



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Centre Universitaire El-wansharissi de Tissemsilt



Institut de Sciences et de la Technologie
Département de Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en
Filière : **Industries pétrochimiques**
Spécialité : **Génie du raffinage**

Présenté par : **ANGOUD Mohamed**
BELLEBIA Yasser Takieddine

Thème

Préparation et prétraitement des fibres à base des déchets végétale

Soutenu le,

Devant le Jury :

Mr. Bouchetta Abbes	Président	M.C.B.	CU-Tissemsilt
Mr. Chemrak Mohamed Amine	Examineur	M.C.B.	CU-Tissemsilt
Mr. Loucif Mohamed	Examineur	M.A.A.	CU-Tissemsilt
Mme. Mokhtar Djamila	Encadreur	M.A.A.	CU-Tissemsilt

Année universitaire : 2019-2020



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Centre Universitaire El-wansharissi de Tissemsilt



Institut de Sciences et de la Technologie
Département de Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en
Filière : **Industries pétrochimiques**
Spécialité : **Génie du raffinage**

Présenté par : **ANGOUD Mohamed**
BELLEBIA Yasser Takieddine

Thème

Préparation et prétraitement des fibres à base des déchets végétale

Soutenu le,

Devant le Jury :

Mr. Bouchetta Abbes	Président	M.C.B.	CU-Tissemsilt
Mr. Chemrak Mohamed Amine	Examineur	M.C.B.	CU-Tissemsilt
Mr. Loucif Mohamed	Examineur	M.A.A.	CU-Tissemsilt
Mme. Mokhtar Djamila	Encadreur	M.A.A.	CU-Tissemsilt

Année universitaire : 2019-2020

Remerciement

Avant de commencer le développement de ce mémoire de fin d'étude, il me paraît tout naturel de commencer de remercier les personnes qui m'ont permis d'effectuer ce travail ainsi que ceux qui m'ont permis d'en faire un moment agréable et profitable.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Mme Mokhtar Djamila pour l'encadrement et le suivi et les conseils riches en information sur notre domaine d'étude.

Je tiens à remercier les membres du jury et tous les enseignants de la spécialité raffinage et pétrochimique et toute l'équipe pédagogique.

Je tiens à remercier mes collègues pour le courage et le soutien et l'amitié.

Que tous ceux que nous n'avons pas cités, et qui m'ont aidé de près et de loin reçoivent nos remerciements.

Dédicace I

Je dédie ce travail

A ma mère en témoignage de mon affection et mon admiration pour
se courage et sa dignité et à qui je ne saurai jamais exprimer toute ma
reconnaissance.

A mon père qui m'a tout donné et qui à su de ses précieux conseils
m'inspirer le sens de la dignité, du courage et du fin travail, qu'il
trouve ici l'accomplissement de tous ses vœux.

A mon frère à qui je souhaite beaucoup de réussite et courage.

A tous mes amis et camarades et collègues en témoignages de mes
plus profondes amitiés et ma sympathie.

A madame Mokhtar Djamila pour le parfait encadrement et les
informations et la sagesse et le courage je le souhaite que du bonheur.

A tous les enseignants de la spécialité génie du raffinage qui m'ont
donné des informations riches.

A tous ceux qui ont contribué de près où de loin à la réalisation de ce
travail.

Mohamed

Dédicace II

Je dédie ce mémoire à mes parents ma mère, qui à œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices conseils et ses précieux conseil, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer dans la vie, puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessés d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Yasser

Sommaire :

Abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

المخلص

Abstract

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale : 1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MATERIEUX COMPOSITE.

I.Introduction : 4

I. Les matériaux composites : 4

I.1. Définition et composition : 4

I.2. Classification des matériaux composites : 5

I.3. Les propriétés des matériaux composites : 6

I.4. Constitution des matériaux composites : 7

I.4.1. La matrice : 7

I.4.1.1. Matrices organiques : 7

I.4.1.1.1. Résines thermodurcissables (TD) : 7

I.4.1.1.2. Résines thermoplastiques (TP) : 9

I.4.1.1.3. Résine thermostable : 12

I.4.2.1. Matrices minérales : 12

I.4.2.1.1. Matrices métallique :.....	12
I.4.2.1.2. Matrices céramiques :	13
I.5. Le role de la matrice :	13
I.6. Différences entre les matrices thermodurcissables et thermoplastiques :.....	13
I.7. Les renforts :	13
I.7.1. Classification des renforts :.....	13
I.7.2. Architecture de renforcement :	14
I.8. Les avantages et les inconvénients des matériaux composites :	14
I.8.1. Les avantages des matériaux composites :	14
I.8.2. Inconvénients des matériaux composites :	15
I.9. Conclusion :.....	15

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LA FIBRE VEGETALE ET LA FIBRE DE CARBONE.

II. Introduction :.....	17
II. Fibre végétale :.....	17
II.1. Définition de la fibre végétale :	17
II.1.1. Fibre de carbon :	17
II.2. Structures et propriétés de la fibre végétale :.....	18
II.2.1. Structure de la fibre végétale :.....	18
II.2.2. Propriétés des fibres végétales:	18
I.2.2.1. propriétés chimique des fibres végétales :	18

I.2.2.2. Propriétés mecaniques des fibres végétales :.....	20
I.2.2.3. Propriétés physiques des fibres végétales :.....	21
I.2.2.4. Propriétés écologiques des fibres végétales :.....	21
II.3. Classification des fibres végétales :.....	21
II.3.1. Les différents renforcements à base des fibres végétales :.....	22
I.3.1.1. Le chanvre :	22
I.3.1.2. le lin (textile) :	22
I.3.1.3. Le coton :	23
I.3.1.4. Chanvre de manille (l'abaca) :.....	24
I.3.1.5. Chanvre du Deccan (Kénef) :	24
I.3.1.6. Le jute :	25
I.3.1.7. L'agave sisalana (sisal) :	25
I.3.1.8. La ramie (Boehmeria Nivea) :	26
I.3.1.9. Noix de coco :.....	26
I.3.1.10. Plamier dattier :	27
I.3.1.11. Alfa :.....	28
I.3.1.12. Palmier nain (Doum):.....	28
I.3.1.13. L'artichaut (cynara) :.....	29
II.4. Les charges et les additives :.....	29
II.4.1. Les charges :.....	29
II.4.2. Les additifs :	31

II.5. Les techniques de l'extraction des fibres végétales :	31
II.5.1. L'extraction mécanique :	31
II.5.2. L'extraction chimique :	31
II.5.3. L'extraction biologique :	31
II.6. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts des matériaux composites :	32
II.6.1. Les avantages des fibres végétales :	32
II.6.2. Inconvénients :	32
II.7. Conclusion :	32

**CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA MATIERE PREMIERE ET
PREPARATION ET PRETRAITEMENT DES FIBRES.**

III. Introduction :	35
III. Présentation de la matière première et préparation des fibres :	35
III.1. Présentation de la matière première (l'artichaut et la tige) :	35
III.1.1. Description :	36
III.1.2. Morphologie de la tige d'artichaut :	36
III.1.3. Caractéristiques de la matière première (l'artichaut) :	36
III.1.4. Principales variétés d'artichaut :	36
III.1.5. Utilisation :	37
III.2. Présentation des fibres (Fibre, matériels, produit) :	37
III.2.1. Produit et matériels :	37

III.2.2. La fibre végétale :	37
III.2.3. Matériels utilisés :	38
III. 3. Méthode de préparation :	39
III.3.1. Préparation des fibres d'artichaut :	39
III.3.2. extraction chimique :	39
III.3.3. Préparation de la solution NaOH :	41
III. 4. L'extraction mécanique des fibres :	43
III. 5. Préparation des fibres (séchage des fibres) :	45
III. 6. Comparaison entre trois récipients après la préparation des fibres :	46
III.7. Conclusion :	47

Conclusion

Liste d'abréviation :

TD : Thermodurcissable.

GD : Grande diffusion.

HP : Haute performances.

TP : Thermoplastique.

PP : Polypropylène.

PBT : Polytéréphtalates butylénique.

PET : Polytéréphtalates éthylénique.

PPO : Polyoxide de phénylène.

POM : Polyoxyméthylène.

PA : Polyamides.

PAI : Polyamide-imide.

PEI : Polyéther-imide.

PES : Polyéther-sulfone.

PEEK: Polyether-ether-cétone.

TS: Thermostable.

PAN: Polyacrylonitrile.

UV: Ultras violet.

PKA: L'indication de la constant d'acidité ou constant de dissociation d'acide.

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry (le nom **IUPAC** fait référence à une nomenclature reconnue officiellement à l'échelle internationale, issue de l'union internationale de chimie pure et appliquée).

IRTF : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

DRX : Cristallographie aux rayons X.

TGA : Analyse thermogravimétrique.

Liste des tableaux :

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MATERIEUX COMPOSITE.

Tableau. I.1 : Caractéristiques moyennes des matrices thermodurcissables (TD) non renforcées.

Tableau. I.2 : Caractéristiques moyennes des matrices thermoplastiques (TP) non renforcées.

Tableau. I.3 : Principales différences entre les matrices (Thermoplastique et thermodurcissable).

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LA FIBRE VEGETALE ET LA FIBRE DE CARBONE.

Tableau. II.1 : Composition en cellulose de quelques fibres naturelles.

Tableau. II.2 : Composition chimique de quelques fibres végétales.

Tableau. II.3 : Les propriétés des fibres végétales.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA MATIERE PREMIERE ET PREPARATION ET PRETRAITEMENT DES FIBRES.

Tableau. III.1 : Valeur nutritive pour 100g d'artichaut.

Tableau. III.2 : Comparaison entre les trois récipients après la préparation des fibres.

Liste des figures :

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MATERIEUX COMPOSITE.

Figure. I.1 : Les constituants d'un matériau composite.

Figure. I.2 : Représentation schématique d'un matériau composite.

Figure. I.3 : Représentation schématiques des types des matériaux composites.

Figure. I.4 : Organigramme des différents composites renforcés.

Figure. I.5 : Organigramme des différentes familles de matrice.

Figure. I.6 : La classification des types de renforts.

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LA FIBRE VEGETALE ET LA FIBRE DE CARBONE.

Figure. II.1 : Structures du bois (observation multi échelles).

Figure. II.2 : Exemple de représentation schématique de l'agencement et différents composants des fibres de chanvre à l'échelle micrométrique.

Figure. II.3 : La plante de chanvre (fibres de chanvre).

Figure. II.4 : Les fibres de lin.

Figure. II.5 : La plante du coton (fibre du coton).

Figure. II.6 : La plante chanvre de manille (l'abaca).

Figure. II.7 : La plante de chanvre du Deccan (Kénaf).

Figure. II.8 : La plante de jute.

Figure. II.9 : La plante de l'agave sisalana (sisal).

Figure. II.10 : la plante de ramie (Boehmeria Nivea).

Figure. II.11 : Noix de coco et les fibres de coco.

Figure. II.12 : Les palmiers dattiers.

Figure. II.13 : La plante de l'alfa.

Figure. II.14 : La plante du palmier nain (doum).

Figure. II.15 : La plante d'artichaut (fibre du cœur et tiges).

Figure. II.16 : Les charges (poudre de brique, poudre de nickel, poudre de cellulose, poudre du bois).

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA MATIERE PREMIERE ET PREPARATION ET PRETRAITEMENT DES FIBRES.

Figure. III.1 : L'artichaut (violet du Provence).

Figure. III.2 : Les tiges d'artichaut.

Figure. III.3 : L'eau distillée.

Figure. III.4 : Hydroxyde du sodium solide.

Figure. III.5 : Boite ou flacon d'hydroxide du sodium.

Figure. III.6 : Les tiges d'artichaut après le prélavage.

Figure. III.7 : Organigramme représente les étapes de l'extraction.

Figure. III.8 : Les tiges d'artichaut avant et après le prélavage.

Figure. III.9 : La balance électrique (durant le mesurage du NaOH).

Figure. III.10 : Les trois récipients (le premier à une concentration 10% et le deuxième à 6% et le troisième à 2%).

Figure. III.11 : L'extraction mécanique des fibres (brosse métallique).

Figure. III.12 : Etuve électrique (séchage des fibres).

Figure. III.13 : Les tiges d'artichaut après 15 jours du repos dans la solution (NaOH-H₂O (Distillée)).

Figure. III.14 : Les tiges d'artichaut durant l'extraction des fibres.

Figure. III.15 : Les fibres d'artichaut après l'extraction.

Figure. III.16 : Les fibres d'artichaut avant et après le séchage.

Figure. III.17 : Un échantillon des fibres d'artichaut après le séchage.

Résumé

La préparation et le prétraitement des fibres végétales est un procédé major dans la réutilisation et le recyclage des déchets végétales, il permet de faire une extraction des fibres d'artichaut qui se trouve dans la tige.

Nous avons étudié les matériaux composites leur constitution, description de ces différentes propriétés, structures et l'importance de ce matériau.

Nous avons discuté sur les fibres végétales et ça composite chimique en cellulose, hémicellulose, et de lignine. En suite on à apporté une connaissance des différents plante qui contient des fibres végétale et leur classement.

La préparation des la solution NaOH-Eau (distillée) est l'une des méthodes d'obtention des fibres à une composite (polymère-fibre végétale), la nature de solvant, la forme et le type des fibres végétale, la méthode de traitement et la concentration de la solution chimique, sont des paramètres qui influent sur les propriétés du composite.

الملخص

يعد التحضير والمعالجة المسبقة للألياف النباتية عملية رئيسية في إعادة استخدام وإعادة تدوير النفايات النباتية ، فهي تسمح باستخراج ألياف الخرشوف الموجودة في الساق.

لقد درسنا المواد المركبة وتكوينها ووصف هذه الخصائص المختلفة والتركيبات وأهمية هذه المواد.

ناقشنا الألياف النباتية والمركب الكيميائي من السليلوز ، الهيميسليلوز ، واللجنين. ثم قدمنا تعريف بالنباتات المختلفة التي تحتوي على ألياف نباتية وتصنيفها.

يعد تحضير محلول هيدروكسيد الصوديوم - ماء مقطر إحدى طرق الحصول على الألياف إلى مركب (ألياف نباتية بوليمر) ، طبيعة المذيب ، وشكل الألياف النباتية ونوعها ، وطريقة المعالجة وتركيز المحلول الكيميائي ، من العوامل التي تؤثر على خصائص المركب.

Abstract

The preparation and pre-treatment of plant fibers is a major process in the reuse and recycling of plant waste, it allows extracting the artichoke fibers found in the stem.

We have studied composite materials, their constitution, and description of these different properties, structures and the importance of this material.

We discussed about plant fibers and this chemical composite of cellulose, hemicelluloses, and lignin. Then we brought knowledge of the different plants that contain plant fibers and their classification.

The preparation of the NaOH-Water solution (distilled) is one of the methods of obtaining fibers to a composite (polymer-plant fiber), the nature of solvent, the shape and type of plant fibers, the method of treatment and the concentration of the chemical solution, are parameters which influence the properties of the composite.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale :

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux ou plus de nature différents, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau hétérogène dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. Les matériaux composites ne sont pas une nouveauté, ils ont tous temps été utilisés par l'homme, citons par exemple le bois, le béton et le béton armé [1].

Le principal intérêt de l'utilisation des matériaux composites provient de ses excellentes caractéristiques. Ils disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels [3]:

- Légèreté.
- Grande résistance à la fatigue.
- Liberté de formes.
- Maintenance réduite.

Les fibres végétales ont été beaucoup étudiées depuis ces dernières années car les fibres végétales possèdent beaucoup d'avantage, (le faible coût, propriétés d'élaboration plus saines pour la production des composites de différentes formes, le renouvellement et le recyclage... etc.). La fibre végétale est une source disponible et elle va plus utiliser au futur et aussi à été mise en cause par la législation sur la santé.

L'objectif de ce mémoire de faire une étude sur les fibres d'artichaut, ce travail est divisé en deux parties :

Dans la partie théorique nous avons fait une présentation des compositions et les propriétés majeures des matériaux composites, ces architectures de renforcement structurelles des fibres. Poursuivant par une présentation de diverses fibres végétales et ces structures fibrillaires (cellulose, hémicellulose, lignine et pectine).

La première partie pratique, c'est la préparation et le prétraitement des fibres végétales (fibre d'artichaut), à l'aide d'une solution chimique préparée au laboratoire pour la faciliter l'extraction des fibres et faire une comparaison l'influence de l'hydroxyde de sodium sur la fibre d'artichaut.

La deuxième partie pratique présente une étude mécanique et une élaboration des matériaux composites sur la fibre d'artichaut, cette étude est basée sur la détente de la fibre et la présence de la cellulose dans la fibre d'artichaut.

Partie théorique :

- **Chapitre I** : Généralité sur les matériaux composites.
- **Chapitre II** : Généralité sur la fibre végétale et la fibre de carbone.

Partie pratique :

- **Chapitre III** : Préparation des fibres.

Partie

Théorique

Chapitre I :

**GENERALITE SUR LES MATERIEUX
COMPOSITE.**

I. Introduction :

L'objectif de ce premier chapitre est d'apporter une connaissance des matériaux composites, par description, définition et de souligner sur ces constituants, compositions, propriétés et les structures. Étant donné l'importance et la diversité de ces matériaux, ils possèdent un point fort dans les utilisations accompagnés avec ces avantages et ces inconvénients.

Les matériaux composites permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à ces propriétés mécaniques, chimiques. Ils offrent une meilleure isolation thermique [1].

I. Les matériaux composites :

I.1. Définition et composition :

Un matériau composite est un assemblage d'au moins de deux matériaux non miscibles, mais pouvant se combiner (**Figure. I.1**). En combinant deux phases différentes ou plus nommées les renforts et les matrices [2]. Les renforts et les matrices sont parfaitement liés et il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases, les renforts se présentent généralement sous deux formes : les fibres continues ou discontinues.

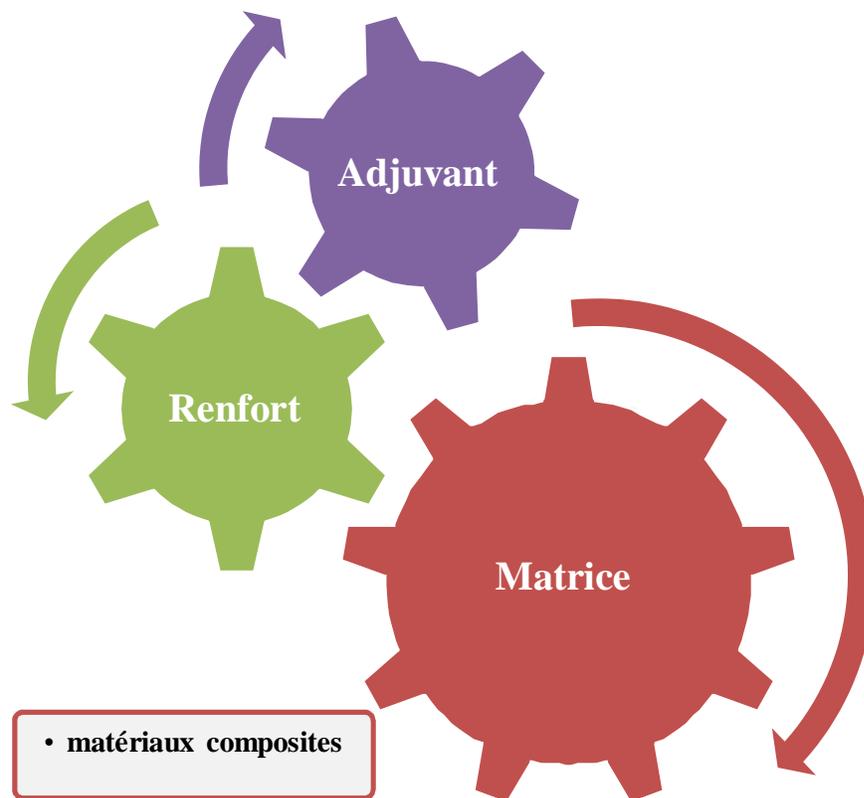


Figure. I.1 : Les constituants d'un matériau composite.

Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux composants non miscibles et de nature différente dont les propriétés se complètent et bénéficient d'une synergie qui augmente la performance du matériau. Un matériau composite est constitué d'une armature généralement sous forme de fibres minérale, organique ou végétales qui assure la tenue mécanique (résistance à la traction) et d'un liant, appelée matrice généralement sous forme d'une matière plastique (polymère). Cette matrice lie les fibres du renfort, transmet les efforts (résistance à la flexion et à la compression) et assure la protection chimique (cohésion de la structure) du composite, les matériaux composite, les matériaux composite sont largement développés, à la fois d'un point de vue naturel (corps humain, monde animal et végétal) et d'un point de vue industriel. En effet, les matériaux composites permettent d'améliorer le rapport résistance mécanique sur poids du matériau [3].

Le rôle des renforts est assurer la fonction de la résistance mécanique aux efforts, la matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques (**Figure. I.2**). L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure, ces performances remarquables sont à l'origine des solutions technologiques innovantes [4].

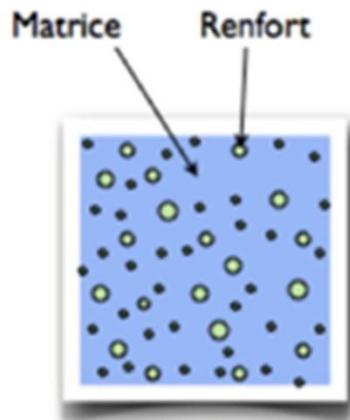


Figure. I.2 : Représentation schématique d'un matériau composite.

I.2. Classification des matériaux composites :

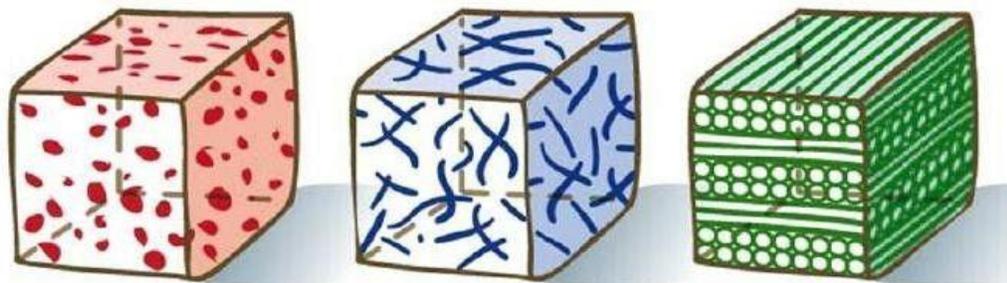
Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés en trois catégories [5] :

- Les composites à matrice polymère ou organique.
- Les composites à matrices métallique.
- Les composites à matrice céramique.

I.3. Les propriétés des matériaux composites :

Schématiquement, les propriétés des matériaux composites dépendent [6]:

- Constituants élémentaires.
- La distribution géométrique des renforts (ils sont constitués de fibres, de leur orientation).
- Les interactions éventuelles entre les constituants (qualité d'adhésion entre la matrice et les renforts).



Composite à particules Composite à fibres courtes Composite à fibres continues

Figure. I.3 : Représentation schématique des types des matériaux composites [5].

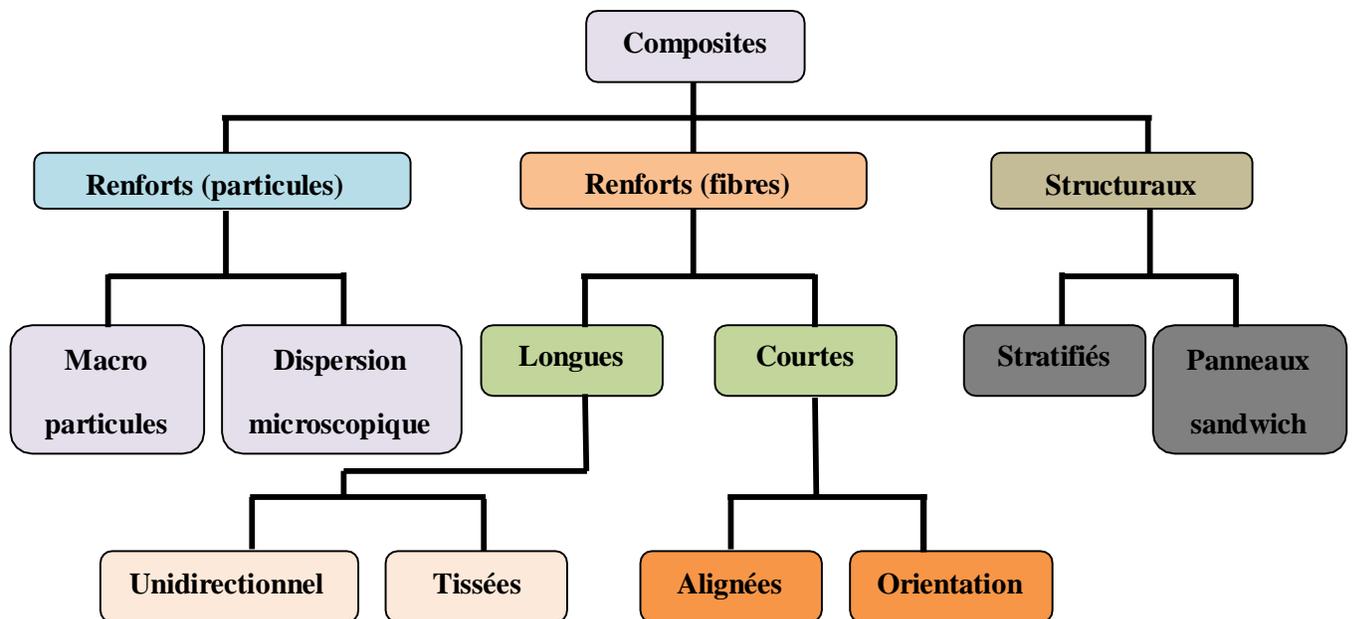


Figure. I.4 : Organigramme des différents composites renforcés [6].

I.4. Constitution des matériaux composites :

I.4.1. La matrice : la matrice permet de lier les fibres des renforts fibreux entre elle, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression où à la flexion,). La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres. Généralement, c'est un polymère où une résine organique [7].

On peut retrouver dans l'organigramme ci-dessous, les différentes familles de matrice :

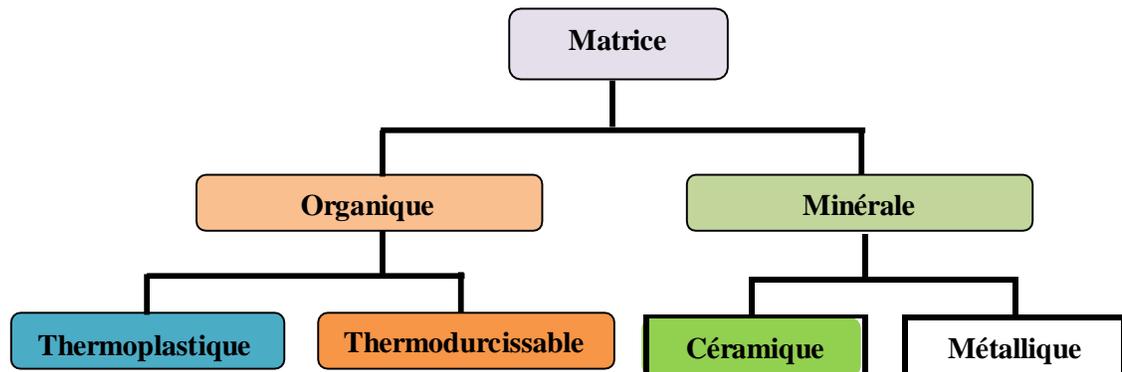


Figure. I.5 : Organigramme des différentes familles de matrice.

I.4.1.1. Matrices organiques :

Les types des résines qui sont actuellement utilisées présentent des propriétés foncièrement différentes [8] :

I.4.1.1.1. Résines thermodurcissables (TD) :

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées, ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois, elles sont en solution sous forme des polymères non réticulé en suspension dans des solvants [9].

Les résines thermodurcissables principalement utilisées sont [10] :

- **Polyesters insaturés :** Ce sont les résines les plus utilisées dans les applications grandes diffusion (GD). Elles se présentent sous la forme d'une solution polyacide et polyalcool qui se rigidifient sous l'action d'un catalyseur et de l'action de la chaleur. Elles présentent le grand défaut d'émettre des vapeurs de styrène au cours de la polymérisation et d'être difficile au stockage.

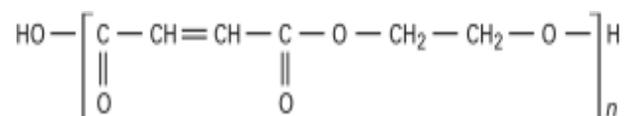


Tableau. I.1 : Caractéristiques moyennes des matrices thermodurcissables (TD) non renforcés.

Polymère	Masse Spécifique (Kg/dm ³)	Resistance à la traction (Gpa)	Module De flexion (Gpa)	Tenue à la chaleur Continue (C°)
Polyester	1.2	-	3	120
Vinylesters	1.15	-	3.5	140
Phénolique	1.2	40-50	3	120-150
Époxyde	1.1-1.4	50-90	3	120-200
Polyuréthane	1.1-1.5	20-50	1	100-120

I.4.1.1.2. Résines thermoplastiques (TP) :

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles, ces résines sont solides et nécessitent une transformation à très haute température [9].

On classe généralement en trois catégories distinctes, les résines (TP) entrant dans la fabrication de composites [2].

- Les polymères dits de « grande diffusion », dont les propriétés mécaniques sont plus faibles mais bénéficient d'un coût compatible avec une production en grande série.
- Les polymères dits de « l'utilisation technique », dont les propriétés mécaniques supérieures aux polymères de grande diffusion et qui sont utilisés pour des objets industriels courants comme des pièces de structures.
- Les polymères dits de « hautes performances », présentent des propriétés mécaniques spécifiques élevées et un coût unitaire important.

Tableau. I.2 : Caractéristiques moyennes des matrices thermoplastiques (TP) non renforcées.

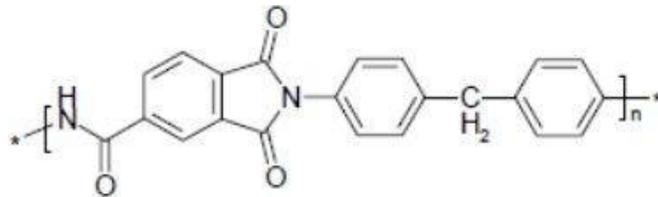
Polymère	Masse Spécifique (Kg/dm ³)	Resistance A la traction (Gpa)	Module de flexion (Gpa)	Tenue a la Chaleur continue (C°)
Polypropylène (PP)	1.1-1.2	20-30	1-1.6	85-115
Polytéréphtalates butylénique (PBT)	1.5	45-55	2.5-2.6	120
Polytéréphtalates éthylénique (PET)	1.6	55-75	2-2.2	105-120
Polyoxide de phénylène (PPO)	1.3	55-65	2.4-2.6	80-105
Polyoxyméthylène (POM)	1.6	60-70	7-9	95-105
Polyamides (PA)	1.3-1.4	60-90	6-9	80-120
Polyamide-imide (PAI)	1.3-1.4	195	4.9	275
Polyéther-imide (PEI)	1.5	105	3	170
Polyéther-sulfone (PES)	1.6	85	2.6	180
Polyéther-éther-cétone (PEEK)	1.5	100	3.7	>240

Les principales résines thermoplastiques utilisées dans les composites sont [10] :

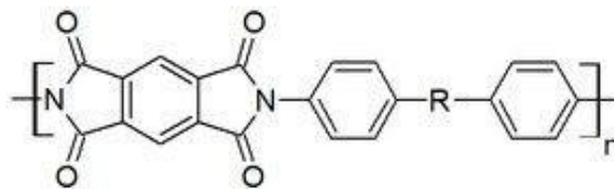
- Les polyamides (PA).
- Les polytéréphtalates éthyléniques (PET).
- butylénique (PBT).
- les polycarbonates (PC).
- Les polyoxides de phénylène (PPO).
- Les polyoxides de méthylène (POM).
- Les polypropylènes (PP), sont des polymères semi technique un peu onéreux assez stable en température, mais combustible.

D'autres résines thermoplastiques commencent à être utilisées pour leurs propriétés de thermostabilité (tenue thermique supérieure à 200C°) et une bonne tenue mécanique [10] :

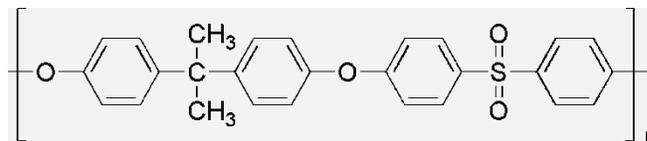
- Les polyamide-imide (PAI) :



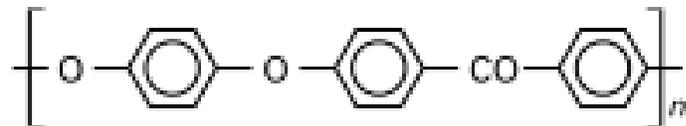
- Le polyéther-imide (PEI) :



- Le polyéther-sulfone (PES) :



- Le polyéther-éther-cétone (PEEK) :



Une comparaison entre quelques caractéristiques des résines thermodurcissables et celles des résines thermoplastiques est présentée dans le (tableau. I.3) [7] :

Tableau. I.3 : Principales différences entre les matrices (Thermoplastique et thermodurcissable).

Matrices	Thermodurcissable	Thermoplastique
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solide prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité de renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage -refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite (sauf nouveau TP)
Chutes et déchets	Perdus ou utilisée en charges	Recyclables
Condition de travail	Emanations de solvants	Propreté

I.4.1.1.3. Résine thermostable :

Polymères présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des pressions et des températures élevées appliquées de façon continue, cette propriété est mesurée en déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000 heures sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques [8].

I.4.2.1. Matrice minérale :

I.4.2.1.1. Matrices métalliques :

L'utilisation des matrices métalliques est encore actuellement en grande partie à un stade préindustriel. Plusieurs matériaux composites tels que « l'aluminium et ses alliages, nickel, titane, présentent une bonne conductibilité électrique et thermique, et une bonne tenue à des températures élevées et de plus ils possèdent des bonnes caractéristiques mécanique transverses. Leur fabrication conduit à des couts très élevés [8].

I.4.2.1.2. Matrices céramiques :

Les matériaux utilisés sont les carbures de silicium et de carbone. Ils sont utilisés pour la fabrication des pièces qui subissent des contraintes d'origine thermique et leur coût est très élevé [7].

I.5. Le rôle de la matrice [10] :

- Lier les fibres de renforts.
- Repartir les contraintes.
- Apporter la tenue chimique de la structure.
- Donner la forme désirée au produit final.

I.6. Différences entre les matrices thermodurcissables et thermoplastiques :

Les résines thermoplastiques présentent un certain nombre d'avantages par rapport aux résines thermodurcissables [11] :

- Une facilité de conservation.
- Cycles de transformation plus courts.
- Une meilleure tenue à l'impact et à la fatigue.
- Possibilité de réparation (liaison par soudage).
- Potentialité de recyclage par rapport aux thermodurcissables.

I.7. Les renforts :

Les renforts sont souvent sous forme des fibres, sert à transférer des charges mécaniques. Les fibres ont une forme remarquable dans la matrice qui possède des propriétés qui s'approchent de plus en plus de celles prévues par la théorie. Ces propriétés sont impressionnantes à cause de leur forme et des moyens de fabrication. La structure moléculaire des fibres est généralement alignée dans le sens de l'axe de fibres, qui produit une structure forte dans cette direction [8].

Elle permet de distinguer deux grandes familles parmi ces composites [12] :

- Les renforts à fibres courtes qui permettent d'améliorer le comportement de la matrice seule. Celle-ci reste l'élément de base et l'on obtient alors un « polymère renforcé ».
- Les renforts à fibres continues qui jouent un rôle majeur dans le comportement mécanique du composite

I.7.1. Classification des renforts :

Les types des renforts couramment rencontrés est indiquée sur la (Fig. I.6) [12] :

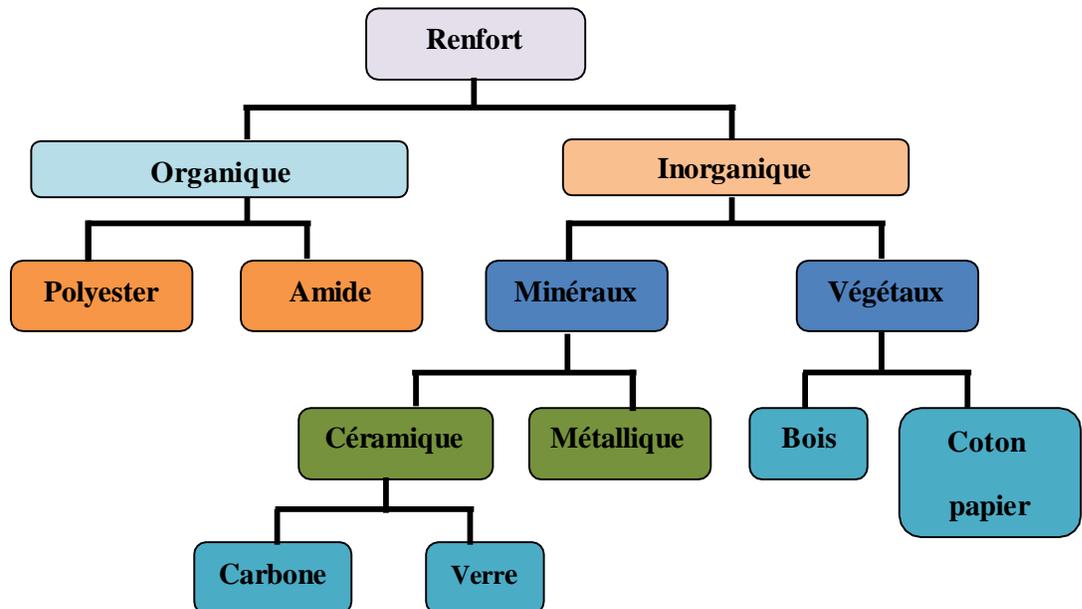


Figure. I.6 : La classification des types de renforts

I.7.2. Architecture de renforcement :

Afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques des structures en composites, il est nécessaire de jouer les architectures des renforts pour créer une charpente résistante adaptée aux contraintes mécaniques. En fonction des propriétés recherchées, on rencontre plusieurs architectures de renforcements [13].

- Unidirectionnelle.
- Multidirectionnelles aléatoire.
- Orientée

I.8. Les avantages et les inconvénients des matériaux composites [14]:**I.8.1. Les avantages des matériaux composites :**

- Gain de masse.
- Mise en forme des pièces complexes (principe du mouillage) et réduction du nombre de l'interface.

- Grande résistance à la fatigue.
- Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, la chaleur et corrosion.
- Insensible aux produits chimiques comme les graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, solvants et le pétrole.

I.8.2. Inconvénients des matériaux composites :

- Vieillissement sous l'action de l'eau et de la température.
- Attention aux décapants de peinture qui attaquent les résines époxydes.
- Tenue à l'impact moyenne par rapport aux métalliques.
- Meilleure tenue au feu que les alliages légers mais émission de fumées parfois toxiques pour certaines matrices.

I.9. Conclusion :

Les matériaux composites sont essentiellement constitués d'une phase continue (matrice) et de renfort (fibres). La matrice assure la cohésion de la structure et la transmission des efforts mécaniques vers les renforts [15].

Chapitre II :

**GENERALITE SUR LA FIBRE VEGETALE ET LA
FIBRE DE CARBONE.**

I. Introduction :

Les fibres végétales sont utilisées depuis 3000 ans dans les composites, par exemple dans l'ancienne Égypte, la paille et d'argile étaient mélangés pour construire des murs et dans les structures de construction dans l'époque ancienne. Au cours de la dernière décennie, les composites renforcés de fibres végétales ont reçu une attention croissante, tant auprès du monde. Dans ce deuxième chapitre on va apporter une connaissance des fibres végétales et leur composition chimique en cellulose et hémicellulose et de lignine et leur classification et quelques plantes ont des différentes fibres végétales qui contiennent des fibres et leur structures [16].

II. Fibre végétale :

II.1. Définition de la fibre végétale :

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicellulose et de la lignine. En proportion relativement faible de l'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales [17]. Les proportions de ces constituants varient beaucoup selon les fibres et la cellulose, est un élément constitutif majeur (**Tableau. II.1**), chaque fibre se présente sous la forme d'un bio composite multicouches dans lequel la lignine joue le rôle d'une matrice enrobant l'élément structurant très rigide qui est un pourcentage élevé de cellulose [18].

Tableau. II.1 : Composition en cellulose de quelques fibres naturelles [16].

Fibre	Le pourcentage de cellulose %
Coton	>90
Jute	64.4
Chanvre	55
Lin	64.1
Ramie	68.6

II.1.1. Fibre de carbone :

Les fibres de carbone sont pour la plus part obtenues à partir d'une fibre précurseur de type polyacrylonitrile (PAN). Ces fibres subissent une étape d'oxydation pour faire réticuler PAN et le rendre ainsi moins fusible en vue de traitement thermique ultérieurs [17]. Permet les sources des fibres de carbone :

- Fibres des palmiers dattiers.
- Le lin cultivé.
- La noix de coco.
- Fibres du bois.
- Le jute.

II.2. Structures et propriété de la fibre végétale :

II.2.1. Structure de la fibre végétale :

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

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et de disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espace. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrille (S1, S2, S3) (**figure. II.1**).

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son tenue en eau et son pourcentage d'absorption d'eau [19].

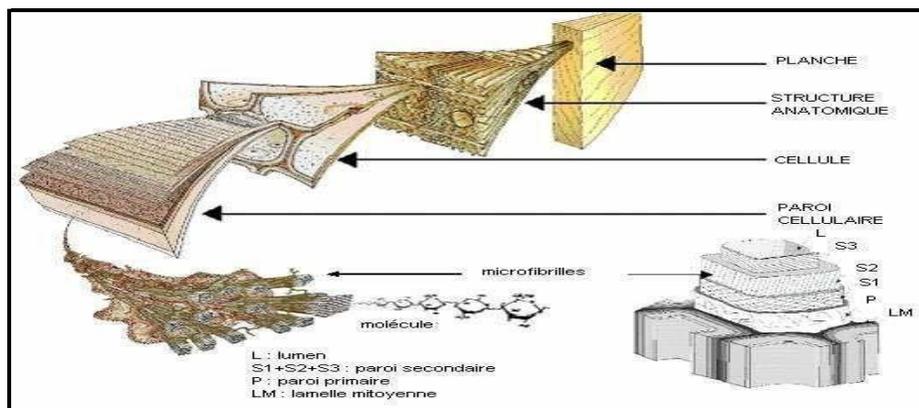


Figure. II.1 : Structures du bois (observations multi échelles).

II.2.2. Propriétés des fibres végétales :

II.2.2.1. Propriétés chimiques des fibres végétales :

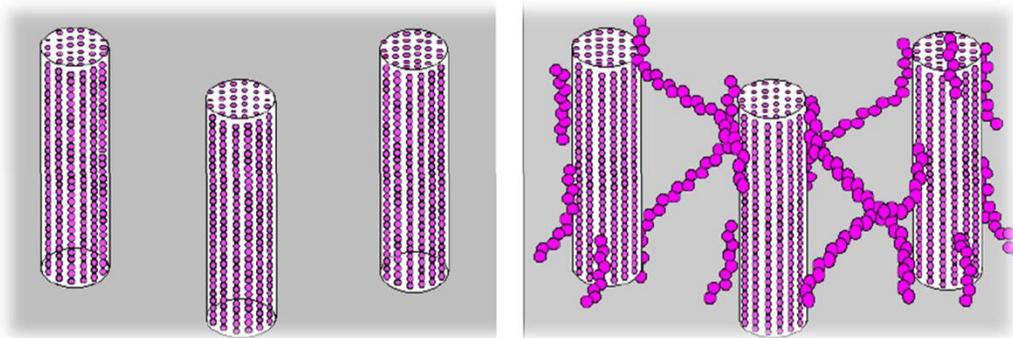
La composition chimique varie d'une planète à une autre et dépend de l'espace, de l'âge de la planète, les conditions climatiques, de la composition du sol et de la méthode d'extraction utilisée [19].

Les différents constituants des fibres végétales sont :

- **Cellulose** : Est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées d'une chaîne de fibres en cellulose.

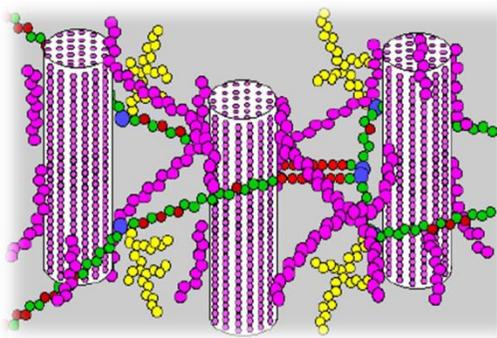
Chapitre II : Généralité sur la fibre végétale et la fibre de carbone

- **Hémicellulose** : l'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres c'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres.
- **Lignine** : la lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leur paroi, c'est un polymère tridimensionnel.
- **Les pectines** : les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux.

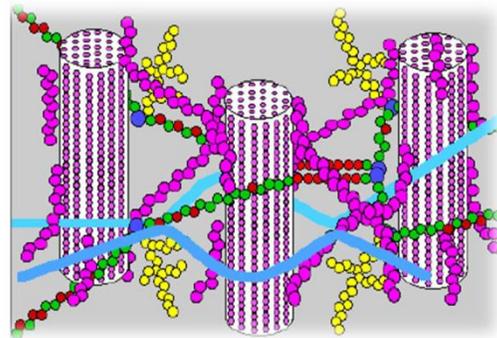


Cellulose seule.

Celluloses, hémicelluloses.



Celluloses, hémicelluloses et pectines.



Celluloses, hémicelluloses, pectines et protéine.

Figure. II.2 : Exemple de représentation schématique de l'agencement et différents composants des fibres de chanvre à l'échelle micrométrique.

Chapitre II : Généralité sur la fibre végétale et la fibre de carbone

- **Extractibles** : Ce sont des molécules à faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules, ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plus part de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques, d'où leur dénomination, la composition en extractibles varie en fonction de l'essence considérée et influe sur la couleur et l'odeur. Il s'agit de tanins, de pectines, de sucre et d'autres composés.

Tableau. II.2 : Composition chimique de quelques fibres végétales.

Fibres naturelles	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	Pectine %	Graisse %	Eau %	Angle demicrofibrille
Chanvre	70-74	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	0.8	6.2-10	2-6.2
Lin	71	18.6-20.6	2.2	2.3	1.7	8-12	5-10
Jute	61-71.5	13.6-20.4	12-13	0.2	0.5	12.5-13.7	8
Coton	85-90	5.7	-	0-1	0.6	7.85-8.5	-
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22	10-22
Ramie	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	7.5-17	0.3	7.2
Kénaf	45-57	21.5	8-13	3-5	-	-	-

II.2.2.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales :

Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Tableau. II.3 : Les propriétés des fibres végétales.

Propriétés	Type de fibres							
	Lin	Chanvre	Jute	Ramie	Coco	Sisal	Abaca	Coton
Densité	1.4	1.48	1.46	1.5	1.25	1.33	1.5	1.51
Résistance à la Traction (MPa)	800-1500	550-900	400-800	550	220	600-700	980	400
Module d'élasticité (GPa)	60-80	70	10-30	44	6	38	-	12
Densité spécifique	26-46	47	7-21	29	5	29	-	8
Allongement à la rupture (%)	1.2-1.6	1.6	1.8	2	15-25	2-3	-	3-10
Adsorption d'eau %	7	8	12	12-17	10	11	-	8-25
Production mondiale en 2002 en milliers de tonne par an	750	78	3200	202	654	345	104	21200

Le tableau présente les propriétés des fibres végétales. On remarque que la plupart des fibres présentent des propriétés chimiques [21].

II.2.2.3. Propriétés physiques des fibres végétales :

Généralement une fibre végétale est caractérisée par son diamètre, sa densité, son tenure en eau et son pourcentage d'adsorption d'eau [21].

II.2.2.4. Propriétés écologiques des fibres végétales :

- La fibre végétale est naturelle et ne cause pas d'irritation pour la peau.
- Plus de confort pendant la manipulation et renouvelables [22].

Des autres propriétés spéciales sur les fibres végétales :

Les fibres végétales contiennent plusieurs fondamentales qui définissent le comportement de la fibre [23] :

- Isolation thermique parfaite.
- Bonne adsorption des vibrations.
- Isolation acoustique parfaite et très bonne.
- Fibres moins abrasives.

II.3. Classification des fibres végétales :

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivants [24] :

- **Les fibres de feuille** : 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 fibres de tige** : 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 et en toute longueur. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, lin, ramie, Kénaf et chanvre.
- **Les fibres de bois** : les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes.
- **Les fibres de surface** : les fibres de surface entourent en générale la surface de la tige, des fruits ou des grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille des fibres. Nous citons entre autres le coton et la noix de coco.

II.3.1. Les différents renforcements à base des fibres végétales [25] :

Dans la nature il y'a plusieurs plantes qu'on peut les utilisées comme des renforts au niveau de la matrice composite.

II.3.1.1. Le chanvre :

Le chanvre est une fibre libérienne, tout comme (lin, Kéna, jute et ramie). Les plantes de cette famille présentent toutes les fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses. La France et le premier producteur en Europe pour la production de chanvre, sont généralement transformés en textiles (tapis et vêtements) et en produits industriels comme des géotextiles, de la toile anti-érosion, du renfort de composite et du remplissage à cause de sa grande solidité et de son intérêt économique [25].



Figure. II.3 : La plante de chanvre (fibre de chanvre).

II.3.1.2. Le lin (textile) :

Le lin est une plante annuelle qui pousse dans le monde entier, aussi bien en Asie qu'en Europe, la fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extrait des graines. L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25mm et sa bonne résistance. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton. Cette fibre est utilisée pour fabriquer les papiers fins comme les papiers de la cigarette ou le papier bible [25].



Figure. II.4 : Les fibres de lin.

II.3.1.3. Le coton :

Le cotonnier est un petit arbuste annuel de 1 à 1.50 m de hauteur. Il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, Afrique, Asie, et même en Europe (Espagne). Les fibres de coton proviennent des grains, sont appelés linters.

Cette fibre est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physique et mécanique. Elle est utilisée pour des papiers dit luxe. Elles sont également utilisées pour les papiers fiduciaires et principalement pour les billets de banques, papiers pour les quels la caractéristique essentielle est la résistance au pliage. Cette fibre est aussi beaucoup utilisée dans le domaine textile [25].



Figure. II.5 : La plante du coton (fibre du coton).

II.3.1.4. Chanvre de manille (l'abaca) :

L'abaca ou chanvre de manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux philippines, les fibres dans les graines foliaires forment un pseudo tronc très recherchés pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, pour des rabanes, des nappes, des stores ou des vêtements. La fibre d'abaca a une longueur de 6mm pour un diamètre de 22 μ m. elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres, sachets de thé, ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance [25].



Figure. II.6 : La plante chanvre de manille (l'abaca).

II.3.1.5. Chanvre du Deccan (Kénaf) :

Le Kénaf ou chanvre du Deccan est une plante herbacée dont la tige peut atteindre 3m de hauteur. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du sud. La production de Kénaf en Europe est rare. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier, la longueur moyenne des fibres 1.5mm est comprise entre celle des fibres de feuilles et celle des fibres de résineux [25].



Figure. II.7 : La plante de chanvre du Deccan (Kénaf).

II.3.1.6. Le jute :

Le jute est une plante buissonnante originaire de sud asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de filature. La longueur moyenne des fibres est de 2mm, avec une largeur de 20 μ m. Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du Kénaf [25].



Figure. II.8 : La plante de jute.

II.3.1.7. L'agave sisalana (sisal) :

Le sisal est une plante vivace constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2m de longueur. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivées en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3mm [25].



Figure. II.9 : La plante de l'agave sisalana (sisal).

II.3.1.8. La ramie (Boehmeria Nivea) :

La ramie est une plante arbustive. Originaires de l'est de l'Asie, les principaux producteurs sont la Chine, le Japon et l'Amérique, la longueur moyenne des fibres est comprise entre 40mm et 250mm, pour un diamètre moyen de 45µm. Ces fibres ressemblent aux fibres de lin mais sont encore plus longues, plus solides et plus rigides [25].



Figure. II.10 : La plante de ramie (Boehmeria Nivea).

II.3.1.9. La noix de coco :

Les fibres de coco proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco. Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau. Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. On utilise plutôt dans les pièces spacieuses [25].



Figure. II.11 : Noix de coco et les fibres du coco.

II.3.1.10. Le palmier dattier :

Le palmier dattier il a un stipe solitaire de couleur marron ou gris qui atteint jusqu'à 20m de hauteur et 60cm de diamètre à l'âge adulte. Leur Corinne se compose de plus d'une certaine feuilles pennées qui mesurent plus de 5m de longueur. Le pétiole peut mesurer jusqu'à un mètre, recouvert d'épines sur ses bords. Les folioles sont de couleur verte. Elles sont étroites, rigides et disposées de manière irrégulière sur le rachis. Les types les plus connus sont : Deglette noir, Dokar, Elghers [26].



Figure. II.12 : Les palmiers dattiers

II.3.1.11. Alfa :

L'alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1.20m de hauteur formant ainsi des vastes nappes. Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert là où l'alfa s'arrête le désert commence.

Herbe d'Afrique du nord et l'Espagne, appelée aussi spart ou sparte, elle fait partie de la famille des graminacées. Elle est employée dans la fabrication de sparterie, de cordages, des espadrilles, des tissus grossiers, des papiers d'imprimerie [26].



Figure. II.13 : la plante de l'alfa.

II.3.1.12. Palmier nain (Doum) :

Le doum son appellation scientifique « *hyphaene thebaica* » est une essence forestière de la famille des arecaceae, du groupe des coryphoidae. C'est un palmier de 12m à 15m de hauteur à stipe ramifié, gris foncé, relativement lisse d'environ 25cm de diamètre.

Les feuilles sont en éventail, longuement pétiolées de 1m à 1.5m de long disposées en touffes terminales. le pétiole à base engainante et à section triangulaire, puis à section plane et convexe dessous avec les bords munis d'épines minces et arquées de 2mm à 5mm de longueur.

Les pays où l'on rencontre naturellement le doum sont : Arabie saoudite, Benin, Burkina, Cameroun (nord), Centre-Afrique (nord), Egypte, Kenya (nord), mali, Mauritanie, Niger, Nigeria [27].



Figure. II.14 : La plante du palmier nain (doum).

II.3.1.13. L'artichaut (cynara) :

Une plante nommée « cynara » était connue chez les grecs et les romains, les graines se récoltent après complet dessèchement de la fleur, la plante est cultivée, surtout comme bisannuelle ou trisannuelle, la reproduction par graine à un caractère plus aléatoire que par œilletons.

L'artichaut présente une tige dressée d'une hauteur pouvant aller jusqu'à 2m, épaisse et cannelée, avec des grandes feuilles, de tailles variables sur un même pied, les supérieurs pennatifides, lobées ou presque entières, les autres pennatipratites [28].



Figure. II.15 : La plante de l'artichaut (fibre du cœur et tiges).

II.4. Les charges et les additifs :

II.4.1. Les charge : La charge est toute substance inerte, minérale ou végétales qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécanique, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface.

Chapitre II : Généralité sur la fibre végétale et la fibre de carbone

Ces charge sont des poudres et les farines du réduisent le cout de l'opération de moulage diminuent le retrait, améliorent quelques fois la résistance mécanique du matériaux permettent souvent l'amélioration des propriétés diélectriques, augmentation de la résistance mécaniques et la chaleur et l'humidité [29].

Il s'agit de matière organique, minérale, métallique ou synthétique permettant de modifier de manière sensible les propriétés du matériau composite.

- **La charge minérales** : Carbonates de calcium ou de magnésium, silices, sulfates, brique, le mica, le talc.
- **La charge organiques** : Fibres et poudre de cellulose, farine de bois, poudre de noyaux des fruites.
- **La charge métallique** : Poudre ou paillettes de nickel, cuivre ...etc.
- **La charge synthétique** : Microbilles de verre, fibre de nylon [29].



Figure. II.16 : Les charges (poudre de brique, poudre de nickel, poudre de cellulose, farine du bois).

II.4.2. Les additifs :

Il s'agit de la substance ajoutée à la résine pour modifier ou améliorer le comportement rhéologique ou les propriétés du produit fini :

- Accélérateurs et catalyseurs de polymérisation.
- Diluants.
- Plastifiants ou flexibilisateurs.
- Tensio-actifs.
- Pigments et colorants.
- Anti-oxydants, anti UV, anti-statiques, anti-ozones.

II.5. Les techniques de l'extraction des fibres végétales :

On cite trois méthodes principales pour l'extraction des fibres végétales sont :

II.5.1. L'extraction mécanique [27]:

- **le teillage** : cette méthode consiste à séparer le bois des tiges par action mécanique broyage et battage.
- **Par déflexion** : l'extraction des fibres se fait par action combinée de grattage et de battage, râpent les feuilles de la plante et libèrent les fibres.
- **Par laminage** : les tiges sont découpées en morceaux qui sont ensuite écrasés sous presse ou par laminage ou encore par combinaison des deux traitements. Ceci est effectué plusieurs fois jusqu'au les fibres soient le plus possible séparées.

II.5.2. L'extraction chimique [27]:

Plusieurs méthodes basées sur la séparation chimique de cellulose des autres composants non cellulosiques. Elles permettent d'éviter les inconvénients de l'extraction mécanique, et surtout un gain de temps et d'énergie considérables.

Dans cette section, nous présentons les principales méthodes d'extraction chimique des fibres végétales :

- Le procédé alcalin visant à éliminer la lignine, les pectines et les hémicelluloses sous l'action d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH).
- Le procédé au bisulfite permet de séparer la lignine des fibres de cellulose en utilisant divers sels de l'acide sulfurique.

II.5.3. L'extraction biologique [25]:

- **Le rouissage à l'eau** : Ce type de rouillage basé sur que les tiges est plongé dans l'eau pendant plusieurs jours.
- **Par action microbienne** : les microbiens sont capables de dégrader les composants non cellulosiques présents dans les tiges ou les feuilles des plantes.

II.6. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts des matériaux composites [23]:

Ces fibres présentent de nombreux avantages comme renforts des matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel.

Les principaux avantages et inconvénients sont rassemblés ci-dessous :

II.6.1. Les avantages des fibres végétales :

- Faible coût.
- Biodégradabilité
- Neutre pour l'émission de CO₂.
- Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation.
- Pas de résidus après incinération.
- Ressource renouvelable.
- Demande peu d'énergie pour être produite.
- Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité).
- Isolation thermique et acoustique parfaite.
- Non abrasif pour les outillages.

II.6.2. Inconvénients :

- Absorption d'eau.
- Faible stabilité dimensionnelle.
- Mauvaise tenue en vie
- Glissement.
- Faible tenue thermique (200 à 230 C°).
- Fibres anisotropes.
- Variation de qualité en fonction du lieu de croissance de la météo.
- Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock.
- Renfort discontinu.

II.7. Conclusion :

Les fibres végétales présentent de nombreux avantages (faible coût, ressource renouvelable, biodégradabilité, propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)). Les propriétés mécaniques et physiques de fibres varient considérablement, ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique structurale et dépendent du type de la fibre. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre.

Partie pratique

Chapitre III :

PREPARATION DES FIBRES.

III. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons décrire le protocole expérimental que nous avons retenu pour l'extraction des fibres d'artichaut et la démarche suivie. Et nous avons mentionné que l'on peut mettre en œuvre un procédé d'extraction chimique des fibres cellulosiques. Cette technique a été effectuée pour dégrader et éliminer des deux principaux composants de liaison, la lignine et le pectine. L'objectif étant de produire des fibres fines. Il n'est pas nécessaire d'éliminer l'hémicellulose car elle colle les filaments cellulosiques pour former des fibres. Les résultats ainsi obtenus vont nous permettre d'envisager la possibilité d'une éventuelle utilisation industrielle pour des applications divers (renforts dans les matériaux composite). En suite à l'approche détaillée d'évaluation qualitative des fibres obtenus par ce mode d'extraction, ceci par l'étude de leurs morphologies, leurs propriétés physico-chimiques et leurs caractéristiques mécaniques.

III. Présentation de la matière première et préparation des fibres :

III.1 Présentation de la matière première (l'artichaut et la tige) [30]:

L'artichaut « cynara scolymus » est un légume fleur, dicotylédones de la famille des astéracées. Est une plante « vivace » grâce à son rhizome. Sa longévité peut être de quinze ans. Les inflorescences sont de capitules, on se nourrit de la base des bractées et des réceptacles de chaque capitule. Le goût particulier de chacune de ces parties est du à un produit semblable à l'amidon appelé inuline



Figure. III.1 : L'artichaut (violet du Provence).

L'artichaut présente une tige dressée d'une hauteur pouvant aller jusqu'à 2 m, épaisse et cannelée, avec de grande feuilles, de tailles variables.



Figure. III.2 : Les tiges d'artichaut.

III.1.1. Description [30]:

Vivace, la plante est cultivée sur tout comme bisannuelle ou trisannuelle. La reproduction par graine à un caractère plus aléatoire que par œilletons. L'artichaut présente une tige dressée d'une hauteur pouvant aller jusqu'à 2 m, épaisse et cannelée, avec de grandes feuilles largement découpées, souvent épineuses.

La partie comestible est un capitule, inflorescence récoltée avant que les fleurs ne se développent. Ce qu'on appelle fond d'artichaut est le réceptacle floral de cette inflorescence quand aux feuilles, dont on consomme la base, ce sont les bractées d'involucre, lorsqu'on laisse l'artichaut se développer, il se forme à son sommet une fleur dont la couleur varie du bleu au voiler. Comme l'artichaut est une plante composée, il ne s'agit pas d'une fleur, mais d'un ensemble de fleurs appelées fleurons chaque fleur se présente sous forme d'une touffe de poils appelée aigrette ayant un minuscule ovaire (futur fruit) à sa base .c'est l'ensemble de ces fleurons qui constitue le foin des artichauts que l'on consomme.

III.1.2. Morphologie de la tige de l'artichaut [31] :

Épaisse et à entre-nœuds très courts peut mesurer 15 à 20 cm de long sur 4 à 8 cm de diamètre. Une moelle très abondante (1/3 à 1/2 de la section) très sensible au gel. Un anneau vasculaire assez réduit et donc éventuellement incapable d'assurer une bonne alimentation hydraulique lors de fortes demandes climatiques.

III.1.3. Caractéristiques de la matière première (artichaut) :

Tableau. III.1 : Valeur nutritive pour 100g d'artichaut.

Artichaut (valeur nutritive pour 100 g de la matière fraîche)			
Eau : 84.9g	Cendre totales : 1.1g	Fibres : 5.4g	Valeur énergétiques : 193 KJ
Protéines : 3.3g	Lipides : 0.2g	Glucides : 10.5g	Sucres simples : 5.1g

III.1.4. Principales variétés d'artichaut [32] :

- Les blancs :
 - Le camus (camus de Bretagne) : Le plus gros des artichauts (300 à 500 g/pièce), son capitule, vert tendre à une forme très arrondie aux bractées très serrées, courtes et large, il est produit de mai à novembre dans l'ouest de France, notamment en Bretagne.

- **Le gros vert de Laon (vert d'Italie où tête de chat) :** Proche du camus, mais plus rustique et mieux adapté au froid, de forme arrondie, avec un capitule plus petit que le camus.
- **Le castel :** Proche du camus, duquel il dérive par croisements, il conserve mieux son aspect et sa couleur en grande distribution.
- **Le blanc hyérois :** Le blanc hyérois à des bractées vertes et assez étroites, cultivé en Roussillon.
- **Le macau :** Proche du vert de Laon, produit principalement en Gironde, près de village éponyme.
- **Le blanc d'Espagne (Tudela d'Espagne).**
- **Le saki de Turquie.**
- **Les violets :**
 - **Le violet de Provence où d'Algérie (bouquet) :** Assez petit (moins de 100 g/pièce) et de forme conique, avec des bractées violacées. Il est très cultivé en région méditerranéenne et se récolte de mars à mai, puis de septembre à décembre.
 - **Les gris (gris d'Oran) :** Dont une sous-variété d'artichaut quarantin.

III.1.5. Utilisation [33]:

Les têtes d'artichaut sont consommées, soit crues soit cuites. Le petit artichaut violet poivrade est consommé entier, ou pelé et cuit rapidement. Certaines variétés de violets se mangent spécialement crues. Les vraies feuilles, celles qui poussent le long de la tige, qu'on récolte à des fins médicinales, sont également comestibles (blanchies ou cuites). La feuille est utilisée pour produire diverses boissons apéritives, dont le cynar, le vin d'artichaut. Le foin séché est utilisé pour cailler le lait. L'artichaut cuit s'oxyde rapidement (est son jus de cuisson vert ou violet), et peut donner naissance à des composés toxiques. C'est pourquoi il est préférable de le consommer rapidement, et d'éviter de le conserver (même au frais) après cuisson.

III.2. Préparation des fibres (fibres, matériels, produits) :

III.2.1. Produits et matériels :

L'eau distillée :

L'eau distillée est une eau qui subit une distillation, donc est théoriquement exempte de certains sels minéraux et organismes que l'on pourrait retrouver dans « l'eau naturelle ». Elle contient idéalement des molécules H₂O, des gaz dissous comme O₂ et CO₂.



Figure. III.3 : L'eau distillée.

L'hydroxyde de sodium :

L'hydroxyde de sodium pur est appelé soude caustique. Dans les conditions normales, il se trouve sous forme solide cristalline. C'est un corps chimique minéral composé de formule chimique NaOH , qui est à température ambiante un solide ionique.

Masse molaire : 39.997

g/mol. Formule : NaOH .

Masse volumique : 2.13 g/cm^3 .

PKa : Base forte.

Peau : irritant.

Nom IUPAC : sodium hydroxide.



Figure. III.4 : Hydroxyde du sodium solide.

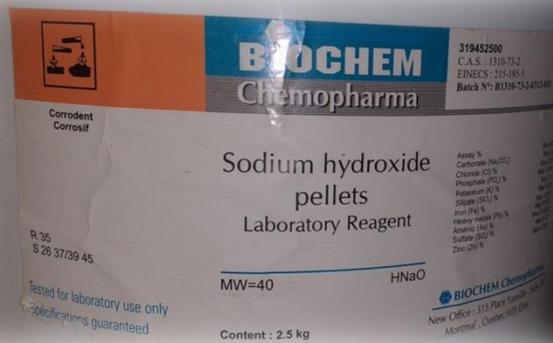


Fig. III.5 : Boite d'hydroxyde du sodium solide.

III.2. La fibre végétale :

La fibre végétale utilisée est origine la tige de l'artichaut.



Figure. III.6 : Les tiges d'artichaut après le pré lavage.

III.2.3. Matériels utilisés :

Brosse métallique.

Couteau fin.

Balance électrique.

Agitateur électro-magnétique.

Barreau magnétique.

Spatule.

Étuve électrique (séchage).

Bécher 1L.

Récipients.

III.3. Méthode de préparation :

III.3.1. Préparation des fibres d'artichaut :

Avant de commencer l'extraction des fibres, un travail préliminaire s'impose afin de mieux préparer les tiges au protocole d'extraction, cette préparation va faciliter et augmenter l'efficacité de la prochaine opération d'extraction. Les tiges contiennent parfois de la terre, des racines, de la poussière ou tout autre type d'impures. Des tiges mortes sont quelques fois présentes dans le lot. La première opération consiste à éliminer toutes ces impuretés ou corps étrangers de façon à n'avoir que des tiges propres et utilisables. Ensuite nous découpons les extrémités des tiges parce qu'elles présentent la variation la plus importante du diamètre.

Ensuite les tiges sont divisées en trois quantités distinctes. Elles sont ensuite lavées puis séchées à température ambiante.

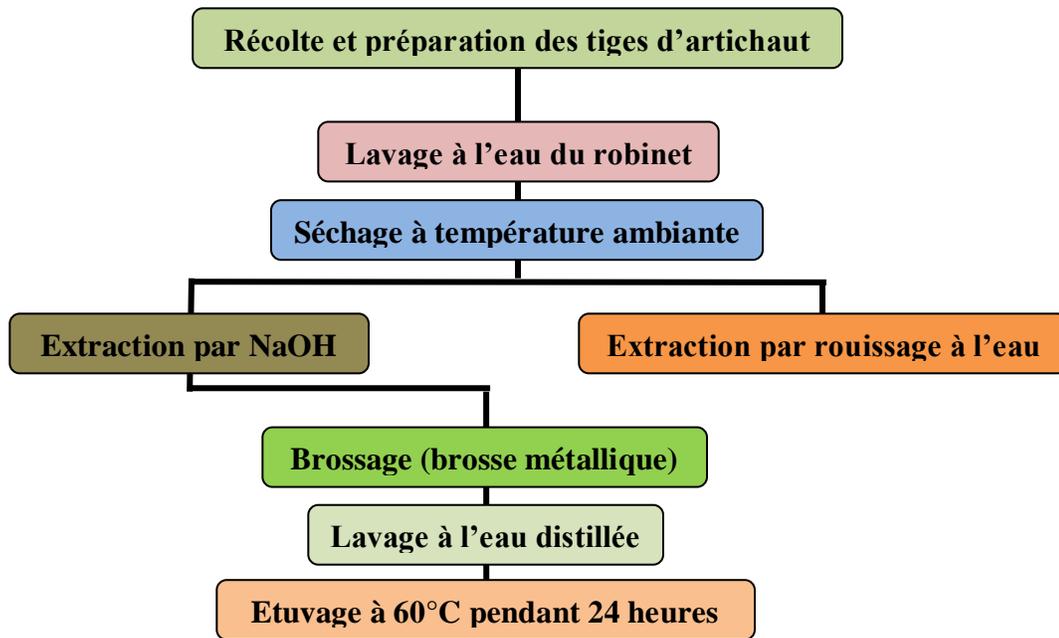


Figure. III.7 : Organigramme représente les étapes de l'extraction.



Figure. III.8 : Les tiges d'artichaut avant et après le pré-lavage.

Remarque : Après le pré-lavage on laisse les tiges sur la paille (table de manipulation) pour un séchage de 20 min à l'air libre.

III.3.2. Extraction chimique :

Plusieurs méthodes brasses sur la séparation chimique de la cellulose des autres composants non cellulosiques existent dans la bibliographie. Elles permettent d'éviter les inconvénients de l'extraction mécanique, et surtout un gain de temps et d'énergie considérable. Dans notre cas, nous avons choisi l'extraction par NaOH.

Dans ce travail nous avons utilisé une méthode d'extraction chimique. Elle est basée sur la séparation chimique de la cellulose des autres composants non cellulosiques. Le procédé à la soude est utilisé pour dissoudre les substances non cellulosiques telles que la lignine, la pectine et l'hémicellulose, ainsi que les différents constituants formant la réserve et la paroi extérieurs de la tige de la plante. Il est conseillé de contrôler le pH de la solution et l'ajuster autour de 7. Des réducteurs peuvent être rajoutés pour empêcher l'oxydation de la cellulose. La température, la pression, la concentration et la durée de l'extraction sont à définir de façon à ne pas dégrader les fibres cellulosiques.

III.3.3. Préparation de la solution NaOH :

Nous dissolvant de l'hydroxyde de sodium dans l'eau distillée à l'aide d'un agitateur pour obtenir une solution de NaOH à des concentrations de 2%, 6% et 10%.

La deuxième étape consiste à laver les fibres et les mettre ensuite dans les solutions de NaOH préalablement préparées. Les fibres sont ensuite lavées puis traitées pendant deux minutes dans H_2SO_4 , à 2% suivi d'un lavage méticuleux jusqu'à l'obtention d'un pH autour de 7.

L'acide sulfurique à pour but de stopper la réaction des tiges d'artichaut avec la soude afin d'éviter la dégradation de la matière cellulosique. On emploie par la suite des peignes métallique pour extraire les fibres, qui sont lavées avec l'eau distillée, égouttées à temperture ambiante puis séchée dans une étuve pendant 24 heures à 60°C.

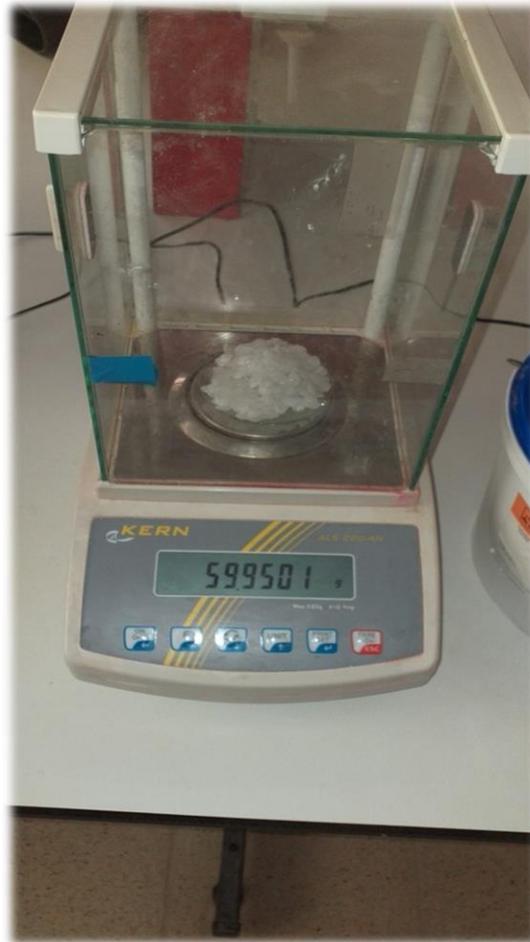


Figure. III.9 : La balance électrique (durant le mesurage du NaOH).



Figure. III.10 : Les trois récipients (le premier à une concentration 10% et le deuxième à 6% et le troisième à 2%).

III.4. L'extraction mécanique des fibres :

Pour extraire les fibres, nous avons utilisé une extraction mécanique par brossage. Les fibres obtenues sont nommées fibres d'artichaut.



Figure. III.11 : L'extraction mécanique des fibres (brosse métallique).



Figure. III.12 : Etuve électrique (séchage des fibres).



**Figure. III.13 : Les tiges d'artichaut après 15 jours du repos dans
Une solution de (NaOH-H₂O (distillée)).**



Figure. III.14 : Les tiges d'artichaut durant l'extraction des fibres.



Figure. III.15 : Les fibres d'artichaut après l'extraction.

III.5. Préparations des tiges (séchage des fibres) :

Cette étape est basée sur le séchages des fibres d'artichaut issu de l'extraction par deux méthode (par l'étuve électrique où bien à l'air libre) mais avant de le faire il vaut mieux laver les fibres avec l'eau douce (l'eau de robinet) pour l'élimination des traces du NaOH, en suite après le lavage des fibres il faut exposer les fibres à l'air libre pour un séchage naturel où bien un séchage assisté, on utilise l'étuve électrique fixée en 60°C.



Figure. III.16 : Les fibres d'artichaut avant et après le séchage.



Figure. III.17 : Un échantillon des fibres d'artichaut après le séchage.

III.6. Comparaison entre les trois récipients après la préparation des fibres :

Tableau. III.2 : Comparaison entre les trois récipients après la préparation des fibres.

	Récipient 1	Récipient 2	Récipient 3
Concentration de NaOH (g/l)	100g/l	60g/l	20g/l
La masse totale de NaOH par chaque récipient qui contient 3L d'eau distillée (g)	300g	180g	60g
Extraction des fibres	Très facile	facile	Moyenne
L'influence du NaOH sur les fibres	Influence parfaite	Influence bonne	Influence moyenne
La masse des tiges d'artichaut (Kg)	2 Kg	2 Kg	2 Kg
La masse des fibres extraite (g)	83 g	62 g	58g

L'interprétation du tableau :

Pour commencer l'interprétation de ce tableau il faut présenter les trois récipients qui contiennent différents pourcentages de concentration de NaOH, pour chaque récipient la masse de NaOH solide est différente aux autres récipients (le premier récipient contient 300g de NaOH par 3 litre d'eau distillée, le deuxième récipient contient 180g par 3 litre d'eau distillée et le troisième récipient contient 60g par 3 litre d'eau distillée).

L'extraction des fibres pour les trois récipients est différente concernant le premier récipient est très facile et les fibres seront bien fixées dans la tige, pour le deuxième est facile parce que la concentration de NaOH dans l'eau distillée est élevée, pour le dernier récipient l'extraction est moyenne car la concentration est moins élevée que les deux premiers.

L'influence du NaOH sur les fibres est basée sur la concentration du NaOH utilisée avec l'eau distillée, dans notre cas quand la concentration est très élevée les fibres vont influencer parfaitement par le NaOH et dans l'autre sens quand la concentration de NaOH est moins élevée ou faible l'influence du hydroxyde de sodium va réduite.

Remarque : Nous avons fait un quatrième récipient qui contient seulement l'eau distillée dans ce récipient y'avais pas de NaOH, dans ce dernier on à pas pu de faire une extraction facile, En bref l'extraction est très difficile car y'a pas d'influence chimique du NaOH, dans la solution Eau distillée seulement la concentration est nulle et l'influence est nulle aussi.

III.7. Conclusion :

Ce chapitre vise à éliminer les fibres d'artichaut (tiges d'artichaut) par l'extraction est une manière chimique en utilisant de l'hydroxyde du sodium, ce travail il va passer par des étapes et va subir à une période du temps elle dure (10 à 15) jours dans une solution aqueuse et enfin les fibres passent par l'étape de séchage.

Conclusion générale :

L'objectif qui avait fixé à l'origine de ce travail était étudié la possibilité d'extraire des fibres longues à partir des tiges d'artichaut, très abondant en Algérie et notamment dans le nord d'Afrique.

Dans ce cadre d'étude en premier temps, nous avons localisé les fibres au niveau des tiges, avant d'étudier la méthode d'extraction des fibres logues, par ailleurs, nous avons commencé par un mode de traitement établie sur quatre étapes :

Le prétraitement concerne l'élimination du contenu cellulaire. Ensuite la séparation des fibres par un traitement chimique.

L'élimination des impuretés par un brossage mécanique. Après la maîtrise des techniques d'extraction, l'étape du prétraitement à été éliminé et le procédé à été limité à un traitement par la soude pour la séparation des fibres suivie par un lavage à l'eau de robinet avant d'éliminer les impuretés par un cardage manuel.

Après avoir réussi à déterminer les étapes essentielles du procédé, l'optimisation des différents paramètres d'extraction parait nécessaire, et pour cela nous avons étudié deux paramètres, la concentration de la solution NaOH et la durée de traitement.

La maîtrise de ces deux paramètres vont aider d'améliorer le rendement de l'extraction dont le meilleur rendement obtenu à une concentration de 10g/l de NaOH et une durée de traitement de 5 jours, une fois le procédé de l'extraction à été maîtrisé, on va passer à la caractérisation des fibres d'artichaut.

La caractérisation concerne les propriétés physique, et mécanique et biochimique des fibres d'artichaut. (cette étape de travail n'a pas été terminée en raison sanitaire de COVID 19).

Ces propriétés peuvent être améliorer par l'utilisation des différents traitements, selon la biographie, nous avons réalisé que le traitement chimique pour modifier la surface des fibres, la mise en évidence de la modification à été examinée par l'analyse infrarouge (IRTF), rayon X (DRX), le teste thermogravimétrique (TGA), l'angle de contact spectrophotomètre et le teste de traction mécanique pour arriver à déterminer l'impact de ce traitement sur les propriétés de la paroi des fibres traitées, en l'occurrence, le teste de traction mécanique permet de voir le rapport entre la modification de la surface des fibres et leur propriétés mécanique. Alors que le teste de la réflexion lumineuse permet de voir le changement de la couleur des fibres traitées.

La valorisation des fibres d'artichaut dans le domaine de renforcement est apparu possible par rapport aux résultats qui normalement obtenue.

Perspectives :

Pour une poursuite de ce travail, nous avons formulé les perspectives suivantes ;

La bonne connaissance des facteurs jouant sur la variabilité des fibres, une étude s'intéressant à faire le lien entre les facteurs environnementaux et les caractéristiques des fibres paraît nécessaire. La compréhension de ce lien et de qualité pour pouvoir être compétitive sur le marché des fibres. Aussi, faire une étude bien définie sur les fibres d'artichaut paraît très enrichissant sur le plan scientifique. Trouvez d'autres applications pour valoriser les fibres d'artichaut pourrait éveiller l'intérêt des industries cibles à vie espèce.

Référence :

- [1] : Berreur. L, Maillard, B et Nosperger. S, « **Industrie française des matériaux composite** », ministère de l'économie des finance et de l'industrie, p.1-47, 2002.
- [2] : Zakariya Boufaïda, « **Analyse des propriétés mécanique de composites taffetas verre/matrice acrylique en relation avec les propriétés d'adhésion des fibres sur la matrice** », Thèse de doctorat, université de lorraine, France, 2015.
- [3] : Laurent Gornet, « **Généralité sur les matériaux composites** », Ecole centrale Nantes, France, 2001.
- [4] : Robert Tony, The carbone fibre industry worldwide 2011-2020, “**an evaluation of current market and future supply and demand**”, 2011.
- [5] : Jérémie Aucher, « **étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable** », Thèse de doctorat, INSA de Rouen, France, 2009.
- [6] : Benkerrouche Alaaeddine, « **Formulation et caractérisation d'un béton polymère renforcé par des fibres végétales et filler de brique** », mémoire du master académique, université Mohamed Boudiaf, M » sila, 2017.
- [7] : Ericka Joao Jules, « **Couplages entre propriétés thermiques, réactivités chimique et viscosité des matériaux composites thermodurcissable en relation avec les conditions de sur élaboration fondée sur l'hystérésis diélectrique** », Thèse doctorat, école nationale supérieure d'art et métiers, paris, 2001.
- [8] : Laarej Merad, « **Etude par spectroscopie RAMAN et modélisation d'une résine composite RTM** », Thèse de doctorat, université de Tlemcen, 2011.
- [9] : Mohamadi Sadika, « **Cours matériaux composites** », 2013-2014, université de Bouira.
- [10] : Merdas Abdelghani, « **Utilisation du TFC ans la réparation et le renforcement des poutres en BA** », Thèse de magister, université des frère Mentouri, Constantine, 2005.
- [11] : Pierre Badel, « **Analyse microscopique du comportement mécanique des renforts tissés de composites utilisant la tomographie au rayons X** », Thèse de doctorat, école doctorale mécanique énergétique, génie civil, acoustique (MEGA), France, 2008.

- [12] : J-M. Berthelot, **Matériaux composites-comportement mécanique et analyse des structures**, 3eme éd, p.642, 1999.
- [13] : Baali Hafida, « **étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère** », mémoire master, université de M'sila, 2005.
- [14] : Lionel Gendre, « **matériaux composite et structures des composites** », université Paris-Saclay, 2011.
- [15] : Cours de MDS II chapitre 5, « **les polymère composites** », département génie civil, université de Sétif, 2001.
- [16] : Vivi Do Thi, « **Matériaux composites à fibres naturelle et polymère biodégradable** », université de gemoble, 15 décembre 2011.
- [17] : Belkacemi Cherifa, « **Etude expérimentale du comportement mécanique des stratifiées à renforts en matière végétale** », mémoire magister, université M'Hamed Bouguerra, Boumerdes, 2003.
- [18] : Bezato Zita Ferdo, « **les palmiers dattiers, étude de la filière, utilisation et diversité variétale** », mémoire DEA, université de Toliara, Domaine biologie végétales, 1999.
- [19] : Troyes. S, « **Fibres et renforts végétaux solutions composite** », Fibres Recherche Développement (FRD), France, 2012.
- [20] : Gassan. J, « **composite reinforced with cellulose based fibres** », Progress in Polymere science, p.221-274, 1999.
- [21] : Sedan. D, « **étude des interactions physico-chimiques aux interface fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite** », Thèse de doctorat, université de Limoges, France, 2007.
- [22] : Bates. J, « **les fibres naturelles pour les composites** », Octobre 2014.
- [23] : Rachedi. M, « **contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre base de sable renforcé par des fibres de palmier dattier** », Thèse magister, université de Kasdi Merbah, Ouargla, 2013.
- [24] : Sofien Bouzouita, « **Optimisation des interfaces fibre-matrice de composite à renfort naturel** », Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, janvier 2013.
- [25] : Carma. F, « **Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable** », centre d'animation générale en matériaux avancés, 2002.
- [26] : Mokhtai Abdessamed, « **influence des ajouts de fins minérales sur la performance mécanique des beton renforcé de fibre végétales de palmier dattier** », mémoire master, université Kasdi Merbah Ouargla, 2006.

- [27] : Daghefel Azzedine, « **Etude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé par des fibres végétales** », mémoire master, université de M'sila, 2010.
- [28] : Belaid. A, Benghaoua. C, « **Amélioration des taux de manipulation chez deux clones d'artichaut (Cynara Scolymus L) le violet d'Alger et le violet hyérois** », mémoire master académique, université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2019.
- [29] : Yahiaoui Lamia, « **Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales** », mémoire magister, université Ferhat Abbas, Sétif, 2003.
- [30] : Barut.M, Chevalier. G, « **Etude sur la culture de l'artichaut en Algérie** », 2001.
- [31] : Foury. C, Pochard. E, Charbonnet D, « **Les clones d'artichaut violet de Provinces sélectionnée par l'INRA et multipliés par le CTIFL** », CTFIL Document p.1-6, 1999.
- [32] : FAO/PNUD, Quelques aspects techniques de la culture de l'artichaut, 2014.
- [33] : Bouthaina Dridi, « **Etude un système intègre de micro propagation de l'artichaut (cynara scolymus l)** », 2002-2003.

