b> .....	49
<b>4 . Essai de flexion:</b> .....	49
<b>5 . L'appareillage:</b> .....	50
<b>1. L'essai spectrométrique (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier IRTF)</b> .....	50
<b>2. Unité de diffraction des rayons X:</b> .....	51
<b>3. Test flexion:</b> .....	52

## Chapitre IV: Résultats et discussions

<b>1. Analyse spectroscopique par infrarouge:</b> .....	55
<b>2 . Test de la machine à rayons X :DRX</b> .....	58
<b>3. Courbes de flexion</b> .....	60
<b>Conclusion Générale</b> .....	63

# **Introduction**

# Introduction

Depuis leur avènement dans les années trente et jusqu'à nos jours, les matériaux composites ont fortement participé au développement de nos technologies. Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés, notamment dans les domaines industriels (automobile, transports, bâtiment et les travaux publics, ferroviaires, maritimes, aériens et spatiaux.....) [1]. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes, et l'insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils contribuent au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique et pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique. S'adaptant parfaitement à toute sorte d'environnement, même les plus hostiles.

L'utilisation de fibres végétales comme renfort de matériaux composites présente plusieurs avantages. Premièrement, révolutionne peu à peu le paysage industriel, notamment dans l'automobile où le facteur environnement est une valeur forte, outre le critère de légèreté auquel répondent idéalement les fibres végétales, ces dernières participent à l'amélioration de la recyclabilité des véhicules. Ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles d'autre part, D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport aux composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et demandant peu d'énergie pour être produites. Dans les pays moins industrialisés, les fibres végétales sont une alternative économique et surtout écologique aux fibres synthétiques traditionnelles (fibres métalliques, minérales ou polymériques) [2]. De nos jours, beaucoup de fibres végétales sont utilisées : lin, chanvre, jute, sisal, kénaf, bois. Cynodon dactylon.

Les nouvelles idées tendent à développer d'autres types d'usages avec les produits Cynodon dactylon comme renforts polymères. le traitement alcalin est prouvent pratiqué pour extraire la lignine résiduelle, l'hémicellulose, et à élimination les impuretés naturelles et

artificielles, il permet aussi de promouvoir la fibrillation des faisceaux[3], la concentration de l'alcalin, la température et le temps de traitement des fibres sont des paramètres essentielles

du processus de traitement, l'optimisation de ces paramètres contribue à l'amélioration des propriétés mécaniques du matériaux composites[3], en revanche, le traitement alcalin peut avoir un effet néfaste sur les fibres végétales. par conséquent, il y a des risques d'une fois que les conditions de traitement ne sont pas optimisées[3].

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la modification chimique de fibre de la Cynodon dactylon par la soude sur les propriétés physico-mécanique des composites polyester/fibre de la Cynodon dactylon.

Notre travail en quatre chapitres présentés comme suit:

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur les matériaux composites.
- Le deuxième chapitre est généralité sur les fibres végétales.
- Le troisième chapitre est les matériels et les méthodes.

Enfin, le quatrième chapitre a porté sur les résultats obtenus et discutés, et parmi les tests utilisés pour identifier l'étendue de l'effet du traitement chimique sur les composants de ces fibres de fibre de la Cynodon dactylon qui sont utilisées pour renforcer les polymères synthétiques, nous mentionnons le test DRX et FTIR et essai de Flexion

### Références bibliographiques:

[1]M. Marzano, « Les matériaux Composites », Dossier pédagogique, ANFA, 2014,p89.

[2]C. Magniont, « Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 2010, p343.

[3].Andriamparany,Noromalala Jessica inventaire et caractérisation des plantes susceptibles d'être utilisées comme plantes de couverture dans la région sud-est de Madagascar

# Chapitre 1

## Etudes Bibliographique

---

## 1. Matériaux composites

Tout d'abord, un matériau composite est un assemblage d'au moins deux à constitué possède des propriétés que les éléments seuls ne possèdent pas [1]. En combinant deux phases différentes, par exemple un polymère tel que le polypropylène et de la fibre de verre, il est possible de créer un matériau beaucoup plus intéressant du point de vue mécanique que le polypropylène seul, mais à un coût moindre que la fibre de verre seule. Le matériau ajouté, souvent sous forme de fibre, est appelé le renfort, tandis que le matériau présent en plus grande quantité et qui assure la cohésion dans la structure est appelé la matrice. Dans l'exemple précédent, le polypropylène est la matrice et la fibre de verre est le renfort. Les matrices les plus communes sont les polymères thermoplastiques, thermodurcissables ou élastomères (les caoutchoucs) [2-4]. Il existe également des matrices de type céramique ou métallique, mais celles-ci ne sont pas incluses dans ce rapport [1,5]. Les renforts les plus utilisés sont les fibres de verre et de carbone, bien que les fibres naturelles gagnent en popularité [6]. Les matériaux composites sont utilisés dans de nombreux domaines tels que le transport, le bâtiment, l'aérospatiale et dans les sports et les loisirs [1]

Les premiers matériaux composites créés par l'homme furent sans doute à base de bois. Un des tout premiers composites est l'arc traditionnel mongol qui date d'environ 2000 ans av. J.-C. [7]. L'âme de l'arc est en bois et contrecollée de tendon au dos et de corne sur la face interne. Durant le moyen-âge, un matériau composite populaire pour la construction, le torchis, fut utilisé pour ses propriétés isolantes et son faible coût [8]. En 1823, Charles Macintosh créa l'imperméable en imprégnant du caoutchouc sur du tissu [9]. Par la suite, en 1892, Hennebique déposa un brevet sur un matériau très semblable au béton armé d'aujourd'hui [10]. Outre les fibres d'origines artificielles ou synthétiques, c'est-à-dire celles créées par l'homme, il y a plusieurs types de fibres d'origine naturelle [11]. Comme mentionnées plus tôt, les fibres naturelles ont sans aucun doute été les premières à être utilisées par l'homme. Pourquoi peut-il être intéressant d'utiliser des fibres naturelles? Tout d'abord, les impacts environnementaux des fibres naturelles sont beaucoup moindres que les fibres artificielles. Ces fibres sont biodégradables et renouvelables. Par la suite, il peut être important de valoriser une ressource locale dans certains pays. Finalement, les fibres naturelles peuvent permettre d'atteindre des propriétés mécaniques intéressantes, tout en réduisant de façon significative le coût des composites. Il est important de spécifier que le terme « fibre naturelle » regroupe autant les fibres d'origine végétale (cellulose), animale (protéine) ou minérale [6,11]. Les fibres naturelles les plus intéressantes à utiliser sont celles qui possèdent déjà à la base une propriété de renfort ou de support. Un autre point

intéressant à mentionner est que, de par la très grande différence entre les fibres naturelles, les propriétés mécaniques varient énormément d'une fibre à l'autre. Les fibres d'origine animale les plus intéressantes sont sans doute les soies [11]. De par leur structure complexe, les soies possèdent d'excellentes propriétés de résistance à l'allongement que peu de fibres artificielles peuvent se vanter d'approcher. Pour ce qui est des fibres naturelles d'origine végétale, la fibre de chanvre est un exemple de fibre très intéressante [11]. Une limitation majeure dans le domaine des fibres est la température maximale de mise en forme. Bien que les technologies pour mettre en forme les matériaux composites soient souvent les mêmes (extrusion, injection, compression), une température maximale de l'ordre de 200 à 230°C ne doit pas être dépassée, puisqu'à ces températures commence la dégradation des fibres [12]. Finalement, un autre aspect non négligeable des fibres naturelles est leur décomposition. En les jumelant à un polymère biodégradable, il serait possible de créer des matériaux composites « verts » ayant peu d'impact sur l'environnement: 100% recyclable.les fibres naturelles ont plusieurs classifications montrés dans la Figure. 1 :

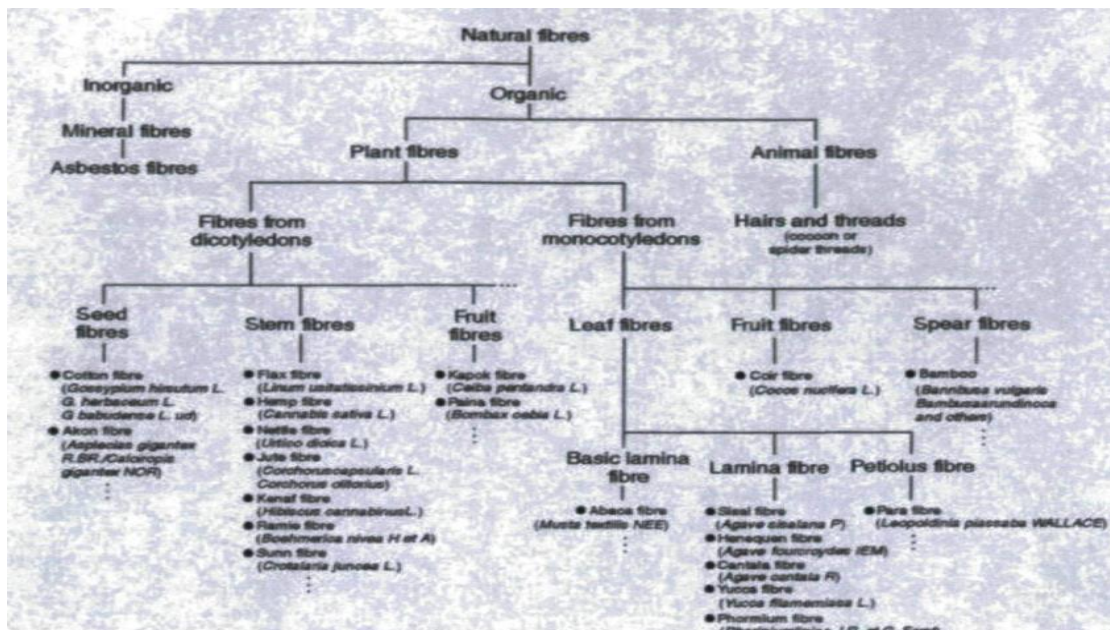


Figure. 1 :La classification des différentes fibres naturelles. [6].

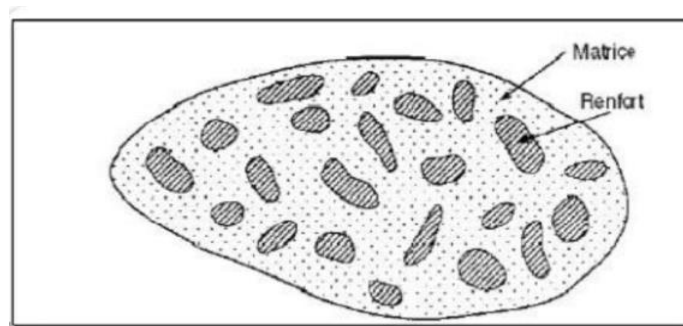


Figure. 2 : Structure simplifiée d'un matériau Composite

### 1.1. La matrice

La matrice est un liant qui maintient en place la dispersion des éléments de renfort, les protège physiquement et chimiquement et assure la liaison mécanique entre eux et, en plus, elle conditionne le choix du procédé de mise en forme. Pour ces raisons, les composites peuvent être classés suivant la nature de leurs matrices en trois groupes:

- Les composites à matrice métallique
- Les composites à matrice céramique
- Les composites à matrice organique

Chacun de ces groupes emploie différents types de renforts et possède des propriétés différentes. Comme le montre la Figure .3:

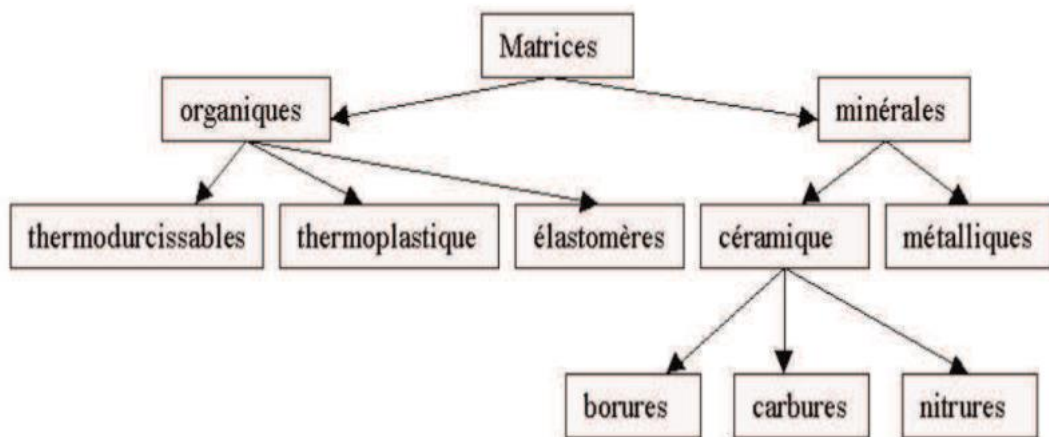


Figure .3: Types de matrice[15].

#### 1.1.1. Les composites à matrice métallique

Les composites à matrice métallique ont été élaborés dans le but d'améliorer les qualités des métaux en ce qui concerne la légèreté et les bonnes caractéristiques mécaniques propres aux structures composites. Plusieurs matériaux composites tels que ; l'Aluminium et ses alliages, Nickel, Titane, présentent une bonne conductibilité électrique et thermique, une bonne tenue à des températures élevées et de plus ils possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques mais le coût de leur fabrication est très élevé. Ils sont réservés à des applications relativement exigeantes, dans divers domaines.

#### 1.1.2. Les composites à matrice céramique

Ils sont employés dans les applications à très haute température comme le spatial, le nucléaire et le militaire, ainsi que le freinage. Ils présentent une très haute résistance à la température et bonne stabilité chimique mais ils sont moins répandus par rapport aux autres composites en raison du coût élevé [13].

---

### 1.1.3. Les composites à matrice organique

Les composites à matrice organique sont les plus répandus et constituent la partie la plus importante aujourd'hui à l'échelle industrielle grâce au coût suffisamment réduit, cette famille regroupe des gammes de prix et de performances très étendues dont on distingue généralement deux types [13]:

- Les composites à grande diffusion, peu coûteux et représentant près de 95% des composites à matrice organique fabriqués, utilisés pour toutes sortes de pièces faiblement sollicitées.
- Les composites à haute performance, plus coûteux mais présentant des qualités mécaniques supérieures, notamment employés dans l'aéronautique, les sports et loisirs ou encore la construction industrielle.

Les composites à matrice organique sont généralement constitués d'une matrice de résine et d'un renfort de fibres. Les types de résines qui sont, actuellement, utilisées présentent des propriétés profondément différentes [13, 14]:

- Les résines thermoplastiques
- Les résines thermodurcissables
- Les résines thermostables.

#### 1.1.3.1. Résines thermodurcissables (TD)

Les résines thermodurcissables ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois.

En effet, après polymérisation par chaleur s'appliquant en présence d'un catalyseur, ces résines mènent à une structure géométrique qui ne peut être détruite que par un apport important d'énergie thermique.

Ainsi les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques et particulièrement des propriétés thermomécaniques qui sont beaucoup plus élevées que les résines thermoplastiques.

Du fait de ces propriétés plus élevées les résines thermodurcissables sont les plus employées actuellement dans la mise en œuvre des matériaux composites.

Les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont par ordre décroissant en tonnage :

- Les résines polyesters insaturés.

(Polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques etc.) .

- Les résines de condensations :  
(Phénoliques, aminoplastes, etc.)

- Les résines époxydes Les exemples de résines thermodurcissables classiquement rencontrées sont 914, 5208, 70, LY556.

Les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible. Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau. 1 :

**Tableau. 1:**[15]. Caractéristiques des résines thermodurcissables

Résines	T(C)	(Kg/m <sup>3</sup> )	R <sub>t</sub> (%)	R <sub>t</sub> (MPa)	R <sub>c</sub> (MPa)	E(GPa)
polyesters	60 à 100	1140	2 à 5	50 à 85	90 à 200	2,8 à 3,6
Phénoliques	120	1200	2,5	40	250	3 à 5
Epoxydes	290	1100 à 1500	2 à 5	60 à 80	250	3 à 5

**1.1.3.1.a. Les résines polyesters :**

C'est la plus largement répandu de toutes les résines dans la mise en œuvre des matériaux composites. Leurs développements le résultat des caractéristiques suivantes:

- Faible cout de production.
- Diversité offrant de multiples possibilités
- Adaptation à des procédés de fabrications, facile à mettre en œuvre.

Selon leur module de Young, Les résines polyesters sont classifiées en :

(Résines souples semi-rigides, et rigides.).

Les résines habituellement utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites, sont du type rigide et nous retiendrons pour ces résines durcies les propriétés suivantes : (tableau. 2) [15].

**Tableau. 2:**résines durcies les propriétés

Masse volumique	1200 Kg/m <sup>3</sup>
Module d'élasticité en traction	2, 8 à 3,5 GPa
Module d'élasticité en flexion	3 à 4,5 GPa
Contrainte a la rupture en traction	50 à 80 MPa
Contrainte a la rupture en flexion	90 à 130 MPa
Allongement a la rupture en traction	2 à 5 •
Allongement a la rupture en flexion	7 à 9 •
Résistance en compression	90 à 200 MPa
Résistance en cisaillement	10 à 20 MPa
Température de fléchissement sous charge (1,8 MPa)	60 à 100°

**1.1.3.1.b. Les résines de condensation :**

Les résines polyesters comportent les résines phénoliques, les aminoplastes. les résines phénoliques sont les plus anciennes des résines thermodurcissables dont la plus connue est la bakélite. Les caractéristiques de ces résines sont les (tableau. 3)[15].

**Tableau.3 :**Les caractéristiques de ces résines condensation

Masse volumique	1200 Kg/m <sup>3</sup>
Module d'élasticité en traction	2, 8 à 3,5 GPa
Module d'élasticité en flexion	3 GPa
Contrainte a la rupture en traction	40 MPa
Contrainte a la rupture en flexion	90 MPa
Allongement a la rupture en traction	2 , 5 •
Résistance en compression	250 MPa
Température de fléchissement sous charge	120°C

**1.1.3.1.c. Les résines époxydes :**

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent que l'ordre de 5 • du marché composite, à cause de leurs prix élevé (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters.) du fait de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les résines époxydes , généralement utilisées sans charges , sont les matrices à hautes performances (constructions aéronautiques espace ,missiles etc ...).Caractéristiques mécaniques des résines époxydes. tableau. .4

**Tableau. 4:** Caractéristiques mécaniques des résines époxydes.

Masse volumique	1100 à 1500 Kg/m <sup>3</sup>
Module d'élasticité en traction	3 à 5 GPa
Contrainte a la rupture en traction	60 à 80 MPa
Contrainte a la rupture en flexion	100 à 150 MPa
Allongement a la rupture en traction	2 à 5 •
Résistance au cisaillement	30 à 50 MPa
Température de fléchissement sous charge	290 °C

Les résines époxydes conduisent donc à un ensemble de performances élevées. toutefois, pour bénéficier réellement de ces performances, il est nécessaire d'avoir des durées

de transformations et surtout de recuissons très longues,(de plusieurs heures à plusieurs dizaines d’heures). A des températures relativement élevées (50 à 100°C).

Parmi les avantages des résines époxydes, nous retiendrons :

- De bonnes propriétés mécaniques supérieures à celles des polyesters. (Traction, flexion, compression, choc, fluage, etc.).
- Une bonne tenue aux températures élevées : (150 à 190°C).en contenu.
- Une excellence résistance chimiques.
- Un faible retrait au moulage (0,5 à 1 •).
- Une très bonne mouillabilité des renforts.
- Une excellence adhérence aux matériaux métalliques.

Parmi les inconvénients, nous citerons :

- Un temps de polymérisation long.
- Un cout élevé.
- La nécessité à la fissuration.[15].

**1.1.3.2.résines thermoplastiques (TP)**

La famille des résines thermoplastiques (on parle de plastique est très vaste et peut être séparée en plastiques de grande diffusion et plastiques techniques (techno polymères).

Les plastiques de grande diffusion sont mis en œuvre soit par injection pour obtenir des objets moulés soit par extrusion pour obtenir des films, des plaques, des tubes, des profilés etc.

Parmi les résines thermoplastiques, nous citerons :

- Le polychlorure de vinyle (PVC).
- Le polyéthylène.
- Le polystyrène.
- Le polyamide.
- Le polycarbonate.etc.

L’intérêt des résines thermoplastiques réside dans leurs faible cout, résultant à la fois de matière première disponible et des procédées de fabrication, (injection, extrusion).

Toutefois, ce faible cout est lié à des propriétés mécaniques et thermomécaniques faibles.

Nous donnerons ci après quelques caractéristiques pour : tableau. 5(Le polyéthylène et Le polyamide.)[15].

**Tableau. 5:** caractéristiques Le polyéthylène et Le polyamide

	Le polyéthylène	Le polyamide
Masse volumique ( Kg/m3)	<b>900</b>	<b>1140</b>

Contrainte à la rupture (MPa)	20 - 35	60 - 80
Module d'élasticité (GPa)	1.1 - 1.4	1.2 - 2.5
T° de fléchissement s/charge °C	50 - 60	65 - 100

Les divers thermoplastiques peuvent être renforcés par des fibres et font partie alors des matériaux composites. Cependant, dans le domaine des composites les résines thermoplastiques ont un développement limité du fait de la nécessité de faire appel à des transformations à haute températures de produits solides. Tableau. I. 6

**Tableau. 6:**Principales caractéristiques mécaniques des résines [68].

Résines	Nom	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	( $\sigma$ MPa)	$\nu$	$\sigma$ (MPa)	$\alpha$ $\mu$ m/m°C
<b>TD</b>	polyester	1300	3800	0.37	88	100
	vinylesters	1200	3500	0.35	81	65
	Epoxyde	1220	5200	0.38	121	40
	Silicone	1550	1000	0.45	3	30
	Polyimide	1217	3450	0.35	80	36
	Phénolique	1350	3000	0.36	70	80
	Polyamide	1130	1900	0.33	70	85
<b>TP</b>	Polycarbonate	1100	2300	0.33	60	70
	Polyester Saturé	1310	2800	0.33	55	90
<b>METAUX</b>	Aluminium	2630	69000	0.33	358	23
	Acier XC10	7850	210000	0.29	1000	1000
	Cuivre	8940	119000	0.30	350	17
	Magnésium	1660	42000	0.30	280	25

**1.1.3.3.Les résines thermostables.**

Les résines thermostables se distinguent des autres résines, précédemment considérées essentiellement par leurs performances thermiques qui conservent leurs propriétés mécaniques pour des températures plus élevées que 200°C .dans la pratiques nous retrouvons pour ces résines les deux grandes familles des résines TP et TD.

Les thermostables sont développées surtout dans les domaines de l'aviation et l'espace. Ou les laboratoires cherchent à mettre au point de nouvelles résines .parmi Les résines

---

thermostables ont trouvé les résines bismaléimides et les résines polyamides sont les plus utilisées.

les résines bismaléimides sont des résines dont le réseau est élaboré à des températures de 180°C à 200°C. les procédés de moulage sont identiques à ceux des composites à matrice thermodurcissable de type polyester ou époxyde.

- les résines polyamides sont apparues, sur le marché vers 1970. ce sont des résines à haute résistance thermique mais de prix très élevés. ces résines permettent d'obtenir des composites de résistance supérieur à 250°C à la résistance de l'aluminium.

Parmi les avantages, nous retiendrons :

- Une bonne performance mécanique.
- Une très bonne tenue en température jusqu'à 300°C en contenu et 500°C en pointe.
- Un bon comportement à froid jusqu'à -150°C à -200°C.
- Une bonne résistance chimique aux solvants organiques.
- Une bonne tenue au fluage et bonne résistance à la fatigue.

Parmi les inconvénients, nous citerons :

- Un vieillissement par hydrolyse en présence de vapeur d'eau.
- Une décomposition par hydrolyse en milieu alcalin.
- Une transformation difficile.
- Un prix très élevé.[15].

## 1.2. Le renfort

Le renfort est un matériau permettant d'améliorer les propriétés de la matrice dans le but d'assurer des meilleures propriétés du matériau composite à élaborer. Les composites sont souvent désignés selon la géométrie de renfort. Ainsi, il existe des composites à particules, des composites sandwichs, et des composites fibreux.

### 1.2.1. Les composites fibreux

Les renforts constitués de fibres servent au transfert des charges mécaniques, les fibres sont essentiellement courtes (discontinues) ou longues (continues). Elles peuvent se présenter sous forme linéique, surfacique, et multidirectionnelle [16].

Il existe deux catégories de fibres qui peuvent être utilisées comme renforcement [17]

•La catégorie des fibres inorganiques : les fibres les plus courantes de cette catégorie sont les fibres d'aramides (kevlar) et les fibres de polyester.

•La catégorie des fibres organiques : cette catégorie englobe les fibres minérales (comme les fibres de verres, de carbones, de bores, et de céramiques); les fibres métalliques (comme les fibres d'acier et de fonte); les fibres naturelles qui se divisent en fibres animales (comme les

fibres de poil, de laine, et de soie, etc.) et fibres végétales (comme les fibres de Jute, de sisal, de coir, de bois, de bambou, et de palmier)

### 1.2.2. Les fibres végétales

Les fibres végétales proviennent de différentes sources ; elles sont issues de déchets de bois, de déchets de palmiers, de résidus agricoles et de différentes parties des plantes à fibre : de tiges (kénaf, jute, lin, ramie, etc.), de feuilles (sisal, abaca, paille de graminées, etc.), de fruits (noix de coco) et de graines (coton, kapok, etc.) [18].

L'utilisation des fibres végétales comme renfort remonte à la période des briques renforcées par les pailles, Actuellement les fibres végétales sont en train de pénétrer le secteur industrielle pour fabriquer des composites plus performés et moins couteux grâce aux avantages présentés par ces fibres naturelles par rapport aux fibres traditionnellement utilisées dans les composites, parmi ces avantages on trouve la faible densité, le faible coût, la capacité acoustique, la faible conductivité thermique, les bonnes propriétés mécaniques spécifiques et surtout la disponibilité et le renouvellement. Il existe toutefois quel que sin convénients de renforcer avec les fibres naturelles [19]; en plus de leur capacité d'absorption d'eau et leur faible résistance au feu (200-230°C). 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-organisme présents dans le milieu ou par la basicité de ce dernier [20].

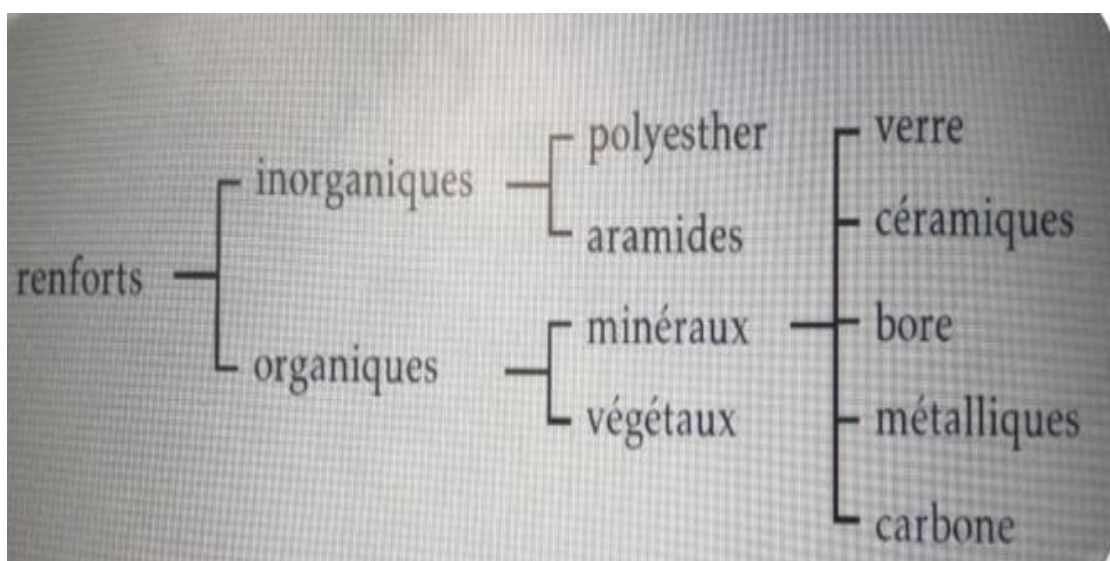


Figure . 4 :Types de renforts

---

**Remarque :**

- Entre le renfort et la matrice, existe une zone de liaison appelée interface.
- Des additifs, en particulier des produits chimiques, rentrent dans la composition du composite pour former des interphases etc... Cependant ils n'interviennent pratiquement jamais dans le calcul de structure composite.
- Un matériau composite est la plupart du temps hétérogène et anisotrope.

**2. La différence entre la matrice et Le renfort**

Le choix des constituants repose sur plusieurs critères. Le plus important est le fait que les matériaux associés ensemble doivent donner naissance à un composite ayant des propriétés plus intéressantes que celles de chaque matériau pris seul ; et ce pour répondre aux exigences de conception, fabrication, résistance et sécurité [21].

Dans un matériau composite, différentes phases coexistent. On peut donc distinguer la matrice, le renfort et l'agent de remplissage. La matrice constitue la phase continue à l'intérieur du composite, alors que le renfort et l'agent de remplissage désignent la phase discontinue, dispersée d'une manière aléatoire. Il serait important de différencier entre le renfort et l'agent de remplissage. En effet, un renfort permet de promouvoir les propriétés mécaniques dans un composite, tandis qu'un agent de remplissage n'influence pratiquement pas ces dernières. Dans la plupart des cas, le recours à un agent de remplissage donne seulement lieu à une réduction de coûts de matière première, en substituant une fraction du matériau dispendieux par ce dernier.

En général, les propriétés chimiques et mécaniques de la matrice et du renfort sont très différentes. Le renfort forme le squelette, ou encore l'armature du composite.

Il a pour fonction d'endosser l'essentiel de l'effort mécanique appliqué au matériau composite, alors que la matrice assure la liaison des renforts entre eux, leur protection du milieu extérieur et la répartition de la charge mécanique au sein du matériau [22-24]. Les combinaisons donnant naissance aux meilleures propriétés (rigidité, résistance mécanique, légèreté, résistance à la corrosion, etc.), sont celles qui retiennent l'attention. Il existe plusieurs types de matériaux composites. Cependant, deux grandes familles se distinguent en fonction des caractéristiques de la matrice et des renforts :

**• Les composites de grande diffusion :**

Qui sont peu dispendieux et occupent une grande part du marché.

**• Les composites à hautes performances :**

Qui se trouvent le plus souvent renforcés par des fibres de carbone ou d'aramide, et sont surtout réservés à des secteurs de forte valeur ajoutée comme le secteur médical, l'aéronautique, les sports et les loisirs [23 ]

### 3. Définition Les polymères

#### 3.1. Monomères :

Ce sont les composés de base des polymères. Relevant de la chimie organique, ils associent par des liaisons covalentes des atomes de carbone et des atomes d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, plus éventuellement des atomes de chlore, de fluor, de soufre, etc. Chaque atome de carbone, tétravalent, est relié aux atomes voisins par quatre liaisons covalentes, orientés dans l'espace vers les quatre sommets d'un tétraèdre régulier . [26]

#### 3.2. Polymère :

Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelées motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère[26]

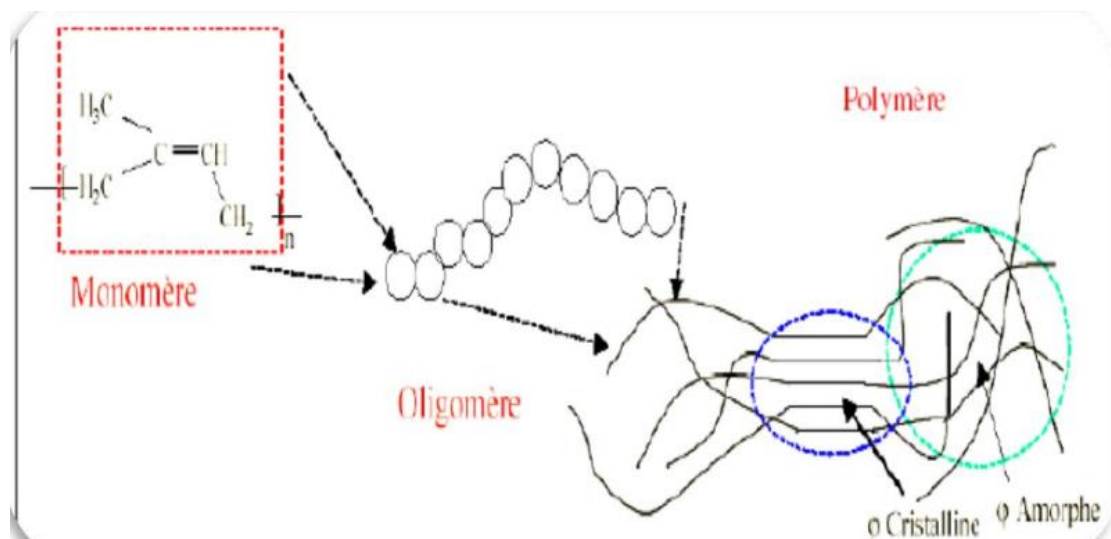


Figure.5:La constitution d'un polymère [26]

#### 4.Procédés d'obtention des polymères :

Les polymères peuvent être obtenus à partir de trois métaux :

##### 4. 1. Les polymères naturels :

Ils sont d'origine végétale ou animale, par exemple le bois et le coton Caoutchouc naturel, glandes végétales, laine, cuir, poils et peluches La soie naturelle, tous les polymères naturels, est essentielle à notre vie quotidienne et à notre alimentation Quels sont les polymères naturels : amidon, protéines et cellulose [ ,.

---

**4.2 . Les polymères artificiels :**

Les polymères synthétiques sont obtenus en modifiant chimiquement des polymères naturels, afin de convertir certains de leurs biens. Ester cellulose (nitrocellulose, acétate de cellulose, ...etc.) Il a toujours été d'une grande importance économique.

**4. 3. Les polymères synthétiques :**

Il est entièrement dérivé du génie humain, les particules uniques qui permettent de les obtenir non trouvés dans la nature. Cependant, on peut observer que les structures produites par la synthèse sont souvent proches de celles des polymères naturels. Leur diversité est extrême, et ce sont elles qui seront considérées le plus souvent par la suite [25 ]

**5. Les composites fibres végétales – polymères**

Dans les sections précédentes, nous avons vu qu'il y a de nombreux polymères et nombreux types de bois qui peuvent constituer les composites fibres végétales-polymères. Chaque composite présente une constitution propre, et un objectif de performance propre. Cette diversité se retrouve aussi dans la littérature au niveau du choix de la fibre naturelle, de la matrice polymère, des caractéristiques mesurées et des méthodes employées. Parmi les fibres les plus utilisées, on trouve les fibres de sisal, de jute, de lin, de ramie, de chanvre, d'abaca, de kénaf, de straw, de banana, de noix de coco, et les fibres de palmier (nous allons parler longuement sur ce type de fibre dans le chapitre suivant). La plupart des travaux se rapportent aux propriétés mécaniques dépendantes de la teneur de fibres, de l'effet des traitements divers des fibres, et de l'utilisation des agents de couplage [27,28]. Plusieurs études ont été réalisées sur les composites à fibres de chanvre en utilisant des polymères thermodurcissables et aussi thermoplastiques [28, 29, 30]. Les résultats indiquent que les propriétés mécaniques (en traction et en choc) des composites à fibres de chanvre sont directement proportionnelles à la teneur de fibre. Sanadi et al. [31] ont trouvé qu'un composite unidirectionnel de chanvre-polyester ayant 40% de la fraction volume de fibre a un module spécifique plus élevé que celui d'un composite renforcé par 20% en fraction volume de fibres de verre. En outre, Les résultats des travaux de Bolton [32] révèlent que le renforcement de la matrice polymère thermodurcissable polyester et Epoxy par les fibres végétales de Jute, de coton et de Kénaf donne de bons résultats tant sur le plan économique que sur le plan mécanique. L'incorporation des fibres de ramie [33], et de banana [34] dans la matrice polyester a également montré un effet positif sur au moins une caractéristique mécanique du composite élaboré.

D'autres travaux ont été réalisés sur les propriétés mécaniques des composites à fibres de coco [35, 36]. Les composites à fibres de coco, qui sont riches en lignine, montre la

---

meilleure résistance au climat en comparaison aux ceux à fibres riches en cellulose (sisal, bananas, chanvre). La lignine ayant une affinité inférieure pour l'humidité semble agir comme un protecteur des micro fibrilles de cellulose contre l'absorption d'humidité.

Plusieurs autres études ont montré que l'incorporation du filler de fibres de sisal dans une matrice polymère (polyéthylène, caoutchouc naturel) améliore bien les propriétés mécaniques du composites grâce à leurs bonnes propriétés mécaniques [37, 38]. Par ailleurs, Garcia de Rodriguez et al. [39] ont mis en évidence le potentiel d'utiliser les nano fibres cellulosiques (CNF) de sisal comme renfort pour la stabilisation des polymères polaires tel que le poly acétate de vinyle (PVA) même dans des conditions d'humidité élevées. Le même travail a été repris par Gong et al. [40] dans l'objectif d'étudier l'influence du contenu des nano fibres cellulosique sur la morphologie, la résistance à la traction et les propriétés viscoélastiques des nano composites élaborés. Les résultats rapportés montrent que le module de Young et la contrainte à la traction augmentent avec l'augmentation du contenu de la CNF. En remplaçant la matrice précédente par le polymère polypropylène, Fung et al. [41] ont constaté que l'incorporation de seulement 10% en poids des fibres de sisal permet d'améliorer les propriétés mécaniques du composites polypropylène/fibres de sisal élaborés. Le module de Young s'est amélioré par 150% et la résistance à la traction s'est améliorée par 10%. Vilaseca et al. [42] ont utilisé la même matrice pour préparer des composites à base d'abaca, ils ont montré que la résistance à la traction et le module de Young du composite d'abaca-polypropylène augmentent avec l'augmentation du taux de fibres d'abaca incorporé. Par contre, l'élongation à la rupture diminue en augmentant le taux de fibres. Cinq autres types de fibres végétales (sisal, kenaf, chanvre, jute et coco) ont été testés avec la matrice thermoplastique de polypropylène, l'influence de leur incorporation sur les propriétés mécaniques du polypropylène a été étudiée par Wambua et al. [43]. Les résultats ont montré que le module de traction, la résistance aux chocs et la résistance à la traction des composite polypropylène-kenaf augmentent avec l'augmentation du taux en poids des fibres. Tandis que, les propriétés mécaniques des composites avec les fibres de coco sont les plus faibles, mais ils ont une résistance au choc plus élevée que celle des composites avec les fibres de jute et de kenaf. Dans la plupart des cas, les propriétés spécifiques des composites de cinq fibres naturelles se sont révélées favorables en les comparant à celles des composites des fibres de verre.

En outre, les travaux de Jahangir et al. [44], Leao et al. [45] et Bledzki et al. [46] montrent qu'il est possible d'améliorer les propriétés mécaniques des produits polymères plastiques de polypropylène en les renforçant par des fibres végétales tels que les fibres

---

végétales de lin, de ramie, et de jute. De même pour le renforcement du polypropylène par les fibres de coton [47], de jute [46, 48], de paille [49], de kénaf [50, 51], et d'abaca [46]. D'un autre côté, Salman et al. [52] ont constaté que la forme de dispersion (aléatoire ou unidirectionnelles) des fibres de kénaf dans la matrice époxy a un effet considérable sur les propriétés mécaniques du composite mis en forme. Les résultats rapportés indiquent des propriétés mécaniques optimales pour 35% de fibre de kénaf tissées dans l'orientation 0°/90°. En travaillant sur la même matrice, Biswas et al. [53] ont essayé d'améliorer les propriétés de la résine époxy en la renforçant par les fibres du bambou. La comparaison avec le composite époxy/fibres de verre révèle des propriétés mécaniques plus faibles, mais une résistance à l'usure meilleure quand les fibres de verres sont remplacées par des fibres de bambou. De leur côté, Jain et al. [54] ont montré que l'utilisation des fibres de bambou sous forme d'un filler améliore plus les propriétés mécaniques des composites que d'autres formes d'incorporation.

De nombreuses études concernant l'application des différents traitements sur les fibres végétales ou sur les matrices ont été également citées dans la littérature. L'influence des traitements de fibres de coco sur le comportement mécaniques des composites à base de la résine polyester insaturée a été rapportée dans plusieurs travaux [55, 56, 57]. Les résultats montrent que le traitement des fibres a bien amélioré les propriétés mécanique du composite. Même remarques ont été rapportées par Towo et al. [58], et par Mishra et al [59] concernant les composites Sisal/polyester insaturé en appliquant un traitement chimique sur les fibres de sisal et par Rong et al [60] mais cette fois ci pour les composites unidirectionnel fibres sisal traitées/époxy. Balnois et al. [61] ont rapporté l'effet positive du traitement chimique des fibres de lin sur la nature de l'adhésion au niveau de l'interface et les caractéristiques mécaniques du composites. Gassan et al. [62] montrent également que Le traitement chimique par un alcalin des fibres de jute entraine une meilleure adhésion avec la matrice époxy et par conséquence améliore les propriétés mécaniques du composite : fibres de jute-époxy.

De leur côté, Panaitescu et al. [63] ont mis en évidence quelques aspects concernant l'amélioration de la compatibilité polymère/fibres naturelles et de la dispersion des fibres dans la matrice thermoplastique. Les auteurs ont réalisé des composites à base de polymère (Polypropylène, Polyéthylène, Poly chlorure de vinyle) et des fibres de chanvre, de sisal, et de lin. Ils ont travaillé sur l'amélioration de la compatibilité des fibres naturelles avec la matrice en utilisant le silane et l'acide anhydride. Le traitement combiné des fibres et de la matrice polymère a donné des résultats exceptionnels, en certains cas, ils ont observé un effet

---

synergique. Ils ont obtenu des composites avec des caractéristiques optimisées en utilisant les fibres de sisal et de chanvre avec la matrice polypropylène.

Les fibres naturelles ont également été utilisées comme renfort pour les copolymères bio sourcés tel que L'acide poly lactique PLA pour en fabriquer des composites entièrement biodégradables. L'acide poly lactique PLA est un polymère thermoplastique fabriqué à partir d'acide lactique (source tige de maïs, canne de sucre) et il est principalement utilisé pour des produits biodégradables, tels que des sacs, des cuillères en plastique et des tasses de plantation. Oksman et al [64] ont étudié le renforcement de ce polymère par les fibres de lin. En raison de la nature fragile du PLA, la tri-acétine a été utilisée comme plastifiant pour les matériaux composites PLA et PLA/lin pour améliorer les propriétés d'impact. Les résultats préliminaires montrent que les propriétés mécaniques du composite sont améliorées. L'addition de plastifiant n'a présenté aucun effet positif sur la résistance aux chocs des composites. Les matériaux composites PLA/lin n'ont montré aucune difficultés dans les procédés de moulage par extrusion et compression et ils peuvent être traités de manière similaire que les composites à base de polypropylène PP.

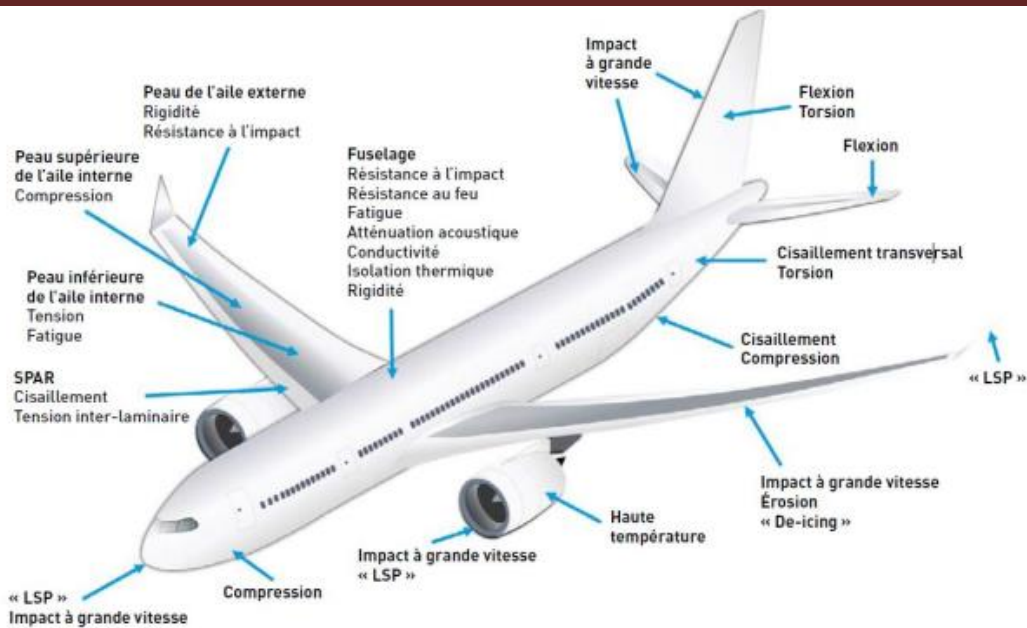
En outre, Takagi et al [65] ont rapporté des propriétés thermiques bien meilleurs des composite à base de l'acide poly lactique (PLA) et les fibres de bambou par rapport à celle des composites traditionnelles à base des fibres de verre ou de carbone

## **6. Exemples d'applications**

### **6.1. Aéronautique**

Dans le domaine de l'aéronautique, l'utilisation des matériaux composites devient de plus en plus importante. En effet, cette matière possède de très bonnes caractéristiques mécaniques qui sont recherchées dans ce domaine. Par exemple, un matériau composite à base de fibre de carbone est aussi rigide que l'acier, mais cinq fois plus léger que ce dernier. En aéronautique, le poids est un facteur déterminant dans la conception d'un aéronef. Plus un avion est lourd, plus il consommera de carburant et conséquemment, plus il coutera chère à l'exploitant de l'appareil (Figure .6). C'est principalement pour diminuer la masse d'un aéronef que les matériaux composites sont utilisés dans l'aviation civile. Caractéristiques des matériaux composites [66].

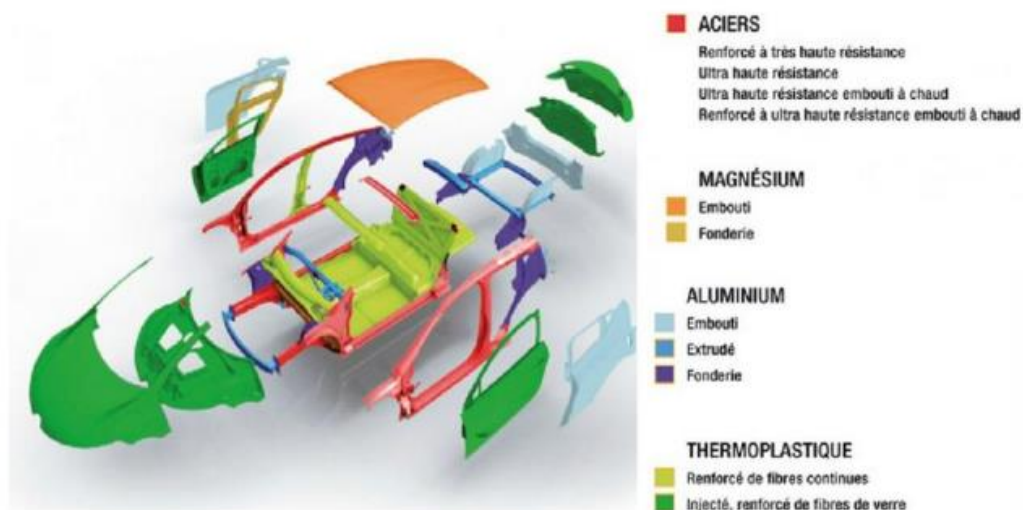
Les matériaux composites utilisés doivent donc avoir une flexibilité importante afin de résister aux forces subies.



**Figure. 6 :** Les différentes parties d'un avion subissent des contraintes diverses.

**6.2. Automobile**

L'utilisation des composites fibres longues concerne trois grands domaines du véhicule : l'espace sous-capot, la carrosserie et le soubassement. L'habitacle est le domaine privilégié des matières plastiques mais principalement à l'état non renforcé (Figure .7). L'utilisation est donc limitée à des applications spécifiques.(garnitures de pavillons avec des concepts polyuréthannes/fibres de verre) ou ponctuelles (structures de sièges en TRE ou SMC) [66].

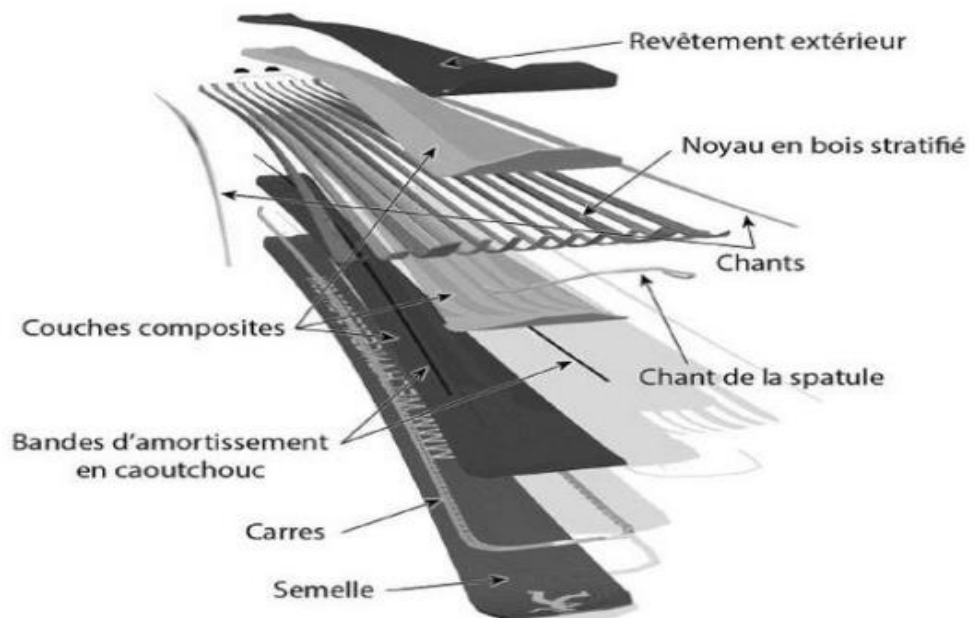


**Figure. 7:** Les matériaux composites dans automobile

**6.3. Sports& loisirs**

Les composites se sont imposés dans les sports et les loisirs en se substituant principalement au bois (en particulier dans le nautisme et la glisse) et quelquefois aux métaux (notamment dans le cyclisme) (Figure .8). Plusieurs critères ont favorisé cette utilisation [66] :

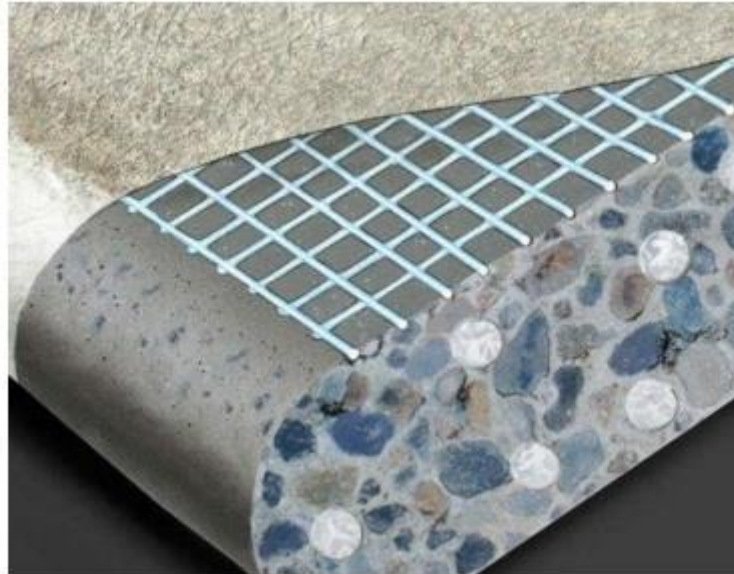
- leur légèreté (portage et manipulations aisés) ;
- leur stabilité dimensionnelle (ni gonflage, ni voilage parasite) ;
- leur bon comportement à l'humidité et à la corrosion (produits pouvant rester dehors, voire dans l'eau ou sous la neige) ;
- leur bonne tenue à la fatigue répétée ;
- leur grande rigidité (ou flexibilité, modulable en fonction du type de renforcement) d'où une amélioration des performances par rapport aux plastiques ;
- leur souplesse de mise en œuvre (une dizaine de procédés de fabrication utilisables en fonction du cahier des charges et des séries à produire) ;
- une grande liberté de formes réalisables.



**Figure. 8 :** Les composants du panneau de ski.

#### 6.4. Construction

Les matériaux composites sont couramment employés pour la réparation, et donc la mise en sécurité, d'ouvrages d'art (ponts, tunnels, etc.) (Figure .9). Ils peuvent également être utilisés dès lors qu'il s'agit d'adapter les structures existantes à l'évolution des besoins d'utilisation de leurs gestionnaires ou à de nouvelles réglementations. « Initialement, leur emploi était réservé à pallier un éventuel déficit de ferrailage dans les structures en béton armé. Ils sont désormais souvent utilisés pour augmenter la quantité d'armatures passives de structures en béton précontraint » [67].



**Figure. 9 :** Mur-rideau en panneaux en béton composite [68]

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les matériaux composites. Nous nous sommes concentrés sur les matériaux composites à base d'un polymère et un renfort naturel, en particulier le renfort végétal. Concernant ce dernier, nous avons effectué une synthèse bibliographique sur leurs caractéristiques et leurs emplois comme renfort dans une matrice polymère. Il apparaît que les propriétés des fibres végétales varient d'un type à l'autre et que leur structure et leur composition chimique influent de manière importante leurs propriétés macroscopiques. Par ailleurs, nous concluons à travers la revue de littérature, que L'utilisation de la matière végétale sous forme filler, particules, ou fibres dans le domaine des matériaux composites est très intéressante. En outre, l'utilisation des matériaux composites est limitée par leurs propriétés qui sont fortement dépendantes de celles des fibres végétales et de la matrice polymère.

## Références bibliographiques:

- [1] Matériau composite. Dans Wikipedia. Récupéré le 11 avril 2010 .  
de: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau\\_composite](http://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_composite)
- [2] Thermoplastique. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010 de :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermoplastique>
- [3] Thermodurcissable. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010 de :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermodurcissable>
- [4] Élastomère. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010 de :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lastom%C3%A8re>
- [5] Composites à matrice métallique. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010 de :  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Composites\\_%C3%A0\\_matrice\\_m%C3%A9tallique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Composites_%C3%A0_matrice_m%C3%A9tallique)
- [6] Robert, R. F. (2005). Bast and other plant fibers. Cambridge, Angleterre : Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute.
- [7] Arc. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010  
de [http://fr.wikipedia.org/wiki/Arc\\_\(arme\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Arc_(arme))
- [8] Torchis. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010 de :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Torchis>
- [9] Charles Macintosh. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010 de :  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Macintosh](http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Macintosh)
- [10] François Hennebique. Dans Wikipedia. Récupéré le 28 novembre 2010 de :  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Fran%C3%A7ois\\_Hennebique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fran%C3%A7ois_Hennebique)
- [11] Baley, C. (2005). Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites.  
Récupéré de : <http://www.techniques-ingenieur.fr/book/n2220/fibresnaturelles-de-renfort-pour-materiaux-composites.html>
- [12] Ouajai, S., Shanks, R.A. (2005). Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments, Polym. Degrad. Stabil., 89, 327-335
- [13] H. H. Molinaro. Matériaux composites et structures composites. ENS Paris-Saclay, 2015.
- [14] G. Tripathi, D. Srivastava. Effect of Carboxyl-Terminated Poly (Butadiene-coAcrylonitrile)(CTBN) Concentration on Thermal and Mechanical Properties of Binary Blends of Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (DGEBA) Epoxy Resin. Materials Science & Engineering A, 443, 2007, 262-269

- [15] Mr. HOUIDEG Abdellah "Transfert de charge et frottement Fibre/ Matrice d'un Matériau Composite (T300/914) ",MémoiredeMagister,Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf » (2012).
- [16] S. Steven, V. A Guy, V. M. Bruno, Reaction Kinetics Modeling and Thermal Properties of Epoxy-Amines as Measured by Modulated-Temperature DSC. I. Linear Step-Growth Polymerization of DGEBA + Aniline, Journal of Applied Polymer Science, vol. 91, 2004, 2798-2813
- [17] L. Gornet. Généralité sur les matériaux composites, ECN, Centre Nantes, 2011.
- [18] A.Y. Nenonene. Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kéraf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage. Thèse doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [19] A. Alawar, A. M. Hamed, K. Al-Kaabi. Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement. Compos Part B; 40, 2009, 601–606.
- [20] H. Thi, T. Nga. Etude de l'influence de la température et de l'humidité sur les propriétés mécaniques en traction des fibres de chanvre et de coco, PhD Thesis, Ecole De Technologie Supérieure, Université Du Québec, 2008.
- [21] Bourban P.-É., Carlsson L., Mercier J.P., Manson, J.-A.E. (2004). Matériaux composites à matrice organique : constituants, procédés, propriétés, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 233 p.
- [22] Vézeau B. (2010). Caractérisation mécanique de composites LMDPE/bois en vue d'une application en roto moulage (Mémoire M.Sc.), Université Laval, Québec, 152 p.
- [23] Bourai K. (2010). Étude du comportement thermique d'un composite bois polymère pour une application en roto moulage (Mémoire M.Sc.), Université Laval, Québec, 128 p.
- [24] Prundus G.C. (2009). Résines époxydes renforcées avec des fibres naturelles (Mémoire M.Sc.), Université Laval, Québec.
- [25] M. Fontanille et Y. Gnanou, "Chimie et physico-chimie des Polymères", Dunod, Paris, ( ).
- [26] Benoît WATREMETZ, « modèle thermomécanique D d'un matériau à gradient de propriétés à l'aide de techniques multi grilles. Application aux moules d'injection de polymères ». Thèse doctorat institut national des sciences appliquées de Lyon, 2006..
- [27] K. Oksman, "Mechanical properties of natural fiber mat reinforced thermoplastic" Applied Composite Materials, 7, 2000, 403-414.
- [28] D. Nabi Saheb, J. P. Jog, Natural fiber polymer composites: A Review" Advanced in Polymer Technology, 18, 1999, 351-363

- [29] L. Y. Mwaikambo, M. P. Ansell. Hemp fibre reinforced cashew nut shell liquid composites," *Composites Science and Technology*, 63, 2003, 1297- 1305.
- [30] D. G. Hepworth, R. N. Hobson. The use of unretted hemp fibre in composite manufacture, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31, 2000, 1279-1283.
- [31] A. R. Sanadi, S. V. Prasad, P. K. Rohatgi. Sun hemp fiber-reinforced polyester, *Journal of materials science*, 21, 1986, 4299-4304.
- [32] A. J. Bolton, *Natural Fibers for Plastic Reinforcement. Materials Technology*, 9 , 19941-2.
- [14] C. Z. Paiva Junior, L. H. de Carvalho, V. M. Fonseca, S. N. Monteiro, J. R. M. d'Almeida. Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie-cotton fabric composites. *Polym Testing*, 23(2) 2004, 131–5.
- [33] L. A. Pothan, S. Thomas, N. R. Neelakantan. Short banana fiber reinforced polyester composites: Mechanical, failure and aging characteristics. *J ReinforPlast Compos*; 16 (8), 1997, 744–65.
- [34] H. D. Rozman, K. W. Tan, and R. N. Kumar. The effect of lignin as a compatibilizer on the physical properties of coconut fiber – polypropylene composites, *European Polymer Journal*, vol. 36, 2000, 1483-1494.
- [35] O. Owolabi, T. Czvikovszky, and I. Kovacs. Coconut-fiber-reinforced thermosetting plastics," *Coconut-fiber-reinforced thermosetting plastics*, 30, 1985, 1827-1836.
- [36] K. Joseph, S. Thomas, C Pavithran, M Brahmakumar. Tensile properties of short sisal fiber-reinforced polyethylene composites. *J ApplPolymSci*, 47(1) 1993, 1731– 1739.
- [37] S. Varghese, B. Kuriakose, S. Thomas. Stress relaxation in short sisal fiber-reinforced natural rubber composites. *J ApplPolymSci*, 53(8) 1994, 1051–60
- [38] N. L. Garcia de Rodriguez, W. Thielemans, A. Dufresne. Sisal cellulose whiskers reinforced polyvinyl acetate nanocomposites, *Cellulose*, 13, 3, 2006, 261 270.
- [39] G. Gong, J. Pyo, A. P. Mathew, K. Oksma. Tensile behavior, morphology and viscoelastic analysis of cellulose nanofiber-reinforced (CNF) polyvinylacetate (PVAc) Composites. *Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42, 9, 2011, 1275-1282.
- [40] K. L. Fung, X. S. Xing, R. K. Y. Li, S. C. Tjong, Y. W. Mai. An investigation on the processing of sisal fiber reinforced polypropylene composites. *Compos. Sci. Technol.* 63, 2003, 1255–1258.

- [41] F. Vilaseca, A.V. Gonzalez, P. J. H. Franco, M. A. Pèlach, J. P. Lopez, P. Muti, Biocomposites from abaca strands and polypropylene, Part I: Evaluation of the tensile properties, *Bioresource Technology* 101, 2010, 387–395.
- [42] P. Wambua, J. Ivens, I. Verpoest. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics, *Composites Science and Technology*, 63, 9, 2003, 1259-1264.
- [43] A. K. Jahangir, A. K. Mubarak, I. A. G Rabiul. Mechanical, Thermal and Interfacial Properties of Jute Fabric-Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Potassium Dichromate *Materials Sciences and Applications*, 1, 2010, 350-357.
- [44] A. L. Leão, J. C. Caraschi, I. H. Tan. Curaua Fiber—A Tropical Natural Fibers from Amazon Potential and Applications in Composites.
- [45] A. K. Bledzki, A. A. Mamun, O. Faruk. Abaca fiber reinforced PP composites and comparison with jute and flax fiber PP composites, *Express Polym. Lett.* 1, 2007, 755– 762.
- [46] J. M. Felix, P. Gatenholm. Effect of transcrystalline morphology on interfacial adhesion in cellulose/polypropylene composites. *J Mater Sci*, 29(11) 1994, 3043 3049.
- [47] D. Basu, A. N. Banerjee, A. Misra. Comparative rheological studies on jute-fiber- and glass-fiber-filled polypropylene composite melts. *J Appl Polym Sci*, 46 (11) 1992,1999–2009.
- [48] M. Avella, E. Martuscelli, B. Pascucii, M. Raimo, B. Focher, A. Marzetti. A new class of biodegradable materials: Poly-3-hydroxy-butyrates/steam exploded straw fiber composites. I. Thermal and impact behaviour. *J Appl Polym Sci*, 49(12) 1993, 2091– 103.
- [49] A. R. Sanadi, R. Rowell, D. F. Caulfield. Agro-based fiber/polymer composites, blends, and alloys. *Polymer News*; 21(1), 1996, 7–17.
- [50] M. Zampaloni, F. Pourboghraat, S. A. Yankovich, B.N. Rodgers, J. Moore, L.T. Drzal, A. K. Mohanty, M. Misra. Kenaf natural fiber reinforced polypropylene composites: A discussion on manufacturing problems and solutions, *Compos.: Part A* 38, 2007, 1569–1580
- [51] D. S. Suhad, J. S. Mohaiman, Z. Leman, M. T. H. Sultan, M. R. Ishak, F. Cardona. Physical, Mechanical, and Morphological Properties of Woven Kenaf/Polymer Composites Produced Using a Vacuum Infusion Technique. *International Journal of Polymer Science*, 2015.
- [52] S. Biswas, A. Satapathy. A comparative study on erosion characteristics of red mud filled bamboo–epoxy and glass–epoxy composites. *Materials and Design*, 2010, 31, 1752-1767.
- [53] S. Jain, R. Kumar, U. C. Jindal. Mechanical behavior of bamboo and bamboo composite. *J Mater Sci*; 27 (17) 1992, 4598–604.
- [54] S. V. Prasad, C. Pavithran, and P. K. Rohatgi. Alkali treatment of coir fibers for coirpolyester composites, *Journal of materials science*, 18, 1983, 1443-1454.

- [55] J. Rout, M. Misra, and S. S. Tripathy. Influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. *Composites science and Technology*, 61, 2001.
- [56] V. G. Geethamma, R. Joseph, S. Thomas. Short coir fiber-reinforced natural Rubber composites: Effects of fiber length, orientation and alkali treatment, *Journal of applied polymer science*, 55, 1995.
- [57] A. N. Towo, M. P. Ansell. Fatigue of sisal fibers reinforced composites: Constant-life diagrams and hysteresis loop capture. *Composites Science and Technology*, 68, 2008, 915-924.
- [58] S. Mishra, M. Misra, S. S. Tripathy, S. K. Nayak, A. K. Mohanty. The influence of chemical modification on the performance of sisal polyester biocomposites. *Polym Compos*; 23(2) 2002, 164–70.
- [59] M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C Yang, H. M Zeng. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisalreinforced epoxy composites. *Compos SciTechnol*, 61, 2001, 1437–47.
- [60] E. Balnois, F. Busnel, C. Baley, Y. Grohens. An AFM study of the effect of chemical treatments on the surface microstructure and adhesion properties of flax fibers. *Composite Interfaces*, 14, 2007, 7-9, 715-731.
- [61] J. Gassan, A. K. Bledzki. Possibilities for improving the mechanical properties of jute/epoxy composites by alkali treatment of fibres. *Compos SciTechnol*, 59, 1999,1303–1309.
- [62] D. M. Panaitescu, A. M. Iorga, A. Z. Vuluga, A. D. Donescu, A. M. Dan, B. Serban, D. Florea. Effect of interface in naturalfiber–polymer composites, *Revue Roumaine De Chimie*, 52(4) 2007, 409–414.
- [63] K. Oksman, M. Skrifvars, J. F. Selin. Natural fibers as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. *Composites Science and Technology*, 63, 9, 2003, 1317-1324 .
- [64] H. Takagi, S. Kako, K. Kusano, A. Ousaka. Thermal conductivity of PLA-bamboo.
- [65]. Sites d'internet <https://www.isomatex.com/fr/categorie/domaines-dapplication.html>. [66]. Sites d'internet <https://www.construction21.org/france/articles/fr/genie-civil-lesmateriaux-composites-en-renfort.html>
- [67]. <https://www.archiexpo.fr/prod/cembrit-limited/product-83030-994793.html>
- [68]. CETIM Mallard , rapport DPE 1991.

**Chapitre II :**  
**Généralité Sur Les Fibres**  
**Végétale**

## 1 . Introduction

L'utilisation d'une fibre comme renfort au sein d'une matrice, dépend essentiellement de la compatibilité des propriétés physiques, mécaniques et chimiques, que possède la fibre avec les constituants de la matrice (sol, béton, béton de sable ou mortier).

Les matériaux composites à fibres se développent en raison de leurs propriétés mécaniques associées souvent à une faible densité. Leur bon rapport coût/performance leur a ouvert une très large gamme d'application Dans des domaines variés,

On a cherché depuis longtemps à renforcer les matériaux de construction fragiles à l'aide de fibres de différentes natures.

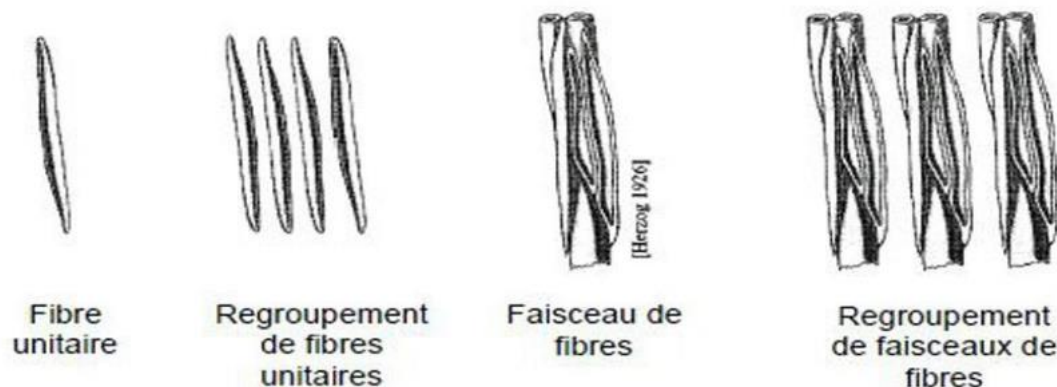
La valorisation des matériaux composites classiques avec leur armature en fibres de verre, d'aramide, ou bien de carbone pose un grand problème à leur fin de vie. Pour y pallier les fibres naturelles sont mises. Elles sont issues de ressources renouvelables elles sont biodégradables.

Dans ce qui suit nous allons exposer des généralités sur les fibres : types, caractéristiques, utilisations, quelques propriétés.....ainsi que le domaine d'utilisation.

## 2 . Définition

Une fibre végétale est une expansion cellulaire morte qui est composée principalement de cellulose, d'hémicellulose, de lignine et de pectines. Elle est soit isolée soit regroupée avec d'autre en un faisceau [1]

Il est primordial de ne pas confondre fibre unitaire (ou fibre élémentaire) et faisceau de fibre. Une fibre unitaire correspond à une cellule élémentaire fibreuse. Qui, regroupée avec d'autre. Forme un faisceau de fibre : le lien interstitiel entre les fibres unitaires étant composé principalement de pectines et d'hémicellulose (figure 1) ce sont généralement ces faisceaux des fibres qui sont communément appelés «fibres végétales» [2]



**Figure. 10 :** les différentes formes de fibre. [3]

Une fibre végétale est caractérisée par sa finesse et sa forme allongée par rapport à son diamètre. La plupart des fibres végétales mesurent entre 10 et 150 mm de long pour un diamètre de 10 à 50  $\mu\text{m}$ , soit un rapport longueur sur diamètre compris entre 10 et 100 [4][5]

### Origine Des Fibres Végétales

Les fibres végétales peuvent être issues de différentes parties de la plante : des graines (poils séminaux) de la tige ou du tronc (fibres libériennes) des fruits (enveloppe) ou des feuilles le bois figure le bois est un cas particulier (composition, structure, etc.) qui doit être traité séparément. [6][7]

### 3 . Classification Des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface

#### A. Les Fibres de Feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides. Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de henequen et d'abaca. [8]

#### B. Les Fibres de Tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones.Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes.

Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kenaf, d'urena et de chanvre [9]

#### C. Les Fibres de Bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux.

Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments. [8][10]

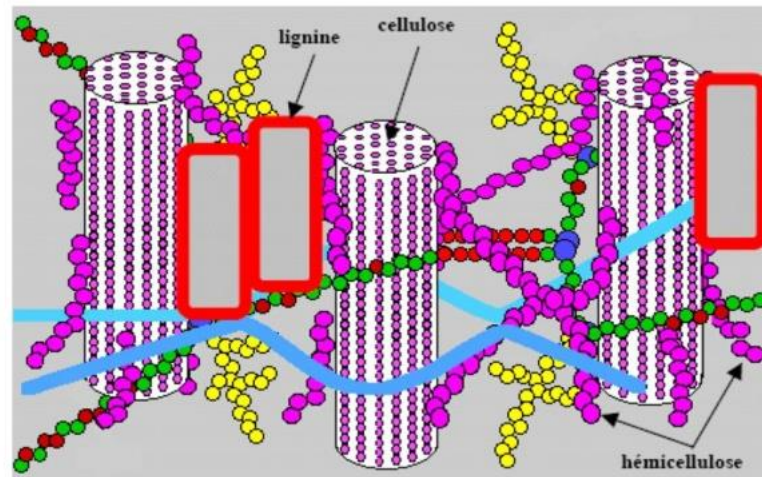
#### D. Les Fibres de Surface

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le coton et la noix de coco (coco). Les fibres de coco ont donné

de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre II est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres. [1]

#### 4. Constituants Des Fibres Végétales

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Dans le cas de la tige des fibres végétales, au sein de leurs parois trois composés majoritaires se distinguent: la cellulose, l'hémicelluloses et les lignines.



**Figure.11** : Représentation schématique d'une fibre de bois [14]

La proportion de ces divers composants varie d'une espèce à une autre. À l'intérieur de chaque fibre, la lignine joue le rôle d'une matrice enrobant la cellulose, qui est une structure très rigide [15], et les hémicelluloses jouent le rôle de comptaibilisant à l'interface entre ces deux éléments [11]. A ces trois principaux constituants viennent s'ajouter des substances de faible poids moléculaire les extractibles et les cendres [16,11]. Le tableau ci-dessous nous montre la composition chimique de quelque fibre végétale

Tableau.7:Composition chimique de quelques fibres végétales [12]

Type de fibre	Cellulose (%)	Lignine (%)	Hémicelluloses (Pentoses) (%)	Pectine (%)	Cendres (%)	Silice (%)
<u>Fibres de canne à</u>						
Sucre	32-44	19-24	22(27-32)	-	1,5-5	9
Bambou	26-43	21-31	15(15-26)	-	1,7-5	-
<u>Fibres d'herbes</u>						0,7
Alfa (Esparto)	33-38	17-19	27-32	-	6-8	-
Sabai	22	23,9	24	-	6	-
Fibres de roseaux	44,75	22,8	20	-	3	2
<u>Fibres périlibérienne</u>						-
Lin	43-47	21-23	16(24-26)	2,3	5	-
Kenaf	31-39	15-19	19(22-23)	-	2-5	-
Jute	45-53	21-26	15(18-21)	0,2	0,5-2	-
Chanvre	57- 77	3,7- 13	14- 22,4	0,9	0,8	-
Ramie	68,6- 91	0,6-0,7	5- 16,7	1,9	-	-
Coco	36-43	41-45	0,15-0,25	1,9	2,7-10,2	-
<u>Fibres centrales</u>						-
Kenaf	31-44	15-21	18-24	0,2	2-4	-
Jute	41	24	18-22	-	0,6-1	-
<u>Fibres de feuilles</u>						-
Abaca (Manila)	60,8	8,8	20(15-17)	10	1,1	-
Sisal (agave)	43-56	7-9	12(21-24)	-	0,6-1	-
Henequen	77,6	13,1	4- 8	-	-	-
Ananas	70-82	5-12	18	-	0,7-0,9	-
Banane	60-65	5-10	6-8	-	4,7	-

4 .1.Cellulose

La cellulose est un polymère qui existe à l'état naturel et qui est particulièrement important, puisqu'il est le constituant principal de la masse végétale [17]. C'est aussi la molécule biologique la plus abondante sur terre, elle représente environ 1,5 x 10<sup>2</sup> tonnes dans la production totale annuelle de biomasse [13].

La cellulose est un polysaccharide de la série des β-D-glucanes, constituée de plus de 95 % de glucose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>). Son motif répétitif est le cellobiose constitué de deux β-Dglucopyranoses, liées entre elles par des liaisons covalentes. Le nombre de maillons de glucose (ou degré de polymérisation) varie suivant l'origine de la cellulose [12,18].

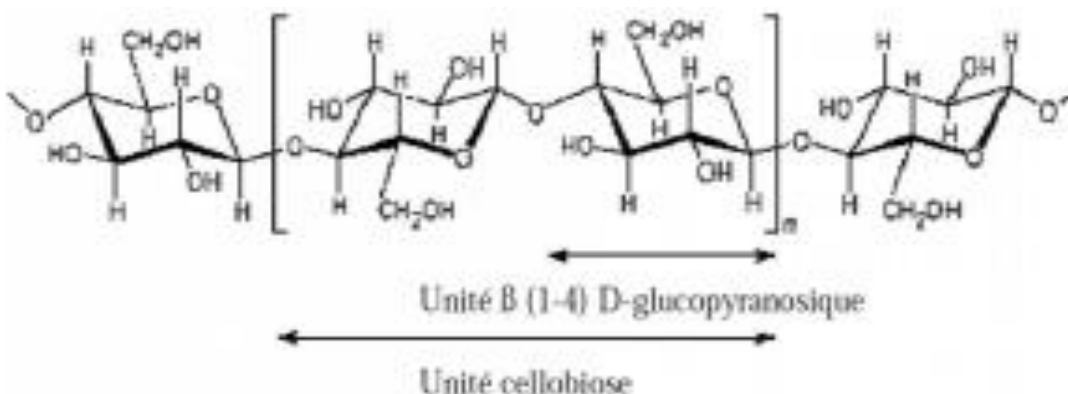


Figure.12 : Structure chimique de la cellulose [14]

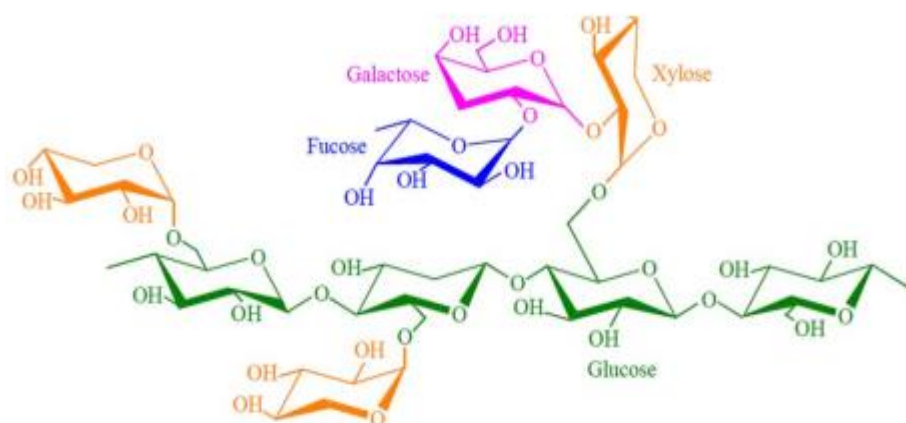
#### 4.2. Hémicellulose

Les hémicelluloses sont des copolymères d'oses. Ces chaînes sont beaucoup plus courtes et ramifiées. Les unités oses sont constituées par des pentoses, des hexoses, des acides uroniques et des désoxyoses [12].

Les hémicelluloses sont par définition les polysaccharides solubles dans l'eau et pouvant être extraites de la paroi des cellules végétales par des solutions alcalines. Ce sont des polysaccharides de masse moléculaire plus faible que celle de la cellulose. Elles sont composées de sucres neutres : xylose, arabinose, galactose, glucose, mannose, et d'acides uroniques [17].

Leurs degré de polymérisation est compris entre 200 et 300, et leur structure dépend de l'espèce végétale (type cellulaire, localisation dans la paroi ou bien encore âge des tissus) [18].

La classe d'hémicelluloses la mieux étudiée correspond aux xyloglucanes qui sont constitués d'une chaîne de glucose et de courtes chaînes latérales de xylose, galactose et fucose [17]



**Figure.13:** Structure d'un type de xyloglucane [17].

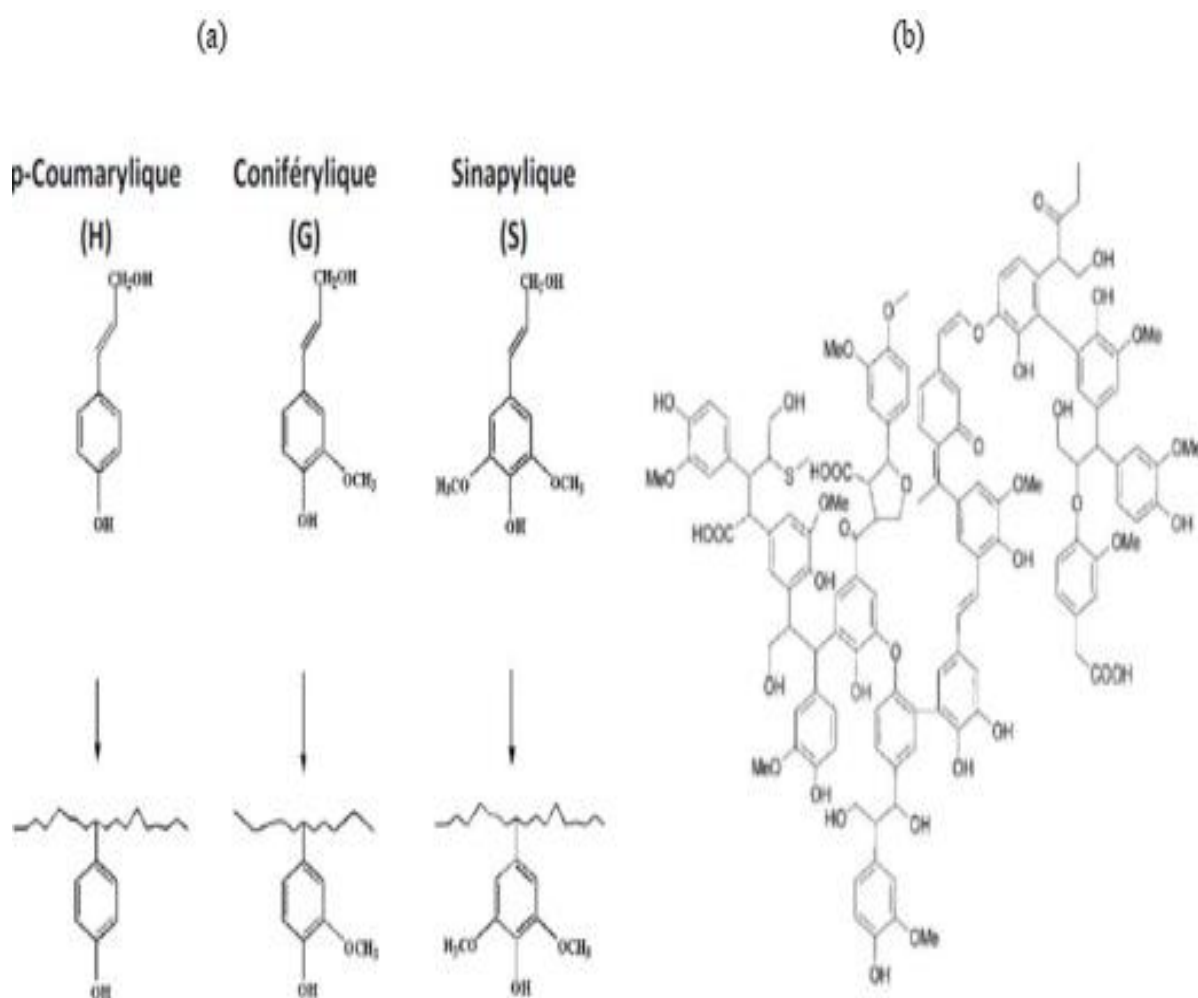
#### 4.3. Lignines

La lignine présente une grande variabilité structurale suivant l'origine botanique, c'est pourquoi on parle plus généralement des lignines que de la lignine. Ce sont des polymères tridimensionnels provenant de la polymérisation radicalaire de trois alcools phénylpropénoïques (l'alcool coumarylique, l'alcool coniférylique et l'alcool sinapylique). Ces différents alcools mènent respectivement, après polymérisation, aux unités p-hydroxyphényles, guaicyles et syringyles constitutives de la structure réticulée des lignines (Figure .14) [14,12].

La lignine est l'un des polymères biosourcés les plus abondants sur terre après les polysaccharides, elle constitue de 15 à 40% de la matière sèche des arbres et de 5 à 20% des

tiges des plantes annuelles. C'est également le polymère aromatique naturel le plus abondant[13].

Elle est responsable de la rigidité et de la dureté des bois et des plantes. Aussi, elle contribue à la résistance mécanique des parois des cellules de la plante et confère une résistance et une protection naturelle des végétaux. De plus elles possèdent une fonction protectrice vis-à-vis des polysaccharides contre la dégradation biologique et atmosphérique et en termes de résistance à l'humidité. Enfin grâce à son caractère plutôt hydrophobe, la lignine entraîne une résistance à l'eau et contrôle aussi le transport des solutions, ainsi que la teneur en eau des plantes [17, 18, 11]

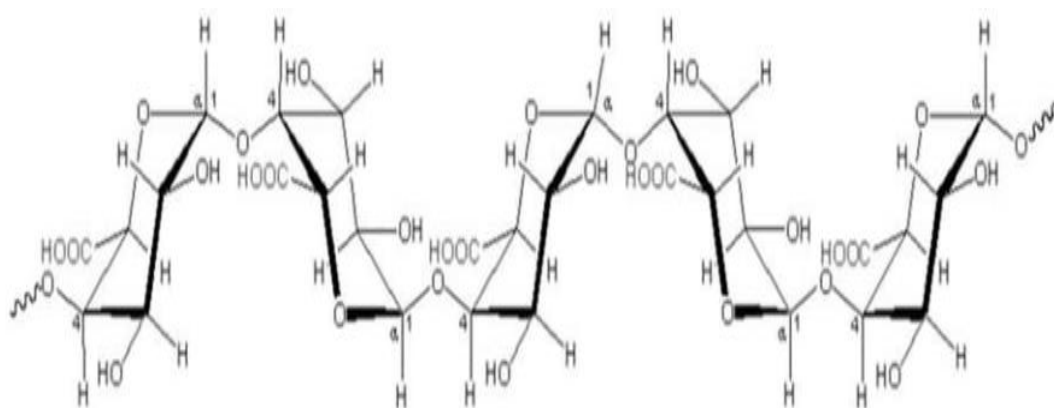


**Figure .14:**Représentation schématique de la structure des monolignols et unités phenylpropanes associées (a) et la structure de la lignine (b) [13].

#### 4.4. Pectines

Les pectines sont des polysaccharides à structure complexe composée d'une chaîne principale et de chaînes secondaires (19). Elles sont principalement composées d'acides galacturoniques (Figure .15). Les pectines sont situées dans la lamelle mitoyenne et la paroi

primaire de la cellule végétale ; elles jouent le rôle de liant entre les différentes cellules. Les pectines peuvent être extraites de la fibre par une méthode chimique : soit à l'eau bouillante (20), soit par l'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA) (21). De plus, les pectines ont également la capacité d'échanger des ions, en particulier les ions calcium. Ainsi, elles peuvent se relier entre elles grâce à cet échange d'ions calcium pour former des ponts calciques.

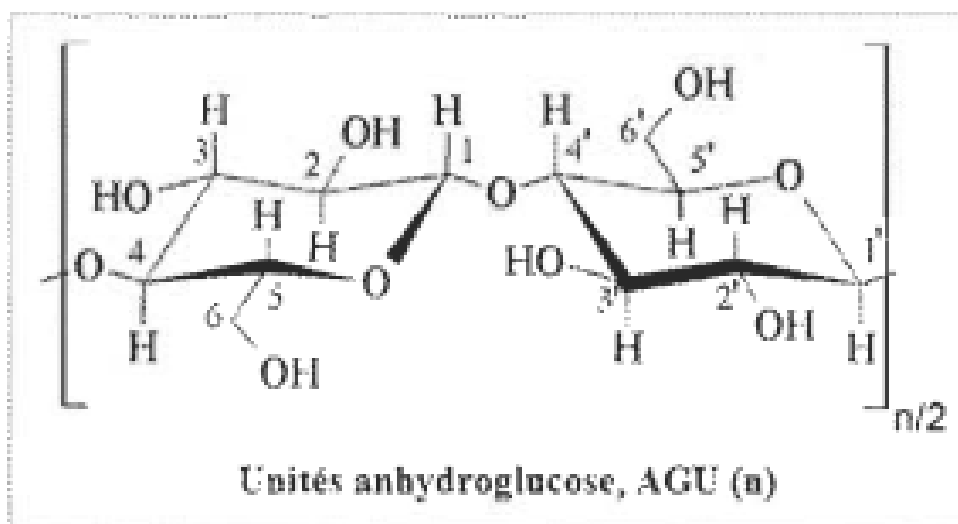


**Figure .15:**Structure moléculaire d'une chaîne d'acide galacturonique (22)

## 5 .Réactivité et Accessibilité de la cellulose

### 5.1.Réactivité de la cellulose

La structure chimique de la cellulose est à l'origine de ses caractéristiques remarquables. En effet, elle contient 31.48% en poids de groupements hydroxyles qui peuvent fixer une variété de groupements fonctionnels [23]. Chaque unité anhydroglucose porte trois groupements hydroxyles ; deux alcools secondaires (en position C2 et C3) et un alcool primaire (en position C6) (voirFigure. 16). En raison des effets inductifs des substituants voisins, l'acidité et la tendance à la dissociation augmente dans l'ordre OH-6 <OH-3 <OH-2. Par conséquent, la réactivité de ces groupements diffère selon le type de la réaction et en fonction du milieu réactionnel (acide ou alcalin). Il est à noter que les groupements hydroxyles peuvent subir des réactions de substitution et d'oxydation [24]



**Figure.16:** Unités anhydroglucose [26].

Bien que les groupements hydroxyles soient actifs, ils peuvent ne pas être accessibles pour des réactifs en raison de leur implication dans les liaisons hydrogènes [27]. Ces Liaisons, combinées avec d'autres forces secondaires (i.e. interaction Van der Waals), donnent naissance à des zones structurées (phase cristalline) intercalées par des associations désordonnées de chaînes moléculaires (phase amorphe). Cette topochimie contrôle la réactivité chimique de la cellulose. En effet, les groupements hydroxyles situés dans les régions amorphes réagissent facilement au cours d'une réaction chimique, en raison de la structure ouverte des chaînes moléculaires (groupements hydroxyles non impliqués dans les liaisons hydrogènes). Cependant, dans les régions cristallines (fortes liaisons interchaînes), ces groupements sont difficilement accessibles aux molécules des réactifs et sont dans certains cas totalement inaccessibles [25, 28]. De ce fait, il est évident que la réactivité des hydroxyles dépend de l'ordre cristallin et la plupart des réactions sont limitées aux hydroxyles de la phase amorphe [23]. D'une manière générale, la réaction chimique peut avoir lieu au niveau:

- ✓ Des groupements hydroxyles primaires et secondaires de la région amorphe.
- ✓ Des groupements hydroxyles primaires et secondaires de la surface de la région cristalline.
- ✓ Des groupements hydroxyles primaires et secondaires de manière uniforme à la fois dans la région amorphe et cristalline (cas des réactions menées en phase homogène) [27].

Les groupements hydroxyles sont pratiquement tous impliqués dans les liaisons hydrogènes à des degrés différents ce qui affecte la réactivité relative de ces groupements sur C2, C3 et C6. Les études ont montré que les hydroxyles secondaires sur le C2 sont

seulement impliqués dans des interactions intramoléculaires avec les groupements hydroxyles sur C6' des unités glucose adjacentes de la même chaîne moléculaire. De ce fait, une certaine réactivité préférentielle des hydroxyles secondaires sur le C2 pourrait être observée. Cependant, la réactivité des hydroxyles primaires en C6 et en particulier des groupes hydroxyles secondaires sur le C3 est réduite par leur forte implication dans des liaisons hydrogènes intra et intermoléculaires. Une étude plus approfondie a été menée par plusieurs équipes de recherche sur la distribution des substituants sur C2, C3 et C6. Les chercheurs ont établi une approche théorique selon laquelle environ la moitié des groupements hydroxyles sur les C6 sont disponibles pour une interaction chimique, alors que les hydroxyles sur les C3, impliqués dans les liaisons hydrogènes intramoléculaires avec les oxygènes du cycle pyranose, ne seraient pas disponibles pour ladite interaction. Ce qui conduit à une distribution des substituants de 1: 0: 0.5 respectivement pour les OH (2): OH (3): OH (6). Cependant, l'expérience a révélé une plus grande réactivité des hydroxyles sur le C3 et C6, indiquant que l'agencement des molécules de la cellulose dans les couches extérieures des fibrilles élémentaires et/ou microfibrilles et leur implication dans les liaisons hydrogènes ne sont pas en parfait accord avec la théorie. Dans la couche externe des identités fibrillaires, il y a des molécules de cellulose au niveau desquelles tous les hydroxyles y compris OH (3) sont disponibles pour la réaction chimique. Les chercheurs ont lié ces résultats aux dimensions des unités morphologiques (effet stérique) et l'implication de leurs groupes hydroxyles dans les liaisons hydrogènes. Il est à noter que ce concept a fortement contribué à la compréhension du déroulement des modifications chimiques de la cellulose [23, 29].

De ce qui précède, on peut souligner l'influence majeure des liaisons hydrogènes sur la flexibilité et la mobilité des chaînes qui déterminent par la suite l'accessibilité des groupements hydroxyles au cours de toute réaction chimique. De ce fait, pour réussir un traitement chimique, il est impératif de libérer ces groupements en rompant les liaisons hydrogènes par gonflement ou par dissolution de la cellulose.

### **5.2. Accessibilité de la cellulose**

Les approches des prétraitements chimiques se sont révélées d'une importance majeure pour accroître l'accessibilité de la cellulose aux réactifs chimiques. Plusieurs agents de prétraitement ont été rapportés dans la littérature scientifique, notamment les solvants et les agents gonflants de la cellulose [30]. D'une manière générale, l'interaction de la cellulose avec les liquides dépend fortement de la composition chimique et la

structure supramoléculaire du substrat cellulosique ainsi que des forces intermoléculaires du liquide [31-32].

### 6. Utilisations des composites à base des fibres végétales

L'utilisation des matériaux composites s'inscrit dans une démarche d'éco-conception.

On note enfin le développement de granulés thermoplastiques renforcés par des fibres naturelles végétales est utilisé dans différents domaines (cosmétique, automobile, horticulture, électroménager, mobilier urbain, outillage...) [33]

#### a) En automobile

L'utilisation des fibres naturelles dans les matériaux composites est de plus en plus courante, notamment, chez l'équipementier automobile Faurecia, le projet de recherche Nafi (Natural fiber for injection), lancé en 2008, a permis de mettre au point des pièces en composites de lin ou en chanvre avec un gain de masse de 25%. Aussi que Alstom Transport équipera en 2014 ses nouvelles rames TGV de panneaux et de cloisons en lin composite et en 2016 le « nez » des locomotives sera fabriqué à partir du même matériau, avec d'autres éléments extérieurs [34].

Les principales applications sont les suivantes: garnissage des coffres, revêtements pour plancher, revêtement pour paroi intérieur (habillage des toits d'habitacle par la technique de contre collage/compression), revêtement pour avant et arrière, revêtement pour passage de roue, revêtements de garnissage pour plage arrière, habillage de sièges, garnitures, housse, rembourrages en mousse, filtre à huile (pour la transmission), moquette de garnissage des panneaux de portières, capitonnage des panneaux de portières routières et ferroviaires, tableaux de bord (injection de granulés).

**Mercedes-Benz à Bayer**, utilisait des composites à fibres de lin et de sisal pour les garnitures intérieures des portières de la Mercedes classe.

**Mégane:** Les constructeurs Français présentent la tablette arrière de la Mégane, les panneaux de portes de l'habillage du coffre de la Xantia.

**AUDI:** Dossier de siège, panneaux des portières latérales et arrières, garnitures de coffre, revêtement de roue de secours dans les modèles suivants : A3, A4, A6, A8, A4.

**BMW:** Panneaux de portière, garnitures de pavillon, garnitures de coffre, dossiers de siège dans les modèles suivants: séries 3, 5 et 7.

**Volkswagen:** Panneaux de portières, dossiers de siège, panneau de finition du couvercle du coffre, garnitures de coffre dans les modèles suivants: Golf, Passat, Bora.

**OPEL GM:** Panneaux de pavillon, panneaux de portières, panneau de revêtement des montants, groupe d'instruments, dans les modèles suivants: Vectra, Astra.

**Ford:** Panneaux de portières, montant central, garnitures de coffre dans les modèles suivant :Mondeo, Focus, Zafira.

**Fiat:** Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156.

#### **b) En construction**

Les fibres végétales sont utilisées comme renfort de matériaux, notamment d'isolation, de produits en ciment.

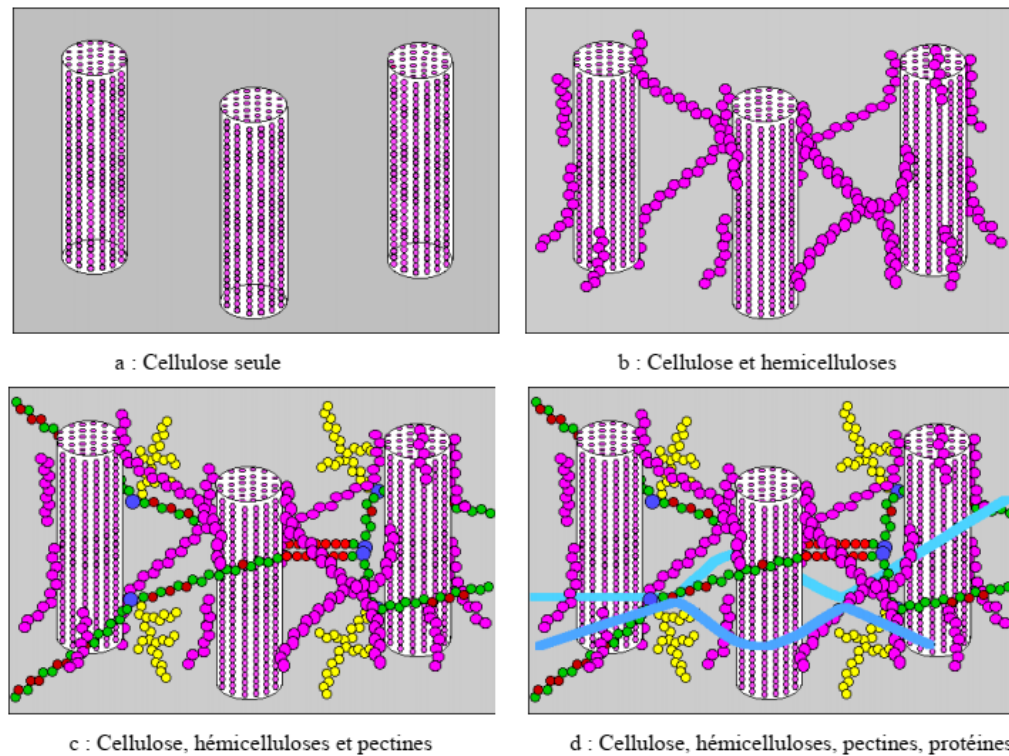
#### **c) Autres applications**

Les palettes, le mobilier (table de camping Lafuma ou chaise IKEA), et FUTURAMAT, une société Française, produit des pièces techniques en résine thermoplastique renforcée de fibres de bois (ainsi que des matériaux biodégradables à base de farines céréalières).

La recherche porte sur la caractérisation des fibres, la capacité à les utiliser à des conditions économiques comme renforts de composites structuraux tels que des hublots d'avion, et les moyens permettant d'améliorer l'interaction entre les fibres et la matrice dans laquelle elles sont noyées [35].

### **7. Propriétés Usuelles des fibres**

A l'échelle microscopique, l'architecture des fibres est complexe. Selon Sedan<sup>9</sup>, elles sont constituées par des fibrilles, elles-mêmes formées par des chaînes de cellulose (figure.17). Les chaînes de cellulose s'associent entre elles de façon parallèle par des liaisons hydrogène pour former des microfibrilles dont la section (de l'ordre de quelques nm) est variable selon les espèces végétales<sup>10</sup>. L'enchaînement des unités constitutives de la cellulose induit une rigidité des chaînes qui, alliée à la grande régularité des enchaînements et au développement des liaisons hydrogènes inter et intra moléculaires, est particulièrement favorable à une cristallinité élevée. La formation de zones cristallines très cohésives est responsable de l'essentiel des propriétés physiques et chimiques de ce matériau.



**Figure. 17** :Exemple de représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres de chanvre à l'échelle micrométrique [36]

A l'intérieur de la fibre, les chaînes cellulosiques sont réunies en micro fibrilles qui en s'agglomérant forment des fibrilles sur plusieurs couches. L'angle qui existe entre ces éléments très structurés et l'axe de la fibre conditionne la rigidité de la fibre. Les liaisons hydrogènes qui s'établissent le long et entre les chaînes macromoléculaires sont à la base des bonnes propriétés des fibres cellulosiques

Du point de vue mécanique, la cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, environ 136 GPa à comparer aux 75 GPa de la fibre de verre. Cette rigidité provient de la structure cristalline qui suit un agencement supramoléculaire hélicoïdal très ordonné. Lors d'une elongation des fibres, il se produit un couplage torsion/traction qui peut avoir des conséquences sur l'interface, sur la déformation ou sur les mécanismes de rupture d'un composite.

Du point de vue thermique, la plupart des fibres naturelles perdent de leur rigidité dès 160°C et on voit la lignine se dégrader aux alentours de 200°C. **Stamm**13 a observé des effets irréversibles comme le changement de viscosité, l'augmentation de la dégradation avec l'oxydation. Néanmoins, la destruction de l'ordre cristallin n'apparaît qu'au-dessus de 320°C par agitation thermique des molécules

Le Tableau.8 regroupe les principales propriétés de différentes fibres naturelles. La dispersion de ces propriétés y compris du point de vue morphologique dépend de la variabilité des fibres.

Cela provient essentiellement des conditions climatiques et de la nature du procédé de récolte. D'un point de vue mécanique, les fibres de chanvre, lin et kenaf possèdent un haut module d'élasticité comparées aux autres fibres d'origine naturelle et une déformation à la rupture de même ordre de grandeur. De plus, ces mêmes fibres (chanvre, lin et kenaf) présentent un module d'Young du même ordre de grandeur que celui des fibres de verre et une déformation à la rupture moins importante ce qui en fait de bons candidats comme renforts fibreux.

**Tableau.8** : Caractéristiques des fibres naturelles (37)

<b>Fibres</b>	<b>Diamètre</b>	<b>Facteur de</b>	<b>Module de</b>	<b>Déformation</b>
	<i>(<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<b>forme (U/d)</b>	<b>traction (GPa)</b>	<b>maximale (%)</b>
<b>Coton</b>	12-25	2000	6-10	6-8
<b>Lin</b>	12-30	1500	50-70	1,3-3,3
<b>Chanvre</b>	16-50	550-960	30-60	1,7-2,7
<b>Kenaf</b>	14-33	-	60	1,7-2,1
<b>Jute</b>	5-25	110	20-55	1,5-2
<b>Sisal</b>	100-400	100	9-22	3-14
<b>Banane</b>	50-250	-	7-20	1,8-3,5
<b>Abaca</b>	50-280	-	-	2,1-2,4
<b>Pour mémoire</b>				
<b>Verre E (filament)</b>	-	-	72-73	4,6-4,8

Le deuxième constituant d'un matériau composite étant une matrice polymère, nous nous proposons de présenter quelques généralités sur ces matériaux plastiques.

## **8.Fibres végétales de Cynodondactylon L. Pers.**

### **8.1.Classification systématique**

Classe : monocotyledones

Ordre : poales

Famille : poaceae

Sous Famille : poideae

Genre : Cynodon

Espèce : dactylon

Nom vernaculaire : fandrotrarana

### **8.2.Caractères morphologiques**

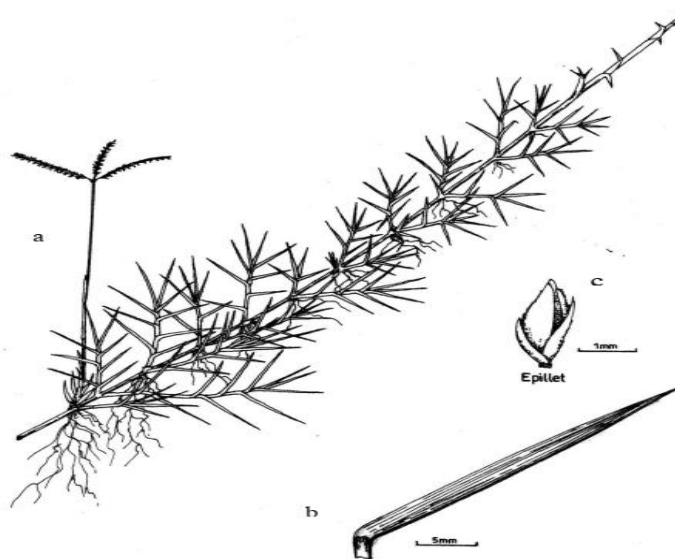
Herbe pérenne, gazonnante, en général stolonifère et rhizomateuse, à chaumes et à stolons dressés (Figure.18 et Figure. 19) ; chaumes florifères atteignant 40 cm de haut. Feuilles glabres ou plus ou moins pileuses, parfois très pileuses. Limbes linéaires, plans ou pliés et

enroulés, de 1,5-10cm de long et 2-5mm de large. Ligule représentée par un bourrelet densément ciliolé.

Inflorescence de 3-7 épis digités ou subdigités. Epis assez rigides, de 2-6cm de long. Epillet de 2-3mm de long, à glumes subégales, de longueur variable, le plus souvent plus long que la moitié de l'épillet ; lemna aiguë au sommet et mutique, parfois munie d'un très court mucron ; Rachéoleprolongée, atteignant la moitié de la longueur de l'épillet ou plus.



**Figure. 18:**Tapis de Cynodondactylon



**Figure. 19 :**Cynodondactylon (POACEAE).

a. Appareil végétatif ; b. Base d'un limbe et ligule ; c. Epillet.

Auteur du dessin : RAJAONARIVELO A.

### Origine biogéographique

Très répandue à Madagascar, c'est une espèce cosmopolite de climat chaud ou tempéré, pouvant s'adapter à des milieux très divers et de ce fait très polymorphe. A Madagascar, on la rencontre dans différents domaines, surtout sur les plateaux de centre. Elle occupe en général des terrains moyennement frais, des alluvions, des colluvions humides, des diguettes et des jachères de rizières.



**Figure. 20:**Cynodactylon L.

### 8.3.Profil cultural

Le profil cultural de Cynodactylon, présentée sur la photo n° 19 montre une fixation racinaire forte, abondantes et droites. Le sol est de couleur très sombre, indiquant une forte teneur en matière organique. Il ne laisse aucune trace de semelle de labour, indiquant un sol cultivable.

Avec l'abondance des espèces de macrofaune du sol trouvés sur place durant la réalisation du profil, on peut dire que le sol sous Cynodactylon présente une bonne activité biologique.

Donc, après une couverture végétale de Cynodactylon, on peut installer directement une culture principale.

### 8.4. Caractéristiques physiques et pédologiques

Le relevé a été réalisé dans la localité d' Ankepaka à Manakara. La formation végétale rencontrée est une jachère. Le Tableau .9résume les caractéristiques du site de.

**Tableau .9:** Mesures de biomasse (période de pluie et période sèche)

Paramètres	Caractéristiques du site
Coordonnées géographiques	- longitude Est : 047°49'36.7''- latitude Sud : 22°12'10.2''
Altitude	23m

Exposition	Ouest
Orientation	Ouest – Est
Type de sol	Sol à structure fragmentaire et à texture limono argileuse
Pente	Nulle

**8.5. Caractéristiques floristiques**

5 espèces appartenant à 5 genres et à 3 familles sont présentes dans la zone de relevé. Trois espèces sont des chaméphytes et deux hémicryptophytes. L'espèce la plus abondante et également dominante est Cynodondactylon.

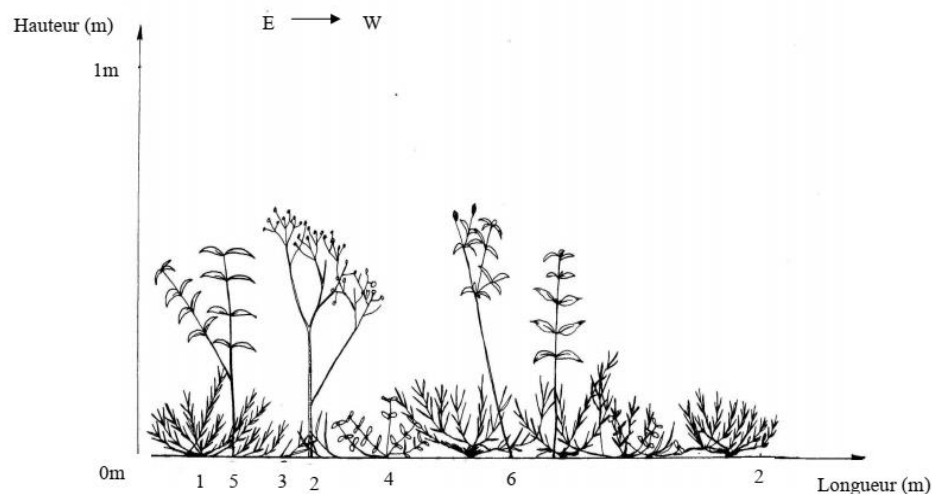
Le Tableau.10 résume la répartition des taxa ainsi que le type biologique de chaque espèce présente dans la zone du relevé.

**Tableau.10:**répartition des taxa des espèces recensées dans la zone de relevé

Embranchement	Classe	Famille	genre	Espèce	Type biologique
ANGIOSPERMES	MONOCOTYLEDONES	POACEAE	Cynodon	dactylon	Hemicryptophytes
			Paspalum	conjugatum	
	DYCOTYLEDONS	ASTERACEAE	Bidens	pilosa	Chaméphytes
			Erigeron	naudinii	
			Altenathera	sessilis	

### 8.6. Profil structural de la jachère à Cynodondactylon

La Figure. 21 représente le profil schématique de la jachère à Cynodondactylon. Il n'existe pas de strates bien définies, mais, le niveau maximal de concentration des feuillages se situe entre 0cm et 10cm. C'est donc une formation herbacée basse. Cette plante forme un tapis végétal de moins de 10cm. Recouvrement : 60%, ce qui indique que l'espèce est dominante



1. Cynodondactylon 2. Erigeron naudinii 3. Paspalum conjugatum  
4. Alternanthera sessilis 5. Bidens pilosa

**Figure. 21:** Profil schématique de la jachère à Cynodondactylon

### 8.7. Conclusion partielle

Cynodondactylon peut assurer plusieurs rôles d'une plante de couverture :

- Elle est pérenne
- Elle peut fournir une quantité importante en matières organiques pour le sol.

Elle sert également de fourrage pour les animaux. Donc, elle remplit la fonction alimentaire d'une plante de couverture. est une plante fourragère- Avec un taux de recouvrement très élevé, cette plante protège le sol, en empêchant les autres plantes indésirables de se développer. Donc, Cynodondactylon assure les rôles de contrôle des adventices et d'écran protecteur d'une plante de couverture.

- Elle possède de fortes et abondantes racines pouvant retenir les couches arables du sol, puiser des éléments minéraux lessivés ainsi qu'une réserve d'eau dans le sol. Donc, elle assure à la fois la fonction culture du sol et la fonction recycleuse d'une plante de couverture.
- En donnant une biomasse importante qui va se décomposer par la suite, les activités biologiques du sol s'améliorent. Donc, elle assure les fonctions restructurant et recharge en

carbone.

Parmi les 9 principales fonctions d'une plante de couverture, cette plante en possède 8. Même si elle ne possède pas une racine longue et pivotante pouvant décompacter le sol en profondeur, elle peut être utilisée comme une plante de couverture.

**Références bibliographiques:**

- [1] BLEDZKI, A. K and GASSAN. J, Composites reinforced with cellulose based fibers, ELSEVIER, Progress in polymère science, volume 24, pp.221-274, 1999
- [2] Kurek.B, les fibres naturelles: originalité. propriétés. qualités et défauts journal technique de matériaux renforcés par fibres naturelles, Bellignat (France), 2006.
- [3] D.G.Hepworth, the manufacture and mechanical testing of thermosetting naturel fibre composites, journal of materials science, 2000.
- [4] Fogtdal, Autour du fil, l'encyclopédie des arts textiles, paris, 1990.
- [5] [Oleson.p, perspectives on the performance of naturel plant fibres, plant fibre laboratory, 2003
- [6] Baley.C, fibres naturelles de renfort pour matériaux composites, AM6(AM5130) :P1-12, 2004
- [7] Da.Silva, Etat de la connaissances scientifiques sur les fibres végétales, FRD (fibres Recherché développement), Troyes, P90, 2008
- [8] SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S, Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers, The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13 N°1, 1984
- [9] COUTTS, R.S.P, Flax fibers as a reinforcement in cement mortar ?, the international journal of cement composites and lightweight concrete, vol.5 N°4, pp 257-262, 1983
- [10] KRIKER. A, Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec, Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005]
- [11]- FADEL A., 2014. Influence des diverses modifications du genêt d'Espagne sur les propriétés mécaniques, rhéologiques et thermiques de composites à matrice thermoplastique .Mémoire de magister. Université Sétif-1.106P
- [12]- BOURAHLI M.E.H., 2014. Caractérisation d'un composite verre / époxy. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas-Sétif 1.137P
- [13]- EDWIGE P., 2013. Matériaux ligno-cellulosiques' élaboration et caractérisation'. Ecole nationale supérieure des mines de paris.166P
- [14]- BEN'MBAREK.T., 2011. Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites bois/plastique 'WPC'. Thèse de docteur de l'université de Pau et des pays de l'Adour. Ecole doctorale des sciences exactes et de leurs

- applications éd 211.167P[15]-ABIR MAHFOUD., 2013. Etude de la production et de la caractérisation de composites bois-plastiques. Université Laval Québec, Canada. 101P
- [16]-BELOUADAH Z., 2017.contribution à l'étude d'endommagement et du comportement mécanique des matériaux composites renforcés par des fibres végétales existantes dans la région du Hodna. Thèse de doctorat. Université mouloud mammeri.p18-44.
- [17]-SEDAN D., 2007. Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite. Thèse de Doctorat de l'université de limoges.129P
- [18]- RAGOUBI M., 2010. Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne. Thèse de doctorat. L'université Henri Poincaré Nancy 1.186P
- [19]- (Batra, 2006;Hourdet et Muller, 1991).
- [20]- (Rihoueyetal., 1995
- [21]- (Davis et al., 1990
- [22]- Sedan, 2007)
- [23]- Kalia, S., Kaith, B.S ., Kaur, 1. (2011). Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites: Green Chemistry and Technology. (p. 8-87). Springer Heidelberg. London.
- [24]- Totolin, M.I., Cazacu, G., Vasile, C. Cellulosic materials modification by physical and chemical methods. Fine Structure of Papermaking Fibres, The Final Report of COST Action E54, Belgium, P: 27-38.
- [25]- - David, N., Hon, S. (1996). Chemical Modification of Lignocellulosic Materials, (p. [26]- 107). Marcel Dekker, USA.
- [27]- Van de Ven, T., Godbout, L. (2013). Cellulose-Medical, Pharmaceutical and Electronic Applications, (Chapitre 8, 001: 10.5772/56637). InTech.
- [28]- Mishra, S.P. (2000). A Text Book ofFibre Science and Technology, (p. 59-61). New Age International Publishers. India.
- [29]- Hakeem, K.R., Jawaid, M., Rashid, U. (2014). Biomass and Bioenergy: Applications, (p. 178-207). Springer International Publishing. Switzerland.
- [30]- Krassig, H.A. (1993). Cellulose: structure, Accessibility and Reactivity, (p. 206-213). Gordon and Breach Science Publishers. Netherlands.[31]- Pandey, A. (2008). Handbook ofPlant-Based Biofuels, (p. 127). CRC Press. USA.68- Burehard, W. (2003). Solubility and solution structure of cellulose derivatives.Cellulose, 10(3), 213-225
- [32]- Sjostrom, E. (2013). Wood chemistry: fundamentals and applications, (p. 206, 207). Academic press, Inc. United Kingdom

[33] Selon Sedan9, 2007

[34] SelonBledzkietGassan 3, 1999

[35] Journal of Animal &Plant Sciences, 2013. Publication date 28/2/2013 Vol.17, Issue 1:  
2388-2411 , <http://www.m.elewa.org/JAPS>; ISSN 2071-7024

# Chapitre III

## Techniques expérimentales



### **Siege de stage**

#### **Maghreb PIPE Industrie**

L'usine Maghreb Pipe Industries est la référence nationale pour la fabrication des systèmes de canalisation en PRV (polyester renforcé de fibre de verre). Les procédés de fabrication utilisés par Maghreb Pipe Industries font appel aux dernières technologies appliquant les normes et les standards les plus stricts.

#### **Ce quoi le PRV ?**

##### **Compositions :**

Les principales matières premières utilisées pour la fabrication des systèmes de canalisation en PRV sont la résine, la fibre de verre et sable siliceux. Maghreb Pipe Industries emploie habituellement trois types de résine :

- Polyester isophtalique
- Polyester orthophtalique
- Vinylester Les résines présentent plusieurs caractéristiques intéressantes telles que :
- Durcissement à température ambiante
- Propriétés mécaniques élevées
- Inertie chimique

Liaison très forte avec les fibres de verre.

La résine isophtalique et la résine orthophtalique ont une température de service maximum de 50° C environ. La résine d'ester de vinyle (Vinylester) combine une inertie chimique très bonne et des propriétés des résines sont mesurées chaque fois qu'il est nécessaire groupe simple selon le contrôle interne de Maghreb Pipe industries et le plan d'inspection

##### **Avantages du PRV**

- Résistance à la corrosion
- Rapport résistance-poids
- Propriétés électriques
- Stabilité dimensionnelle
- Un matériau flexible
- Résistance chimique

## Résine Polyester Isophtalique

Tableau .11 : caractéristique de résine isophtalique.

CARACT RISTIQUES	PROCEDURE STANDARD	UNITE	VALEUR	TOLE-RANCE
Masse spécifique du liquide à 25°C	ASTM D1298	gr/cu.cm	1.06	±0.02
Masse spécifique du solide à 25°C	ASTM D792	gr/cu.cm	1.06	±0.02
Viscosité à 25°C	ASTM D2393	MPa*sec	400	±100(a)
Temps de gel	ASTM D2471	min	7	±3(b)
Temps du pic de gel	ASTM D2471	min	15	±3(b)
Température de pic	ASTM D2471	C°	170	±15(b)
Indice d'acidité	ASTM D1639	mgKOH/gr	17	±3
Teneur en styrène		%poids	41	±2
Retrait volumique	ASTM D2566	%	9	±0.5
Transition vitreuse	ASTM D3418	C°	130	±10
H.D.T.	ASTM D648	C°	93	±20(c)
Dureté Barcol	ASTM D2583	°Barcol	40	±5
Résistance à la traction	ASTM D638	MPa	63	±10
Module de traction	ASTM D638	MPa	3.100	±100(d)
Allongement à la rupture	ASTM D638	%	6.5	±0.5(d)
Résistance à la flexion	ASTM D790	MPa	90	±10
Module de flexion	ASTM D790	MPa	3.900	± 1005(d)
Absorption d'eau	ASTM D570	poids	0.9	/

dans ce chapitre les différents matériaux étudiés sont présentés ainsi que les techniques expérimentales et d'analyses Dans le cadre de notre travail, type de composite :le composite polyester renforce par des fibres naturelles des cynodondactylon

**1. Matériaux utilisés :**

Les matériaux utilisés dans cette étude sont:

- Fibres cynodon dactylone (non traitées et traitées à la soude à des concentrations (1 %, 3 %, 6 % et 9 %) et à deux temps différents (2 et 4 heures).
- Résine polyester insaturée.
- L'hydroxyde de sodium
- L'acide acétique
- La phénolphtaléine

**1-1 Fibres cynodon dactylone**

Herbe pérenne, gazonnante, en général stolonifère et rhizomateuse, à chaumes et à stolons dressés (Figure.22) ; chaumes florifères atteignant 40 cm de haut. Feuilles glabres ou plus ou moins pileuses, parfois très pileuses. Limbes linéaires, plans ou pliés et enroulés, de 1,5-10cm de long et 2-5mm de large. Ligule représentée par un bourrelet densément ciliolé.

Inflorescence de 3-7 épis digités ou subdigités. Epis assez rigides, de 2-6cm de long. Epillet de 2-3mm de long, à glumes subégales, de longueur variable, le plus souvent plus long que la moitié de l'épillet ; lemna aiguë au sommet et mutique, parfois munie d'un très court mucron ; Rachéole prolongée, atteignant la moitié de la longueur de l'épillet ou plus. Dans notre étude la fibre cynodon dactylone utilisée provient de Wilaya Msila .



**Figure .22:**cynodon dactylone utilisée provient de Wilaya Msila

**1-2 Résine:**

Les résines polyester s'adaptent bien à la transformation des composites à usage naval et présentent les propriétés générales suivantes : une bonne facilité de mise en œuvre de la résine liquide (imprégnation des renforts), une copolymérisation rapide par rapport aux époxydes, de bonnes propriétés mécaniques et isolantes, et peuvent aussi être colorées. La réaction est exothermique et la résine passe successivement de l'état liquide à l'état de gel puis à l'état de solide infusible (Figure .23). La température de la résine augmente à partir du point de gel pour atteindre un maximum (entre 80 et 130°C) et redescend ensuite à température ambiante.

Le point important de la copolymérisation est le temps de mise en œuvre qui correspond au temps de transformation de la résine avant qu'elle ne se gélifie [3].

La résine polyester insaturée c'est la résine la plus utilisée dans l'élaboration des matériaux composites. On trouve deux types de résine polyester :

- Polyester insaturée isophtalique.
- Polyester orthophtalique.

Dans notre cas, nous avons utilisé la résine polyester isophtalique vu sa bonne aptitude à résister [3]



**Figure .23:**Résine polyester insaturée

**a. Test de propriété rhéologique de la résine :**

Ce test consiste à mesurer la viscosité de la résine isophtalique utilisant un dispositif de mesure de la viscosité. L'essai est effectué sur un échantillon de résine prise dans les conditions de température ambiante de mise en œuvre. Ce paramètre est indispensable pour contrôler les propriétés de mouillabilité de la résine. Il est très sensible à la température  
Viscosité mesurée : 335CPa.s. •



**Figure .24:** Appareil pour la mesure de la viscosité.

**b. Test de réactivité (temps de gélification):**

Le test de réactivité consiste à déterminer le temps de gel de la résine. Le taux de l'accélérateur et du catalyseur est choisi de manière à avoir un temps de gel suffisant pour la préparation et le moulage des éprouvettes . Les images de la figure & le montrent

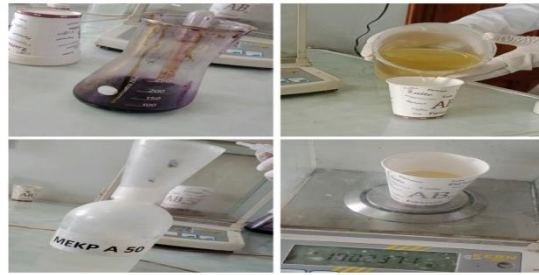


Figure .25: Les étapes du processus de Test de réactivité



Figure. 26: temps de gélification la résine

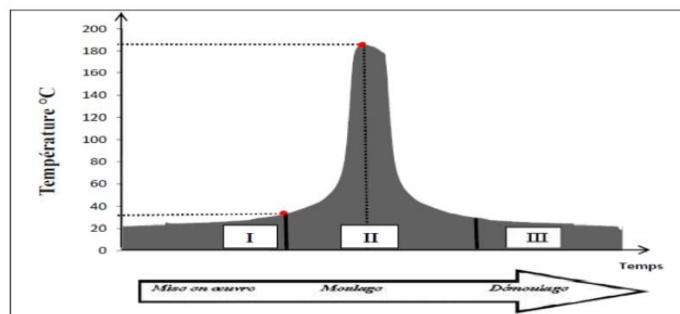


Figure .27 : Cycle de polymérisation de résine polyester (isophtalique)

**c. Propriétés de résine isophtalique:**

Excellentes propriétés mécaniques. HDT haut.

- Longévité exceptionnelle.
- Les caractéristiques de cette résine sont présentées par le Tableau .12

**Tableau .12:** Propriétés mécaniques de la résine isophtalique.

	Moduled'Young (GPa)	Contraîne de rupture (MPa)	Allongement à rupture(%)
Résine isophtalique.	1,3-1,4	40-50	1,2-1,8

**1-3 L'hydroxyde de sodium :**

Formule chimique NaOH

M = 40 g·mol<sup>-1</sup> :

Etat et couleur: solide de formes variables, blanc

**1-4 L'acide acétique**

Formule chimique:  $C_2H_4O_2$

M = 60.04 g/mol

Etat et couleur: liquide incolore

Densité (à 20°C) : 1.0480 à 1.051

**1-5 La phénolphtaléine**

Masse molaire : 362,28 g/mol

Formule :  $C_{20}H_{14}O_4$

Nom IUPAC: 3,3-bis (4-hydroxyphényl)-2benzofuran-1(3H)-one

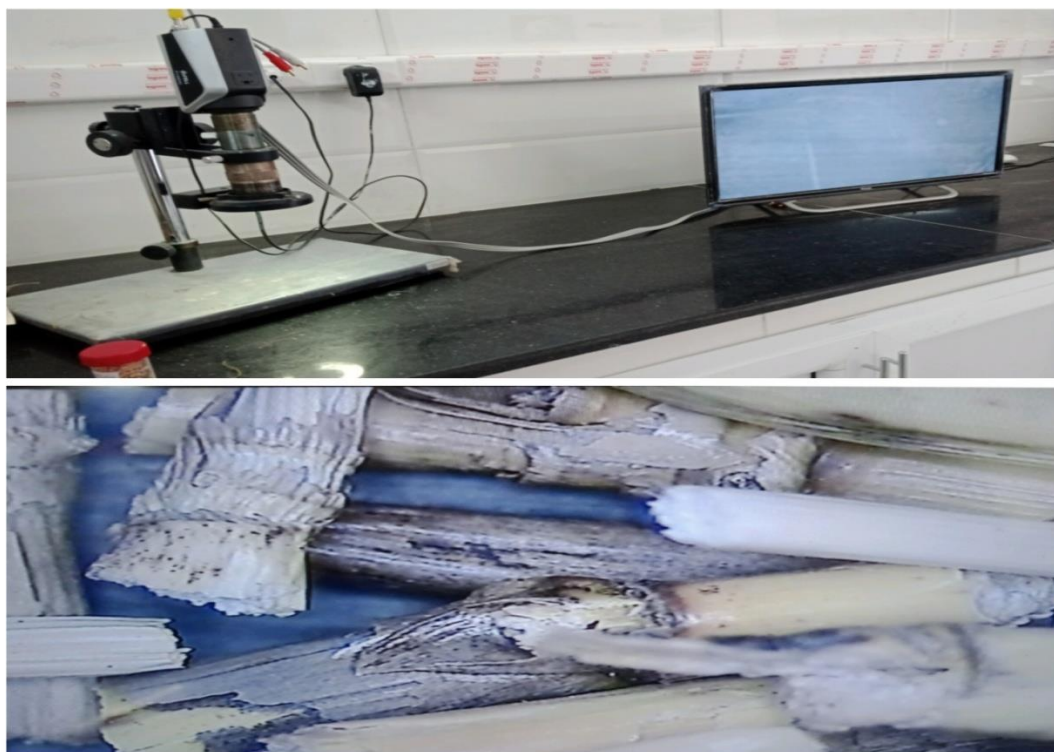
Densité : 1,300 g/cm<sup>3</sup>

Etat et couleur: cristaux blancs

Point de fusion : 258 à 263 °C

**2.Traitement de Cynodon Dactylone**

Le but de cette étude est de développer et caractériser les défauts de la plante de cynodon dactylone La principale chose à laquelle on est confronté est l'incompatibilité entre la charge de la nature polaire Polymère non polaire hydrophile et imperméable. Pour pallier cet inconvénient, le La surface de la charge de cynodon dactylone a été chimiquement altérée par un traitement alcalin par une solution d'hydroxyde de sodium à une concentration (1%, 3%, 6% et 9%) et un temps de 4;2 heures



**Figure .28:** Une photo des fibres cynodon dactylone avec la loupe est en haut de la photo

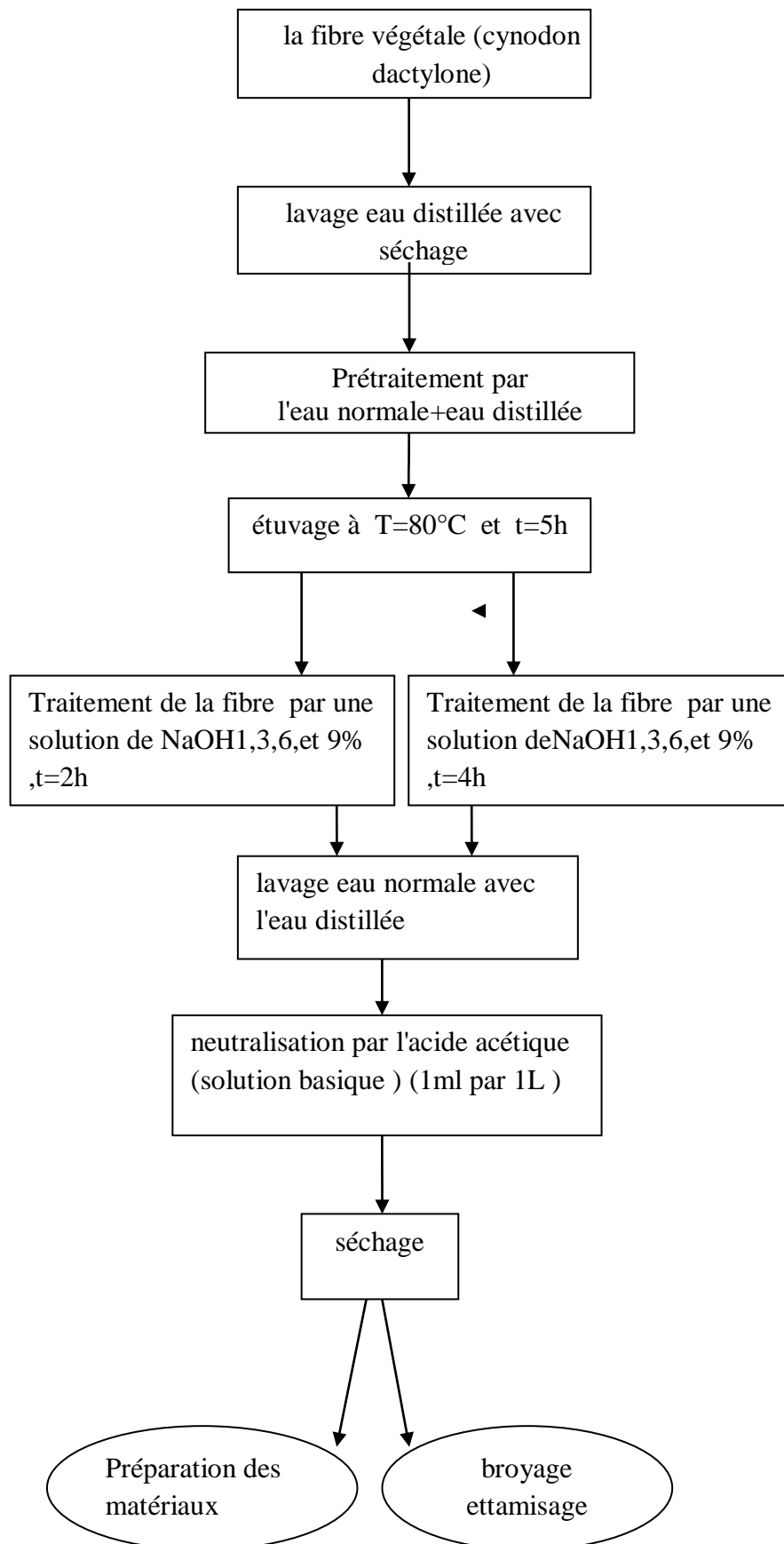


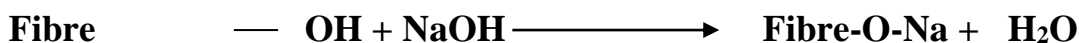
Figure .29: Plan de travail expérimental

Afin de pouvoir travailler sans confondre les échantillons, nous avons utilisé le codage suivante:

**C00**:cynodon dactylone non traité

**Cxy**: C:cynodondactylone , x: concentrations NaOH , y: temps

### 3 .Traitement alcalin par NaOH



**Figure .30**: Principe de traitement d'une fibre cellulosique avec de la soude

#### Mode Opérateur :

Les fibres de cynodon dactylone été immergée dans une solution de NaOH à une concentration de 1,3,6 et 9%, pendant (2,4 h) et à la température ambiante. Ensuite, les fibres ont été lavées complètement avec de l'eau pour enlever l'excès du NaOH. Puis elle a été immergée dans une solution d'acide acétique, avec agitation pendant 3 minutes et après 3eme rinçage avec l'eau distillée et ajouter 2 gouttes phénol phtaléine (coloration rose indique la présence de NaOH).sécher les échantillons a la température ambiante pendant 24 heures .Enfin sécher les échantillons dans l'étuve à 80 C° pendant 5 heures.

Broyage d'une quantité d'échantillons par un moulin à café dans la forme, et les tamiser avec un chiffon fin.



**Figure .31**:Tremper les fibres de Cynodon Dactylone dans une solution d'hydroxyde de sodium

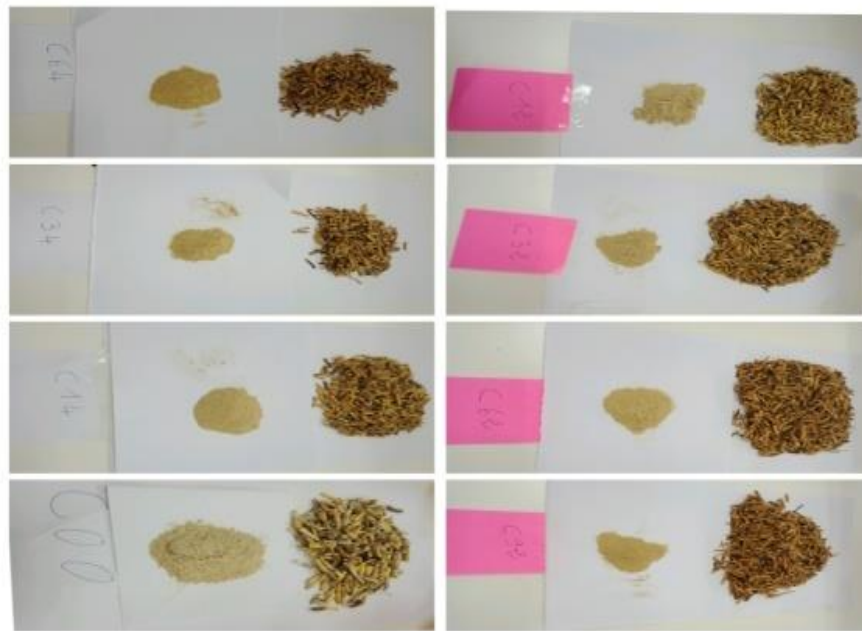


Figure.32 : Fibre avant et après broyage

#### 4 .Elaboration des composites:

##### 1.Préparation des composés:

Dans cette partie les figures représenteront des travaux expérimentaux :

Après séchage de tous les échantillons traités, nous avons divisé les échantillons (fibres) selon les moules, et leur poids est de 12,21 g pour chaque rangée de moule pour être le poids approuvé pour tous les échantillons existants.

##### 2.Préparation de la résine:

Prélever une quantité de résine (50 g) selon la masse de l'échantillon decynodon dactylone12.21 et ajouter jusqu'à 1 du catalyseur A50 et agiter pendant 10 minutes puis mettre directement dans le moule avec des rehausseurs de surface



A- la résine

B- catalyseur A50

Figure .34: Préparation de la résine

### 3. Préparation des matériaux composites:

Nous prenons des moules en bois, chaque moule est divisé en parties, la taille de chaque partie est  $12 * 2 * 1,5$  cm . Tapisser les moules de graisse.

On met dans les moules après avoir coulé la résine sur les fibre de cynodon dactylone si Ci-dessus explique plus.

Pendant 24 heures de temps de séchage, le composé est ensuite élevé pour tracer les échantillons à tester



**Figure .35 :**Préparation des matériaux composites

### 4 .Essai de flexion:

Les essais de flexion trois points sont effectués à température ambiante sur des échantillons élaborés suivant la norme ISO 178 qui précise les dimensions de l'éprouvette, la distance L entre les appuis et la vitesse d'essai. Figure.36Clarifie comment fait l'essai de flexion sur une éprouvette (IP/luffa). Le principe de cet essai est de mesurer un déplacement (flèche « y ») à partir d'un effort (F) placé au milieu de deux appuis. Des relations issues de la résistance des matériaux permettent de faire le lien entre ces deux grandeurs (y et F), la géométrie de la pièce (L, h et b) et les caractéristiques du matériau ( $\sigma$ ,  $\epsilon$  et E). L'éprouvette parallélépipédique, supportée comme une poutre, est soumise à une flexion, au milieu de la portée (flexion 3 trois points), à une vitesse constante 5KN, jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Les appuis de flexiomètre sont de forme Hémisphérique de diamètre 36 mm pour les deux appuis inférieurs et 11 mm pour le poinçon.



Figure .36 :Test de flexion avec des l'éprouvette

## 5 .L'appareillage:

### 1.L'essai spectrométrique (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier IRTF)

Pour appliquer cette technique dans le cas d'échantillons solides, il est nécessaire, au préalable, une quantité de farine finement broyé (traitées ou non). La spectroscopie IR est une des méthodes les plus efficaces pour l'identification propriétés vibrationnelles. En effet, le rayonnement IR, excite des modes de vibration des molécules organiques et inorganiques à partir de leur (déformation, élongation) spécifiques de liaisons chimiques. Les différents spectres montrant la transmittance(%) en fonction du nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ ) ont été obtenus Pour la poudre brute, non traitée et traitée



Figure.37:Appareil pour analyse IRTF

### Principe :

IRTF-RTA (angl. ATR-FTIR) Le nom de cette méthode d'analyse est « la spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier par une Réflexion Totale Atténuée » (angl. Attenuated Total Réflexion – Fourier TransformInfraRedspectroscopy). En général la spectroscopie infrarouge est très puissante et capable de déterminer les liaisons et les groupes fonctionnels dans un échantillon et ainsi sa composition. L'IRTF est une version de la spectroscopie infrarouge

classique qui capte le signal d'une autre façon, de sorte que les mesures sont faites plus rapidement.

Le spectromètre détecte ces absorptions d'énergie et enregistre la quantité absorbée pour chaque nombre d'onde correspondant. L'absorption d'énergie est ensuite transformée en une diminution de l'intensité du rayon infrarouge. Avec cette intensité et le nombre d'onde le spectre est constitué. Comme le spectre mesuré est celui de la combinaison air-échantillon, il faut également enregistrer le spectre de l'air. La soustraction de ces deux spectres donne celui de l'échantillon. Le spectre est analysé en identifiant les pics parce que chaque pic correspond à une liaison ou une configuration caractéristique. En combinant l'information de chaque pic, les composants différents d'un échantillon hétérogène peuvent être déterminés. La spectroscopie infrarouge est un moyen puissant pour des analyses qualitatives. Evidemment il existe également des inconvénients dont le fait qu'une analyse quantitative, c'est-à-dire la détermination des taux de chaque composant, est impossible. La spectroscopie infrarouge permet seulement de déterminer si un certain composant est présent ou absent dans un échantillon à base de la présence ou l'absence des pics correspondants. De cette façon il est possible de comparer deux échantillons. Si un des deux a un grand pic et le pic correspondant dans l'autre spectre est presque invisible, il est probable que le taux du composant considéré soit plus faible dans le deuxième échantillon. Un deuxième inconvénient de la spectroscopie infrarouge est que seulement certaines liaisons sont réactives sous un rayon infrarouge, parce qu'il faut un moment dipôle, c'est-à-dire une répartition des électrons asymétrique. Par contre, un avantage est qu'il ne faut pas travailler sous vide car l'oxygène et l'azote dans l'atmosphère ne possèdent pas un tel moment dipôle et n'absorbent ainsi pas de rayons infrarouges. Il est intéressant d'examiner les spectres de Luffa brute et des meilleures fibres parce que cela donne une idée de la composition.

## **2. Unité de diffraction des rayons X:**

X-diffraction des rayons X par diffraction des rayons Il est efficace et non – technique destructive pour l'analyse d'un matériau cristallin, tel qu'il fournit des informations sur les structures cristallines et des cristaux fantaisistes et directivité préférés et le reste des opérations de synthèse pour des matériaux tels que la taille cristalline taille de cristallite matériaux nanométriques Nanomatériaux matériaux courants et les constantes du réseau de diffraction Alblorah.qmm de X- rayons produits à partir de l'interférence X – ray unilatérale Longueur d'onde du matériau aux angles spécifiés d'un ensemble de niveaux cristallins du matériau échantillon, le faisceau pointu du matériau donnant une perception de la distribution des atomes dans les niveaux cristallins du brin. La radiographie est considérée comme une empreinte digitale pour diagnostiquer le matériau en comparant le diagramme de matériau échantillon avec la base

de données globale telle que ICDD (Centre international de données de diffraction). Ce processus de comparaison est réalisé à l'aide du logiciel X'PertHighscore, de la base de données inorganiques PDF +4 et du produit organique Pdf+4, qui inclut toutes les données de matériaux standard mises à jour. Jusqu'en 2009 X – dispositif de diffraction de \* la X'Pert de rayons est un type de PANalytical PRO modèle d'origine néerlandaise Phelps RPD 2009 (Figure IV.18)

Cette unité examine les différents types de matériel destinés aux étudiants de troisième cycle et aux chercheurs de la Faculté des sciences et autres collèges de l'université et d'autres universités et du secteur industriel.



**Figure. 38:**Diffraction des rayons X

### 3. Test flexion:

L'essai mécanique (flexion 3 points) est effectué à l'aide d'une machine Universel YL25 (Figure.39). Le banc d'essai est équipé de mors auto serrant et d'une cellule de force ayant une capacité de 5kN. Son pilotage se fait par le logiciel TESTESTENGTH qui permet à la fois de consigner les paramètres d'essais, d'acquérir et de traiter les données. La résistance à la flexion est évaluée selon la norme ISO-178 et revêt une importance «clinique ». Ce test permet de simuler certaines contraintes occlusales exercées sur les restaurations dans la cavité buccale. Dans les régions postérieures, les composites doivent être les plus résistants possibles pour supporter les forces masticatoires. Dans ces zones, il est indispensable d'utiliser un matériau ayant une résistance à la flexion élevée. Elle varie fortement entre les différentes familles de composites et au sein d'une même famille. D'une façon générale, les hybrides (médium ou compactables) ont une résistance à la flexion similaire et supérieure aux composites des autres familles. Néanmoins, certains micro chargés ou fluides peuvent avoir une résistance à la flexion équivalente ou supérieure aux hybrides, médium ou compactables.



Figure.39: Essai de flexion sur machine de flexion de type Zwick Force appliquée (F)

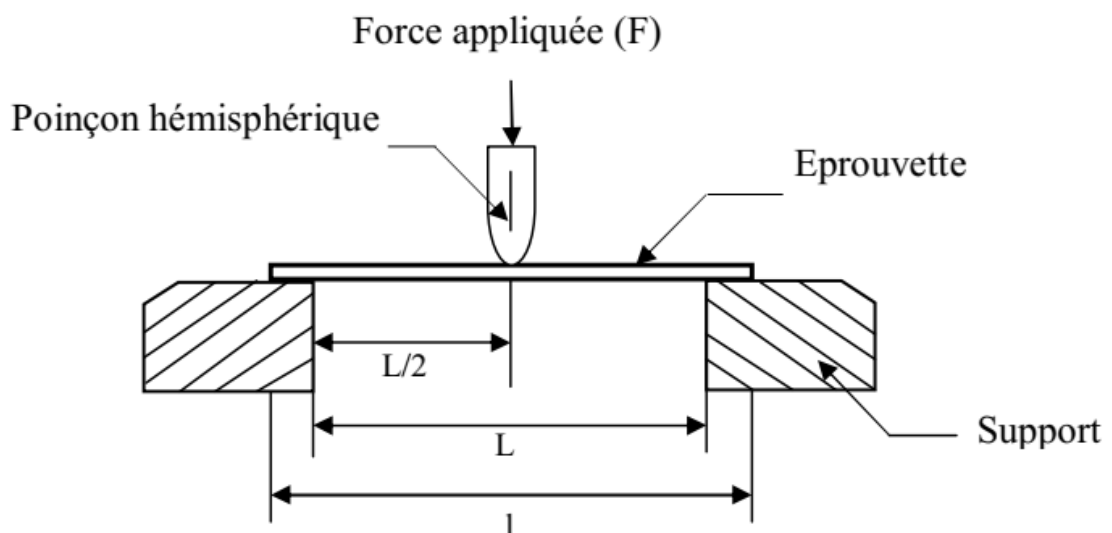


Figure.40: Principe de l'essai de flexion 3 points

Les différentes caractéristiques peuvent être estimées grâce aux relations ci-dessous, selon la norme ISO 14125:

$$E = \frac{L^3 * m}{4 * b * e^3} \dots\dots\dots(1)$$

$$\sigma = \frac{3 * F * L}{2 * b * e^2} \dots\dots\dots(2)$$

$$\epsilon = \frac{6 * e * y}{L^2} \dots\dots\dots(3)$$

Ou :

$\sigma_{max}$  : est la contrainte maximale en (N/mm<sup>2</sup>) ;

$\epsilon_{rup}$  : est la déformation à la rupture sans unité ;

E : est le module de YOUNG en (MPa) ;

y est la flèche en (mm) ;

b : largeur de l'éprouvette en (mm) ;

e : épaisseur de l'éprouvette en (mm) ;

L : est la distance entre appuis en (mm).

m:

# Chapitre IV

## Résultats et discussions

Les résultats obtenus à partir des différents tests effectués sont présentés et discutés dans ce classe. Nous avons étudié l'évolution de la structure cristalline (vitesse de cristallisation) en DRX, Propriétés structurelles par IRTF, et Propriétés mécaniques d'un matériau composite par flexion en fonction de la vitesse Fibres non traitées et traitées NaOH .

### **1. Analyse spectroscopique par infrarouge:**

#### **-Test (FTIR) de fibre cynodon dactylone avant traitement:**

En analysé structure de fibre de cynodon dactylone où l'on remarque une large bande dans les limites de 3384,8 cette bande remonte à groupe carboxylique caractérisé par polysaccharide , t une bande dans les limites 2854 cm et 2923 cm elle correspondent à cellulose+ Hémicellulose, et le groupe c-o élongation est en 1733,9 cm est indiqué l'existence de pectine+cellulose, on note aussi la présence d'une bande à 1637,5cm, cette dernière correspond à l'eau absorbée.la bande 1245,9 cm indique groupe c-o est signe de l'existence de Hémicellulose.les groupements carbonyle et carboxylique 1024,1 traduisent l'existence des cellulose.

#### **-Test (FTIR) de fibre cynodon dactylone après traitement:**

L'intérêt dans l'utilisation de l'infrarouge est de mesurer le degré de changement dans la composition de la surface des fibres après traitement.

D'après la courbe de la (Figure .41), (Figure .42), On observe une large bande ente 3000 cm et 3075 cm, cette bande est due principalement aux groupement OH caractérisation des polysaccharides.les bandes 2900 cm et 2875 cm correspondents successivement aux polysaccharides et des graisses, des groupement carbonyles C=O 1730 cm traduisent l'existence des hémicellulose et pectines.

Tableau .13: Vibration des groupes fonctionnels caractéristiques des fibres brutes étudiées.

Longueur d'onde (Cm-1)	Type de vibration	Source	Références
~3330	-OH élongation	Polysaccharides	De Rosa et al, 2010
~2918	-CH élongation	Cellulose, hémicellulose	Lopattananon et al, 2006 Terpáková et al, 2012
~2850	-CH élongation	Cellulose, hémicellulose	De Rosa et al, 2010
~1730	-C=O élongation	Pectines, hémicellulose	Oujai and Shanks, 2005
~1630	-OH	Eau	Gañãñ and Mondragon
~1513	-C=C aromatique, élongation symétrique	Lignine	Gañãñ and Mondragon
~1422	-CH <sub>2</sub>	Cellulose	De Rosa et al, 2010
~1367	-CH, CO aromatique	polysaccharides	De Rosa et al, 2010
~1318	-CH, CO aromatique	polysaccharides	De Rosa et al, 2010
	-OH déformation dans le plan	Cellulose	Terpáková et al, 2012
~1240	-C-O élongation	Hémicellulose	De Rosa et al, 2010
		Lignine	Sgriccia et al, 2008
~1160	Déformation anti symétrique de la liaison C-O-C	Cellulose	De Rosa et al, 2010
~1030	-CO, -OH élongation	Cellulose	De Rosa et al, 2010
~895	Elongation des liaisons $\beta$ - glucosidique des anneaux de glucose	Polysaccharides	Gañãñ and Mondragon
~660	-COOH déformation	Polysaccharides	Terpáková et al, 2012
~830	-CH aromatique : déformation hors plan	Lignine	Oujai and Shanks, 2005

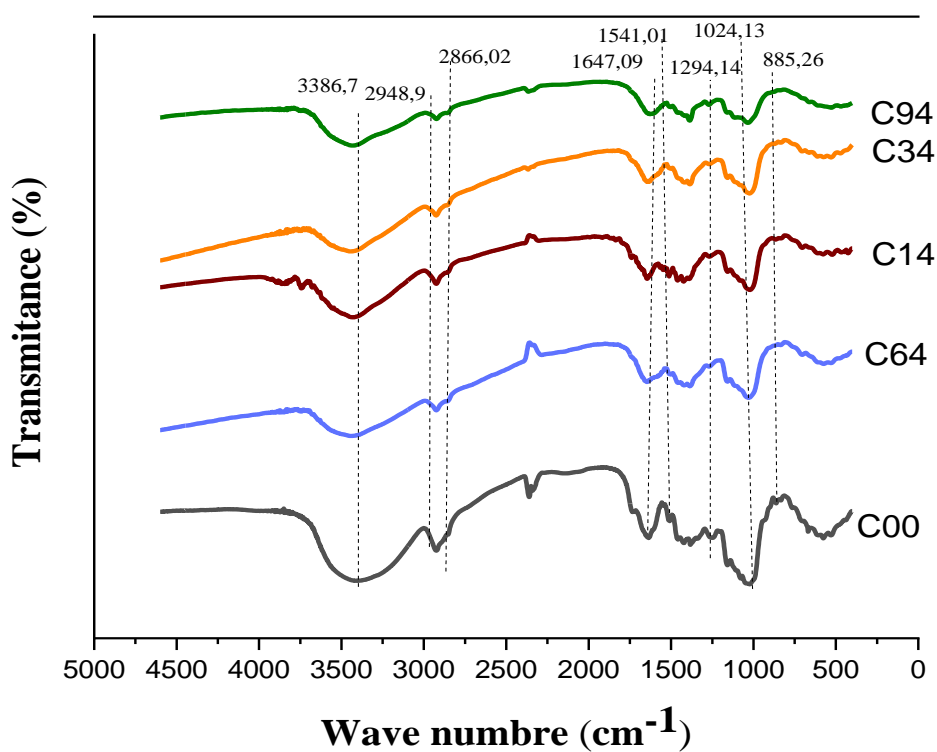
**-Etudier des effets du traitements NaOH:**

Les effets des traitements chimiques sur les fibres ont été analysées à l'aide de FTIR des fibres non traitées et alcalines (traité par NaOH) à différents concentrations.

La bande d'absorption autour de 3500 cm pourrait être due à l'élongation de O-H et elle est dans toutes les fibres, on remarque pour les fibres traitées que cette bande a une intensité faible et largeur de pic variable par rapport aux fibre non traitées. Cela indique le réduction de la liaison hydrogène dans les groupes hydroxyles cellulósique.

Le vibration d'élongation de C-H à 2900 cm est observée dans toutes les fibres non traitées et traitées, il s'avère qu'il diminue après des traitements chimiques.

Le pic à environ 1637 cm correspond à la vibration dz la liaison carbonyle C=O des hémicelluloses ce ci a peut être observé dans le fibre non traitée et n'est pas présent dans toutes les autres fibres ayant substituions un traitement ,cela confirme que les hémicellulose ont été enlevées pendant le traitement.



**Figure .41:**FTIR des fibres cynodon dactylon de 4h

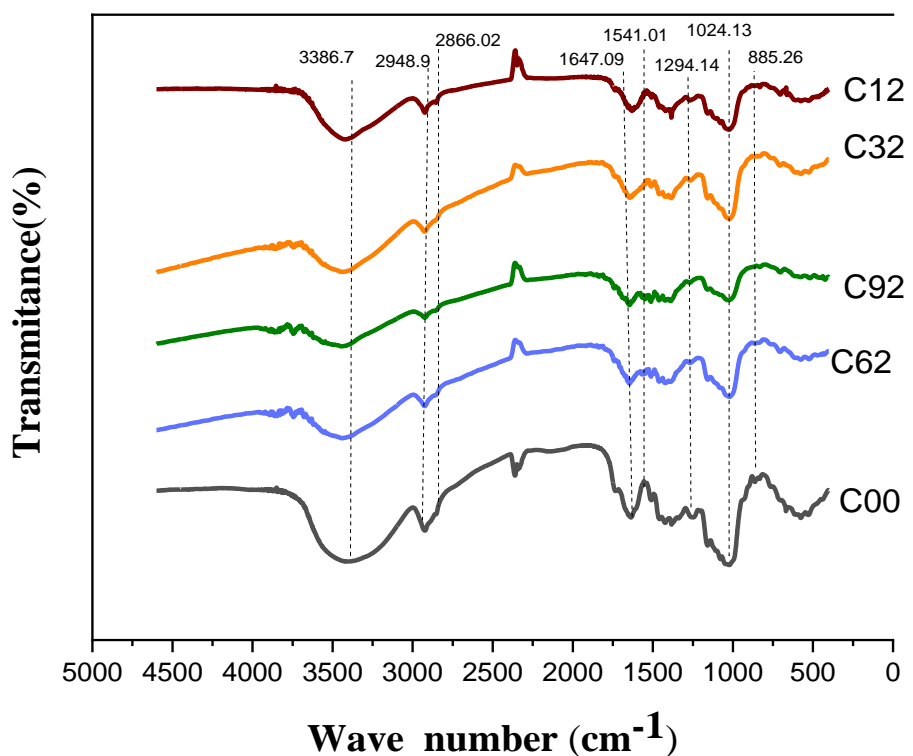


Figure .42 :FTIR des fibres cynodon dactylon de 2h

## 2 .Test de la machine à rayons X :DRX

Les rayons X (DRX) permettent d'étudier la structure cristalline des fibres végétales, on suppose que le résultat du traitement alcalin améliore le pourcentage de cristallisation de la cellulose dans la fibre Afin de le vérifier, nous avons testé les échantillons étudiés et calculé le coefficient de cristallisation(%CrI) sera rapporté de manière pour tous les échantillons étudiés

$$CrI = \frac{I_{002} - IAM}{I_{002}} * 100.....(4)$$

**I002:** Le niveau 002 distingue la phase cristalline et non cristalline.

**IAM:** Distingue les régions amorphes

A travers les courbes obtenues, le spectre de diffraction des rayons X dans le domaine étudié (10-70) tous les spectres Il contient deux impulsions, dont l'une est  $2\theta = 22,2^\circ$  représentant l'intensité maximale attribuée à la cellulose (phase cristalline et non cristalline), et l'impulsion  $2\theta = 17,5^\circ$  représente l'intensité minimale et est attribuée à l'hémicellulose et à la lignine (phase amorphe)

Le traitement alcalin conduit alors à une diminution de la quantité de substance non cristalline dans les fibres (dissolution d'hémicellulose, de graisses et de cires).

Augmente le degré de cristallisation

Grâce à la courbe représentée sur la Figure.43 , on peut en calculer le coefficient de cristallisation des fibres non traitées selon la relation(4) Le coefficient de cristallisation de C00 est de %. 29.629

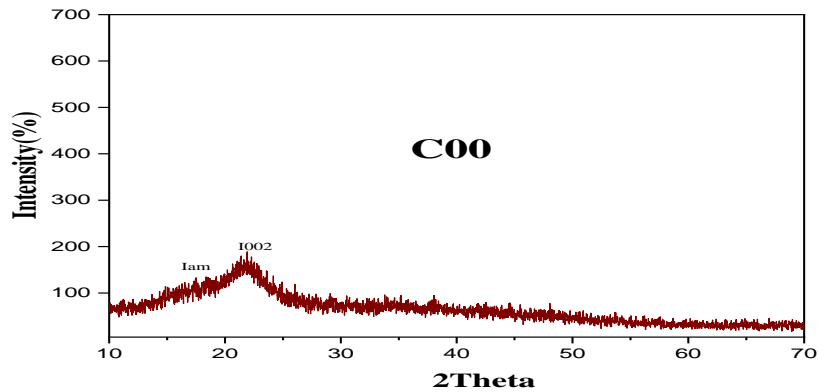


Figure.43 :Spectre de rayons X des fibres non traitées

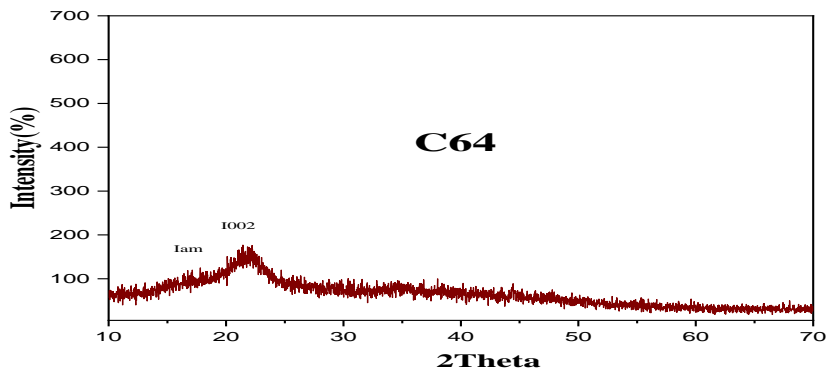


Figure.44 :Spectre de rayons X des fibres C64

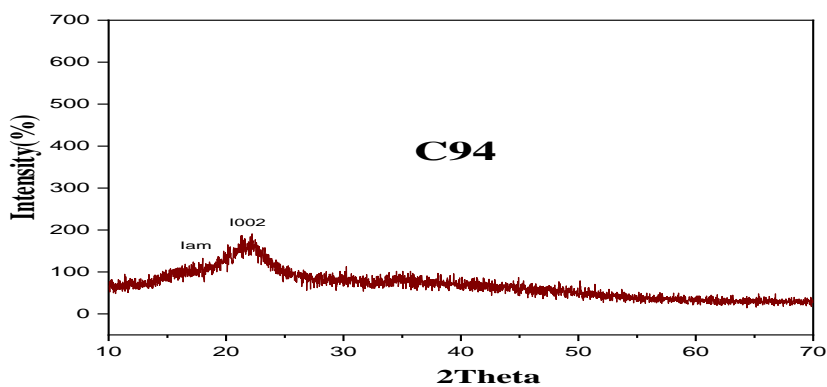


Figure.45 :Spectre de rayons X des fibres C94

Grâce aux courbes de rayons X de différentes concentrations et en adoptant la méthode SQL, les résultats suivants ont été obtenus, qui sont répertoriés dans le Tableau.14qui montre la différence dans le coefficient de cristallisation

Tableau.14:Module de cristallisation des fibres brutes et traitées

Echantillons	Iam	I002	CrI%
C00	133	189	29.629
C64	125	176	28.977
C94	133	191	30.366

D'après les courbes aux rayons X des fibres traitées avec différentes concentrations (%) 9,6 en poids à température constante (25°C et sur un temps fixe) (t=4 h) et l'a comparée aux fibres non traitées, en se basant sur le calcul du coefficient de cristallisation pour chacune d'elles, qui est montré dans Le tableau suivant (Tableau.14) Il s'avère que les meilleurs traitements étaient le C94, qui a un coefficient de cristallisation égal à 30,366 %, qui peut être Cela est dû à l'élimination de l'hémicellulose et de la lignine amorphe du DIS ainsi qu'au réarrangement des régions cristallines, ce qui améliore le degré de La cristallisation des fibres est cohérente avec les travaux publiés sur le traitement de diverses fibres végétales utilisées pour améliorer les propriétés mécaniques pour les matériaux composites.

### 3.Courbes de flexion

D'après les courbes (Figure46 ...54), on remarque que ces fibres ont un comportement non linéaire et se compose de trois parties. Le premier est linéaire élastique, puis la courbe contrainte-déformation rentre dans une phase non-linéaire, due selon les auteurs, au réarrangement des micro fibrilles. Enfin la dernière partie consiste en un plateau au cours duquel la contrainte n'augmente plus jusqu'à la rupture.

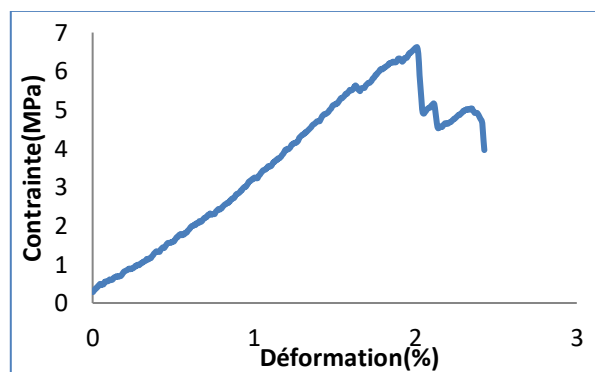


Figure.46: Courbe d'essai de flexion composite C00

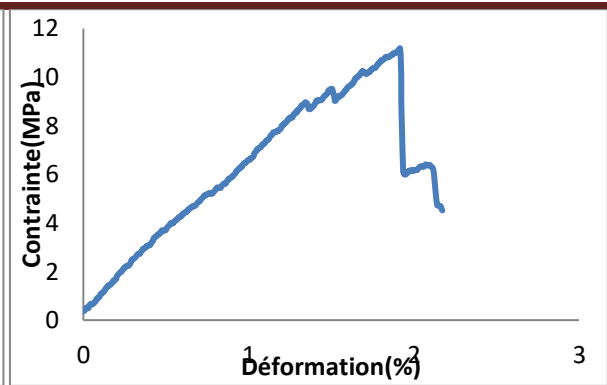
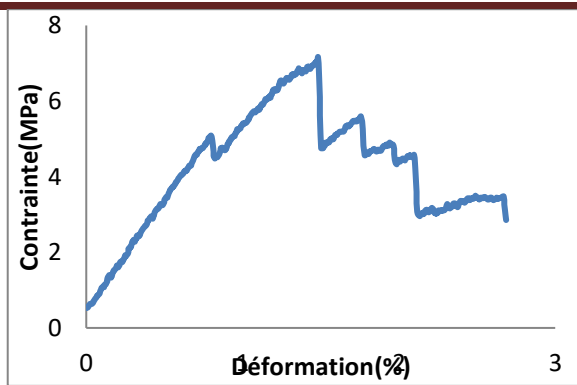


Figure.47: Courbe d'essai de flexion composite C12 Figure . 48 : Courbe d'essai de flexion composite C14

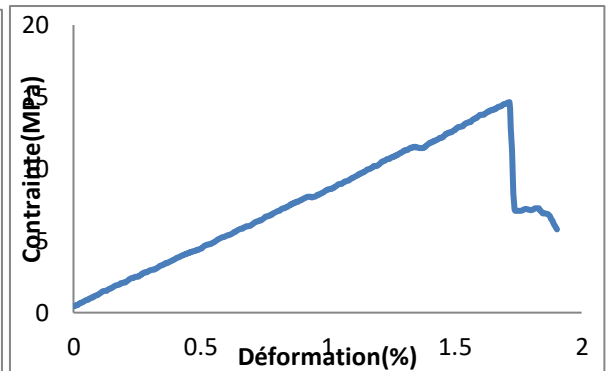
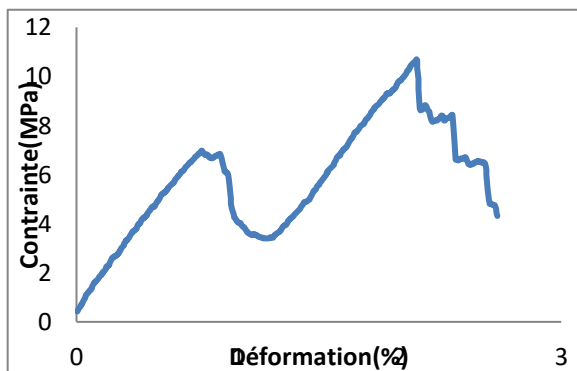


Figure . 49 : Courbe d'essai de flexion composite C32 Figure . 50 : Courbe d'essai de flexion composite C34

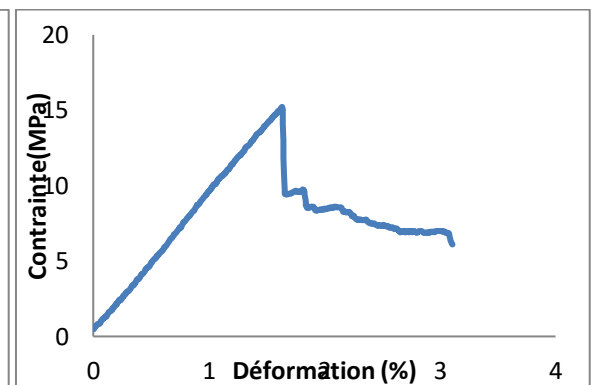
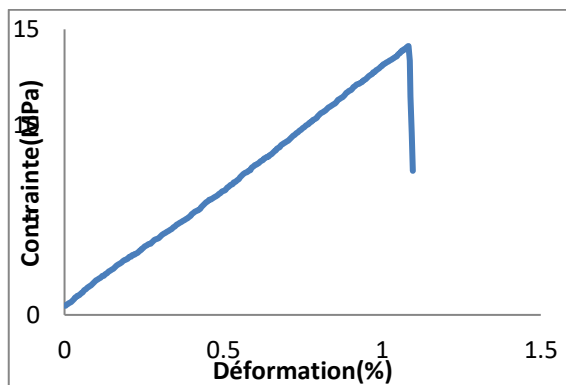


Figure . 51 : Courbe d'essai de flexion composite C62 Figure . 52 : Courbe d'essai de flexion composite C64

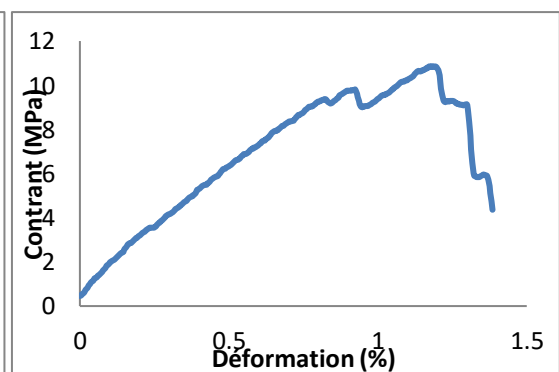
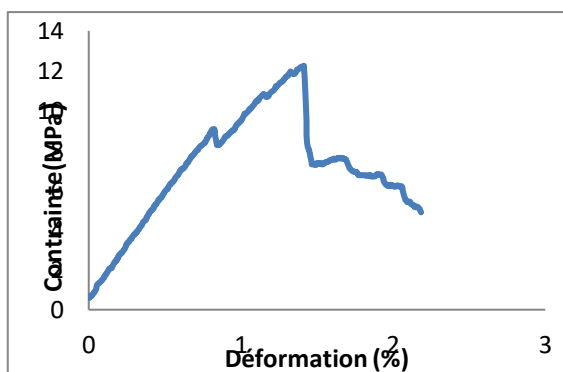


Figure . 53 : Courbe d'essai de flexion composite C92 Figure . 54 : Courbe d'essai de flexion composite C94

La (Figure.55 ) et la (Figure.56) représentent un histogramme de Module de Young des différentes composite On a observé que le C62 (46,468) a un module de Young plus élevé que C34 (28,759) et qui est aussi moins élevé dans C94 (31,443) et qui est moins élevé dans C14 (16,417) ) et qui est moins élevé dans C92 (10,593) ) et qui est moins élevé dans C32 (8,618) ) et qui est moins élevé dans C00 (6,990) ) et qui est moins élevé dans C64 (5,567) et C12 (3,239). Figure .55 .

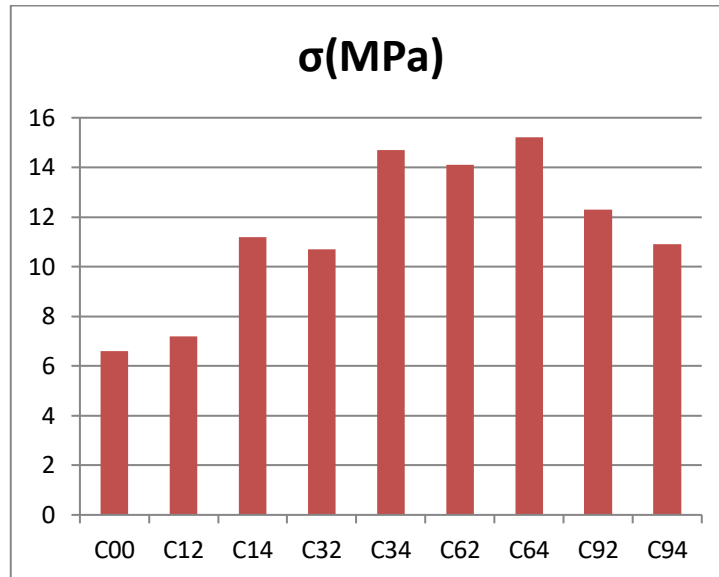


Figure.55 :Histogrammes de l'évolution des contraintes de flexion

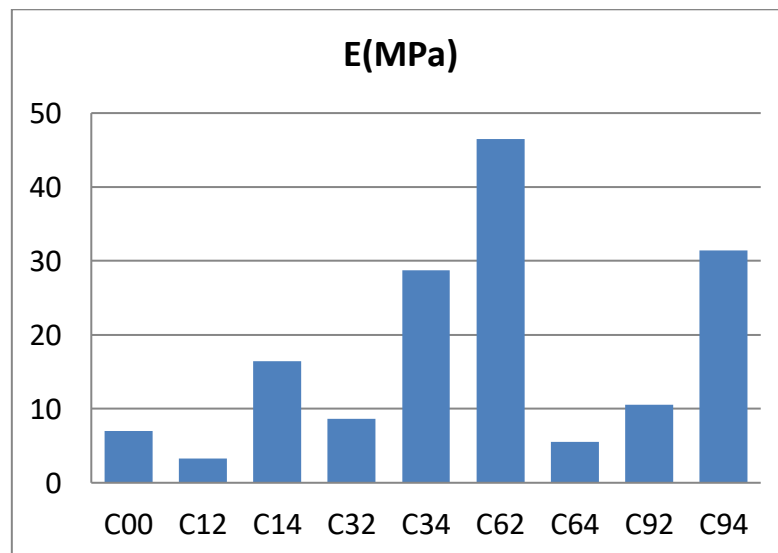


Figure. 56 :Histogrammes de l'évolution des modules de Young de flexion

# Conclusion Générale

## Conclusion Générale

Le traitement chimique des fibres végétales a un rôle positif dans l'augmentation du processus d'adhésion entre les fibres ,Il est utilisé pour renforcer thermiquement la matrice polymère, qui est un polyester insaturé pour améliorer l'efficacité et les propriétés mécaniques des matériaux composites à travers cette étude, l'effet de traitement chimique utilisant la photo sur la fibre végétale représentée par cynodon dactylon.

Dans un deuxième temps, nous avons utilisé un appareil infrarouge des tests chimiques sur divers échantillons de fibres de cynodone dactylon ont prouvé que les traitements chimiques réduisent la les groupes hydroxyles qui filtrent sur les fibres sont de nature hydrophile, ce qui indique que le traitement alcalin réduit la propriété hydrophile des fibres de cynodon dactylon, augmentant le processus de cynodon dactylon la matrice, lors de la formation de composés en raison de la rugosité de surface des fibres et de la solubilité des pectines, des lignines et des cires les résultats en infrarouge ont montré que la structure de la fibre cynodon dactylon a changé après le processus de traitement. Cette modification a été montrée par la disparition de pic à 1647,09 cm<sup>-1</sup> après après le traitement alcalin .

L'analyse aux rayons X a montré une amélioration de l'indice et de la taille des cristaux cristaux de fibre de cynodon dactylon après traitement. Aussi une augmentation du taux. La cristallisation des composés C94 s'élevait à 30 366% par rapport à C00 qui s'élevait à 29 629%.

Essais mécaniques, représentés par l'essai de flexion trois points du composite préparé avec des fibres - cynodon dactylon - a montré dans quelle mesure le traitement améliorerait les propriétés mécaniques des matériaux traités avec de la soude à une concentration Les matériaux sont en fibres végétales ,le composé préparé avec cette fibre Où était le module de flexion de Young par rapport au composé formé à partir de l'échantillon Traitée avec une concentration de 6 % pendant deux heures, le module de Young a augmenté de 17,70 % par rapport aux fibres non traitées

Ces résultats filtrent les fibres de fibres végétales dans la formation de composés d'origine végétale et leur utilisation dans domaine industriel.