

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique
جامعة غرداية
Université de Ghardaia
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil



Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme **de Master**
En : Génie Civil
Spécialité : Structure

Par : REHIOUI Mohamed Lamine
OULAD MANSOUR Ahmed

Sujet

Propriétés physico-mécaniques des mortiers de ciment
renforcés de fibres de palmier dattier traitées.

Soutenue publiquement, le 10/09/2020, devant le jury composé de :

E G. DAHEUR	MCB	Univ. Ghardaia	Président
M N. AZIEZ	MAB	Univ. Ghardaia	Encadrant
E N. AMIEUR	Magistère	L.T.P.S de Ghardaia	Examineur
I. SAITI	MAA	Univ. Ghardaia	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

DÉDICACES

A mon père et ma mère.

A toute ma famille.

A mes amis.

Aux vrais savants, modestes au Dieu

RESUME

Au cours de ces dernières années, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'exploitation de la fibre naturelle en tant que renfort pour les matériaux de construction.

L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés physico-mécaniques des mortiers à base de ciment renforcés de fibres de palmier dattier (DPM) brutes et traitées à l'eau chaude, et combinés par NaOH. Deux températures de traitement ont été examinées, 80 °C et 100 °C, avec différents pourcentage de fibres aux taux respectifs de 0.5%, 1% et 1.5%

Les résultats montrent une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation de la teneur en fibres. Le traitement combiné avec NaOH à un effet remarquable sur la performance des mortiers.

Mots clés

Résistances à la compression, Fibres naturelles, Traitement, Température, Fibre de palm, *Phoenix dactylifera*

ملخص

في السنوات الأخيرة ، يهتم العديد من الباحثين باستخدام الألياف النباتية الطبيعية كتعزيز لمواد البناء. الهدف من هذا العمل هو دراسة الخواص الفيزيائية الميكانيكية للملاط الأسمنتي المعزز بألياف نخيل التمر الغير معالج والمعالج بالماء الساخن مع هيدروكسيد الصوديوم.. تم فحص درجتي حرارة للتجهيز ، 80 درجة مئوية و 100 درجة مئوية. بنسب مختلفة من الألياف النباتية 0.5% و 1% و 1.5% أظهرت النتائج انخفاضاً في مقاومة الضغط مع زيادة محتوى الألياف. العلاج المشترك مع هيدروكسيد الصوديوم له تأثير ملحوظ على أداء الملاط.

كلمات مفتاحية :

المقاومة الميكانيكية ، الألياف الطبيعية ، المعالجة ، درجة الحرارة ، ألياف النخيل

ABSTRACT

In recent years, several researchers have been interested in the use of natural fibres' as reinforcement for building materials.

The objective of this work is to study the physico-mechanical properties of cement-based mortars reinforced with date palm fibres (DPM) not treated and treated with hot water, and combined with NaOH. Two processing temperatures were examined, 80 °C and 100 °C, with different percentage of fibres at the respective rates of 0.5%, 1% and 1.5%.

The results show a decrease in compressive strength with increasing fibres content. The combined treatment with NaOH has a remarkable effect on the performance of mortars.

Keywords

Compression strength, Natural fibres, Treatment, Temperature, Palm fibres, *Phoenix dactylifera*

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	I
RESUME	II
ملخص	III
ABSTRACT	IV
TABLE DES MATIERES	V
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX	IX
INTRODUCTION GENERALE	1
QUESTION DE RECHERCHE :	4
DANS CE CONTEXTE NOTRE TRAVAIL EST SUBDIVISE :	4
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES FIBRES NATURELLES	5
I.1. INTRODUCTION :	5
I.2. LES FIBRES VEGETALES :	6
I.2.1. Définition de la fibre végétale :	6
I.2.2. Classification des fibres végétales :	6
I.2.3. Structure de la fibre végétale :	7
I.2.3.1. La cellulose :	8
I.2.3.2. L'hémicellulose :	9
I.2.3.3. La lignine :	10
I.2.3.4. Pectines :	11
I.2.3.4. Extractibles :	11
I.3. UTILISATION D'APPLICATIONS LES FIBRES NATURELLES :	12
I.4. PROPRIETES MECANIQUES DES FIBRES VEGETALES :	14
I.5. PROPRIETES CHIMIQUES DES FIBRES VEGETALES :	15
I.6. PROPRIETES PHYSIQUES DES FIBRES VEGETALES :	16
I.7. UTILISATION DES FIBRES VEGETALES DANS LA CONSTRUCTION :	19
I.8. REPARTITION DE LA PRODUCTION MONDIALE DE FIBRES VEGETALES	19
I.9. REPARTITION GEOGRAPHIQUE DE FIBRES VEGETALES EN ALGERIE :	21
I.10. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FIBRES VEGETALES :	21
I.11. CONCLUSION :	22
CHAPITRE II : METHODES DE MODIFICATION DE LA SURFACE DE LA FIBRE	23
II.1. INTRODUCTION :	23
I.2. METHODES DE MODIFICATION DE LA SURFACE DE LA FIBRE :	23
II.2.1. Traitement physique :	25
II.2.2. Traitement chimique :	25
II.2.2.1. Traitement Alcalin (NaOH) :	25

II.2.2.2.Traitement par les silanes :	27
II.3.TRAITEMENT COMBINE :	28
II.3.1.Traitements physico-chimiques :	28
II.3.2.Traitement alcalin – silane :	29
II.3.3. Alcaline - Vapeur / traitement thermique :	29
II.4. CONCLUSION :	30
CHAPITRE 3 : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES	31
III.1. INTRODUCTION :	31
III.2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS :	31
III.2.1. Ciments :	31
III.2.2. Sables :	32
III.2.3. Fibres de palmier :	33
III.3. MÉTHODE DE FORMULATION DES COMPOSITES CIMENTAIRES	34
III.4. TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER :	34
III.4.1.Traitement thermique à 100°C :	35
III.4.2. Traitement thermique à 80 °C :	36
III.4.3. Traitement combiné	36
III.5. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES	37
III.5.1. Essai de traction par flexion :	37
III.5.2. Essai de compression :	38
III.5.3. Absorption capillaire :	38
III.6. CONCLUSION :	39
CHAPITRE 4 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS	40
IV.1. INTRODUCTION :	40
IV.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION :	40
IV.3. RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION:	42
VI.4. PROPRIETES PHYSIQUES :	44
IV.5. CONCLUSION	45
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	46
REFERENCES	48
ANNEXE A	53

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE	
Figure 1 - Utilisation de béton dans différents domaine.....	1
Figure 2 - Le CO ₂ associé à la fabrication du ciment Portland.....	1
Figure 3a - Palmier dattier.....	2
Figure 3b - Palmier dattier.....	3
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES FIBRES NATURELLES	
Figure I.1 - Classification des fibres naturelles.....	7
Figure I.2 - (a) Structure complète de la fibre de chanvre dans un faisceau. (b) Structure fibrillaire de la fibre de chanvre.....	8
Figure I.3 - Structure moléculaire de la cellulose.....	9
Figure I.4- Organisation des composants cellulosiques dans la paroi cellulaire d'une fibre végétale typique.....	9
Figure I.5- Structure de l'hémicellulose (xylane) constituée d'un squelette xylopyranose, avec des branches latérales d'acide glucuronique (1 → 2) et d'arabinofuranose (1 → 3).....	10
Figure I.6 - Structure des précurseurs de la lignine.....	11
Figure I.7- Source de fibres végétales.....	13
Figure I.8 - Prix des produits de fibres végétal.....	13
Figure I.9 - Les propriétés mécaniques moyennes de différents types de fibres naturelles.....	15
Figure I.10 - Analyse chimique de certains fibres naturelles.....	16
Figure I.11- Teneur en humidité de certains VF sélectionnés.....	18
Figure I.12 - Taux d'absorption d'eau des fibres de palmier dattier en fonction du temps d'immersion.....	19
Figure I.13 - Répartition de la production mondiale de fibres végétales hors coton et bois.....	20
Figure I.14 - Gisement de Fibres végétales en Algérie.....	21
CHAPITRE 2 : METHODES DE MODIFICATION DE LA SURFACE DE LA FIBRE	
Figure II.1- Méthode de modification de fibre.....	24
Figure II.2 - Structure typique de la fibre lignocellulosique (i) non traitée et (ii) et après traitement alcalin.....	26
Figure II.3- Réactions chimiques du traitement par un alcoxyde de silicium fonctionnalisé.....	28

CHAPITRE 3 MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES	
Figure III.1 - Sac de ciment CEM I / A 42,5.....	31
Figure III.2- Aspect général du sable calcaire ENG de Djelfa.....	32
Figure III.3 - Courbe granulométrique.....	32
Figure III.4 - (a) Plante et (b et c) fibres de palmier.....	33
Figure III.5- Longueur de fibres.....	34
Figure III.6 - Ebullition la fibre dans un récipient.....	35
Figure III.7 - Fibre après le traitement à l'eau chaux 100°C.....	35
Figure III.8 - Fibre après le traitement à 80°C.....	36
Figure III.9 - Traitement à 80°C + 1% NaOH.....	36
Figure III.10 - Fibres traités à 80+ 0.5% de NaOH.....	37
Figure III.11 - Eprouvette prismatique 4x4x16 cm ³	37
Figure III.12 - Dispositif de résistance à la flexion.....	38
Figure III.13 - Dispositif de résistance à la compression.....	38
Figure III.14 - Schéma du dispositif de l'absorption capillaire.....	39
CHAPITRE 4 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS	
Figure IV.1- Résistance à la compression des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 14 jours.....	40
Figure IV.2- Résistance à la compression des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 30 jours.....	41
Figure IV.3- Résistance à la traction par flexion des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 14 jours.....	42
Figure IV.4- Résistance à la traction par flexion des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 30 jours.....	43
Figure IV.5 - Absorption capillaire à 90 minutes des composites renforcés de fibres brutes et traitées, âgés de 30 jours.....	44

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES FIBRES NATURELLES	
Tableau I.1 - Composition chimique de quelques plantes à fibres.....	12
Tableau I.2- Domaines d'application des composites en fibres naturelles.....	12
Tableau I.3- Comparaison entre les avantages et les inconvénients des fibres végétales	22
CHAPITRE 3 : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES	
Tableau III.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé.....	33

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde. Ce choix universel est fondé sur des critères techniques de performances mécaniques, et la durabilité, et des critères économiques sont évalués à partir de la disponibilité et du coût des matières premières, de la facilité d'emploi et du prix de revient des matériaux en œuvre (Figure 1).

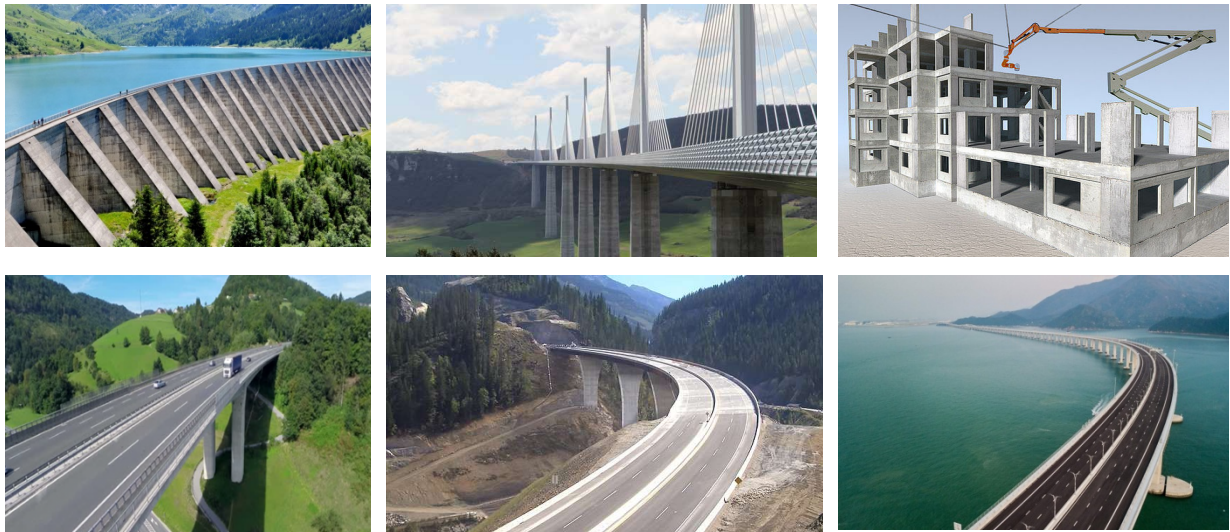


Figure 1 – Utilisation de béton dans différents domaines.

Actuellement, les études sur le changement climatique ont conduit à réfléchir à l'élaboration de matériaux constructifs moins émetteurs de CO₂, moins consommateurs de ressources non renouvelables et aussi largement recyclables que possible (Figure 2).

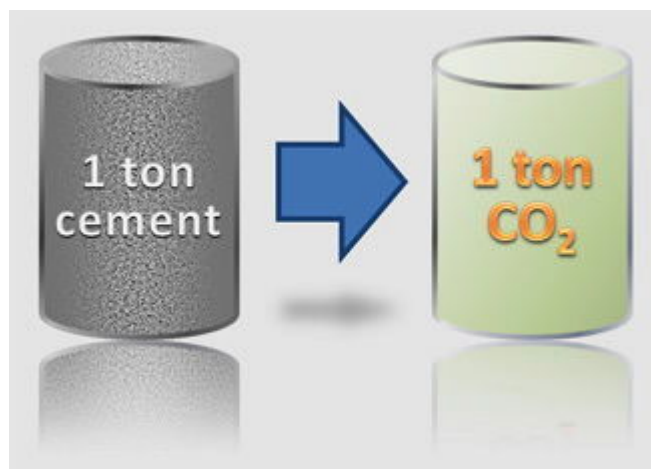


Figure 2 – Le CO₂ associé à la fabrication du ciment Portland.

Le renforcement par fibres végétales, dans un contexte de matrice à liant hydraulique, a déjà donné lieu à de nombreuses avancées pour obtenir un composite peu onéreux, moins émetteur de CO₂, aux propriétés thermiques et sonores intéressante et au comportement mécanique acceptable : bétons de chanvre, d'Alfa, de lin, de sisal, doum, diss,

Les composites fibres végétales / matrice cimentaire ont été beaucoup étudiés depuis ces derniers années car les fibres végétales possèdent beaucoup d'avantage comparés aux fibres d'amiante: le faible coût, des propriétés d'élaboration plus sains pour la production des composites de différentes formes, le renouvellement et le recyclage, alors que l'utilisation d'amiante a été mise en cause par la législation sur la santé.

L'Algérie possède des ressources naturelles renouvelables très importantes et parmi ces ressources, les palmiers dattiers. Plus de 18 millions de palmiers dattiers qui produisent plus de 800 variétés de dattes existent dans les oasis du sud Algérien. Les palmiers dattiers ont une structure fibreuse, avec cinq types de fibres: fibres de feuilles dans le pédoncule, fibre de la tige de pédoncule, badigeonner fibres de la tige, les fibres de bois dans le tronc et les fibres de surface autour du tronc (Figure 3ab).



Figure 3a- Palmier dattier.

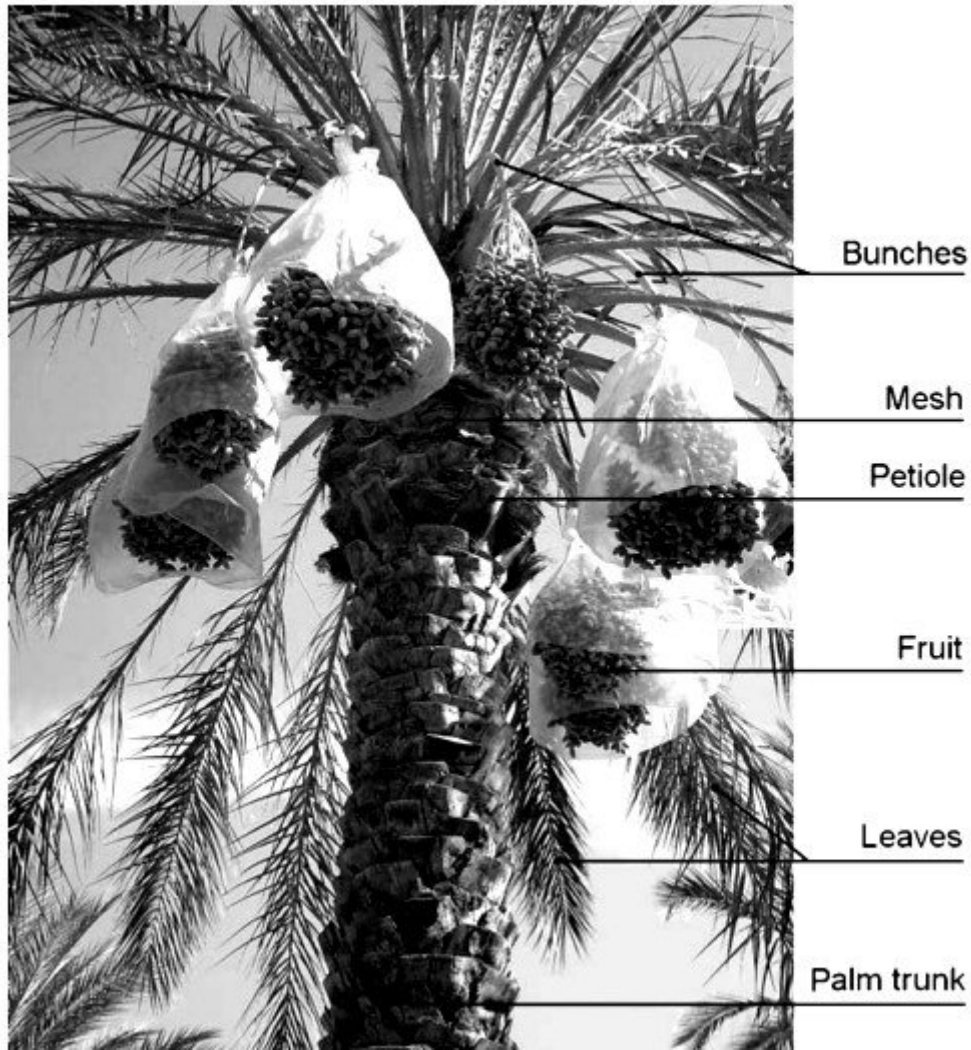


Figure 3b- Palmier dattier.

L'objectif de ce travail est l'élaboration et la caractérisation d'un nouveau matériau composite à matrice cimentaire renforcé par les fibres végétales de tronc de palmier. Plus précisément notre démarche repose sur la connaissance du comportement des fibres de palmier brutes et traités, afin de déterminer l'influence types du traitement chimique et thermique sur l'améliorer de certaines propriétés mécaniques (la flexion, compression) et physiques de composite à matrice cimentaire.

QUESTION DE RECHERCHE :

Actuellement, le développement de nouveaux produits de matériaux de construction se concentre sur les questions environnementales.

1. Comment développer de nouveaux matériaux pour la construction industrielle à faible impact environnemental avec une faible teneur en ciment et en fibres de palmier par extrusion?

Cette étude répondra à certains des nouveaux défis et trouvera des solutions pour la réponse suivante:

2. Comment améliorer les caractéristiques de la fibre de palmier pour renforcer les matériaux à base de ciment?

3. Est-ce que le traitement combiné de la fibre de palmier sera efficace pour améliorer certaines caractéristiques?

DANS CE CONTEXTE NOTRE TRAVAIL EST SUBDIVISE

Le premier chapitre présentera une synthèse bibliographique sur les fibres naturelles et ses composantes, à savoir la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Les connaissances actuelles concernant les fibres cellulosiques.

Le deuxième chapitre présentera les différentes voies de modification chimique et les méthodes d'extraction des différentes fibres végétales seront également décrites. Pareillement les matériaux composites renforcés par des fibres végétales seront présentés en donnant des exemples d'utilisation de ces matériaux dans différents domaines.

Le troisième chapitre nous décrit les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux utilisés. Nous présentons le programme expérimental adopté et l'approche méthodologique relative au choix et enfin nous décrivons les différents paramètres et grandeurs mesurées (résistance à la compression, traction par flexion, absorption capillaire).

Le quatrième chapitre présente les résultats et les interprétations des différents paramètres obtenues après 14 jours et 30 jours pour les différents types de traitements.

Ce travail sera achevé par une conclusion générale de l'ensemble des résultats tout en suggérant de nouvelles perspectives de recherche.

CHAPITRE 1 :

GENERALITE SUR LES FIBRES NATURELLES

I.1. INTRODUCTION :

L'industrie de la construction est l'un des secteurs majeurs et les plus actifs d'Europe. Il représente respectivement 28% et 7% de l'emploi, de l'industrie et de toute l'économie européenne. Malheureusement, cette industrie est également responsable de l'épuisement de grandes quantités de ressources non renouvelables et de 30% des émissions de gaz carbonique. Ceci est particulièrement grave dans le contexte actuel du changement climatique causé par les émissions de dioxyde de carbone dans le monde, conduisant à une élévation du niveau de la mer [1], et étant responsable de la crise de l'économie mondiale [2].

Afin de parvenir à une industrie de la construction plus durable, l'Union européenne a récemment établi qu'à moyen terme, la consommation de matières premières doit être réduite de 30% et que la production de déchets dans ce secteur doit être réduite de 40%.

L'utilisation de ressources renouvelables par l'industrie de la construction contribuera à parvenir à un modèle de consommation plus durable des matériaux de construction.

Le béton est le matériau le plus utilisé et il est connu pour sa haute résistance à la compression et faible résistance à la traction. L'utilisation combinée de béton et en acier est nécessaire pour surmonter cet inconvénient conduisant à un matériau ayant de bonnes résistances à la compression et à la traction, mas malheureusement, le béton armé a une perméabilité élevée qui permet à l'eau et à d'autres éléments agressifs de pénétrer, conduisant à la carbonatation et à l'attaque des ions chlorure entraînant des problèmes de corrosion [3, 4].

La corrosion des barres d'armature est en fait la principale raison de la détérioration des infrastructures. Gjørsv en 1994 [5] a mentionné une étude des ponts OPC de Norvège indiquant que 25% de ceux construits après 1970 présentaient des problèmes de corrosion. Un autre auteur [6] a mentionné que 40% des 600 000 ponts aux États-Unis étaient affectés par des problèmes de corrosion et estimait à 50 milliards de dollars le coût des opérations de réparation.

La durabilité du béton est liée à l'environnement. Si nous avons pu augmenter la durée de vie du béton de 50 à 500 ans, son impact environnemental diminue 10 fois [7]. Puisqu'en

moyenne 200 kg de barres d'armature en acier sont utilisées pour chaque mètre cube de structure en béton, il est clair que le remplacement des barres d'armature en acier renforcé par des fibres végétales est une étape majeure pour parvenir à une construction plus durable. D'autre part, l'acier renforcé est un matériau très coûteux, à une consommation d'énergie élevée et provient d'une ressource non renouvelable. Les fibres naturelles sont une ressource renouvelable et sont disponibles presque partout dans le monde [8]. En outre, en raison des risques de cancer pour la santé [9, 10], la directive 83/477 / CEE et modifiant les directives 91/382 / CEE, 98/24 / CE; 2003/18 / CE et 2007/30 / CE interdisent la production de produits à base de ciment à base de silicates de fibres (amiante).

Les fibres minérales sont maintenant remplacées par des fibres synthétiques comme polyvinyle (PVA) et le polypropylène pour produire des produits en fibres-ciment selon le procédé [11]. Cependant, la production de PVA et de polypropylène nécessite des composés phénoliques comme antioxydants et des amines comme stabilisants ultraviolets et d'autres pour agir comme retardateurs de flamme, ce qui n'est pas la voie vers des matériaux plus durables [12]. Cela représente une autre grande opportunité dans le domaine des matériaux à base de ciment à fibres végétales car ils sont aussi résistants que les fibres synthétiques, rentables et surtout respectueux de l'environnement.

Par conséquent, promouvoir l'utilisation de matériaux de construction cimentaires renforcés de fibres végétales pourrait être un moyen de parvenir à une construction plus durable.

I.2. LES FIBRES VEGETALES :

I.2.1. Définition de la fibre végétale :

Les fibres végétales peuvent être considérées comme composites naturels constituées essentiellement de fibrilles de cellulose, maintenues ensemble par une matrice composée principalement de lignine et d'hémicellulose.

I.2.2. Classification des fibres végétales :

Les fibres naturelles peuvent être classées selon leur origine en fibres animales, minérales et végétales (VF). Ces dernières, également connues sous le nom de fibres lignocellulosiques en raison de leurs composants principaux étant la cellulose, l'hémicellulose et la lignine [13] sont classées selon leur composition chimique en fibres de bois et non ligneuses.

Les fibres de bois contiennent une plus grande quantité de lignine que les fibres non ligneuses et peuvent être divisées en fibres de bois résineux (Softwood fibers) ou de bois dur (hardwood

fibers). Les fibres de résineux peuvent être trouvées dans les pins, les sapins, etc., et les fibres de bois durs se trouvent dans le bouleau, l'eucalyptus, le hêtre, etc. Les fibres non ligneuses couvrent quatre grandes catégories selon la partie de la plante où se trouvent les fibres (p. Ex. Fibres libériennes, graines, feuilles, tiges et roseaux) [14]. Figure 1 montre des exemples de fibres naturelles et leur classification [15].

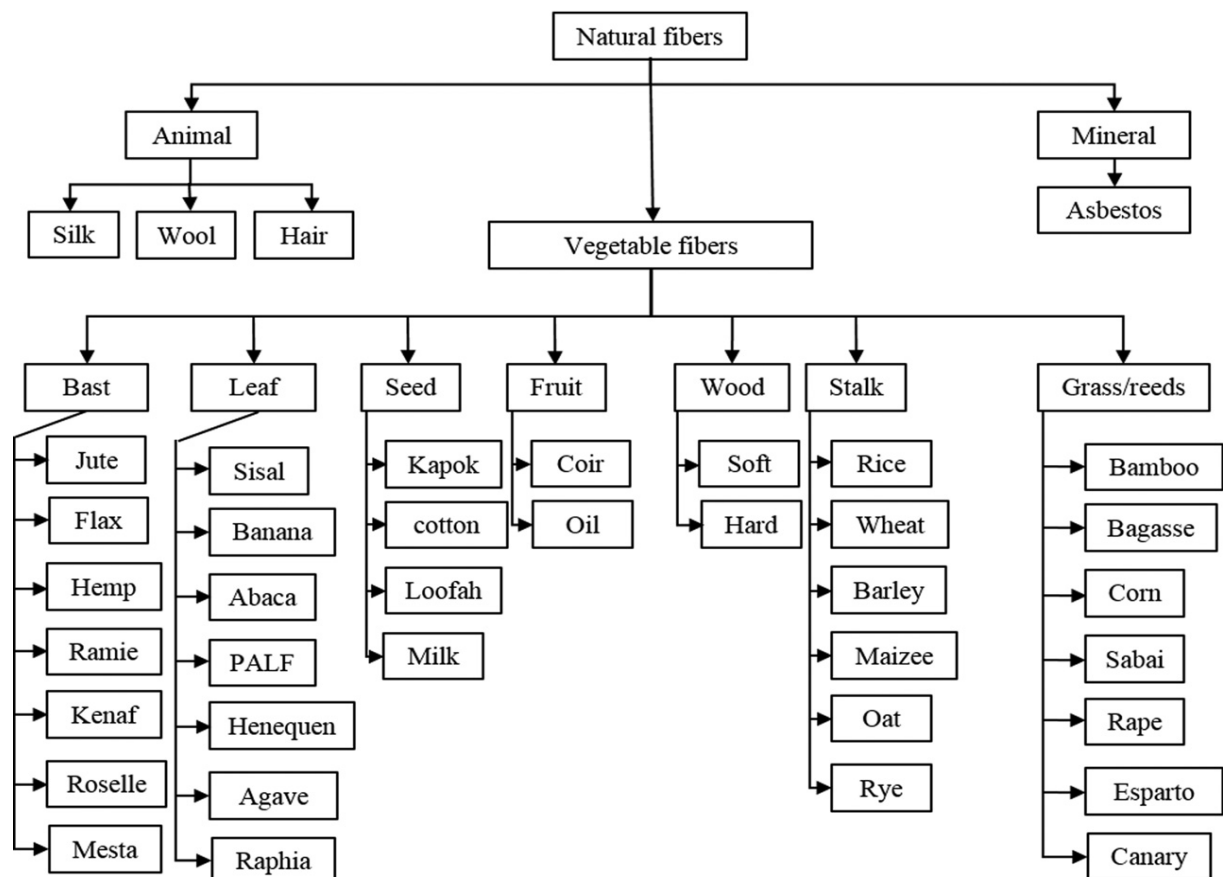


Figure 1 - Classification des fibres naturelles [15].

I.2.3. Structure de la fibre végétale :

Dans une plante, les fibres sont généralement assemblées sous forme de faisceau, d'où leurs formes polygonales. La fibre est constituée d'une paroi primaire et d'une paroi secondaire, la paroi secondaire étant constituée des 3 couches S1, S2 et S3. La couche S2 est la plus épaisse et définit le comportement de toute la fibre. Cette structure multicouche confère une anisotropie au matériau [16]. Dans une usine, les fibres sont généralement assemblées sous la forme d'un faisceau, qui à son tour forme leurs formes polygonales. La structure de la fibre végétale est comparable à un empilement de plis composites, dont la structure est détaillée à

la Figure 2 [17]. Les parois primaire et secondaire contiennent un cadre formé de microfibrilles de cellulose qui est entouré d'une matrice contenant de l'hémicellulose et de la lignine [18].

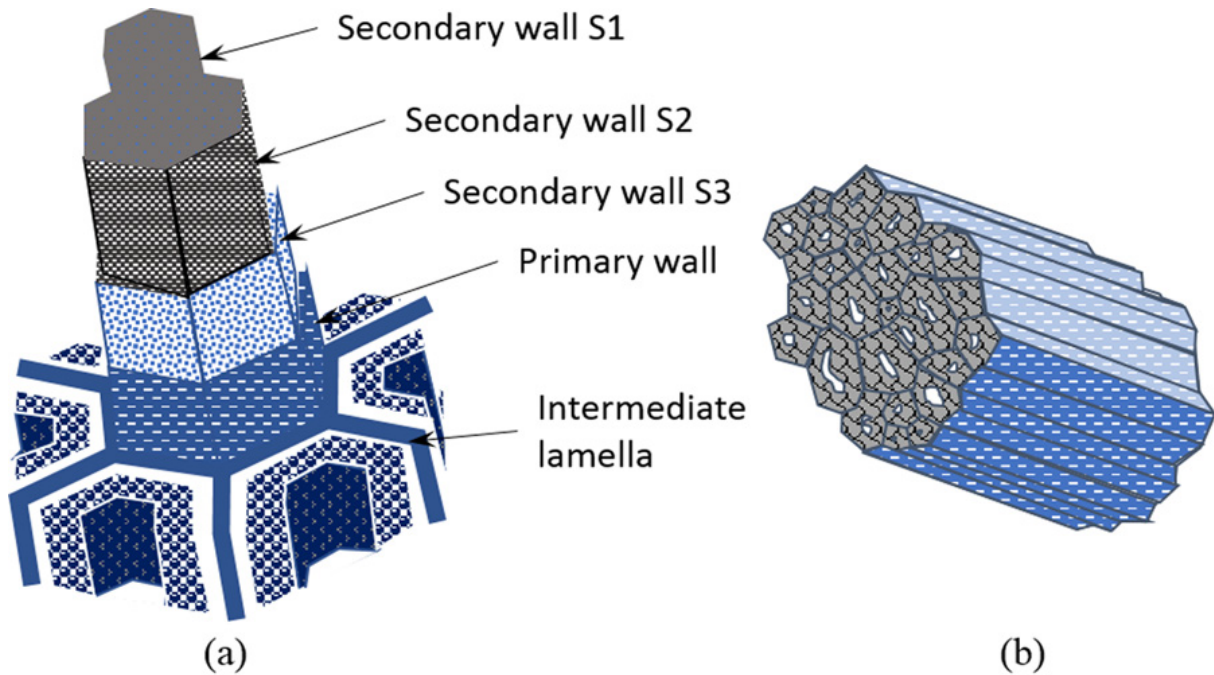


Figure 2 - (a) Structure complète de la fibre de chanvre dans un faisceau.
(b) Structure fibrillaire de la fibre de chanvre [17].

I.2.3.1. La cellulose :

La cellulose est un polymère naturel le plus disponible sur terre. Il peut être trouvé dans de nombreux domaines de l'industrie, tels que l'emballage, les textiles et le papier, ainsi qu'être utilisé comme additif alimentaire. La cellulose est constituée de longues chaînes de molécules unitaires d'anhydride de glucose comptant jusqu'à 15 000 molécules. Les particules d'anhydride de glucose sont liées entre elles par des liaisons bêta [β (1,4)]. La molécule de cellulose a une formation linéaire en raison de cette configuration de liaison (voir Fig. 3). Le degré de polymérisation déterminé par les scientifiques, basé sur le comptage des résidus de glucane, est d'environ 10000 pour la cellulose de bois [19].

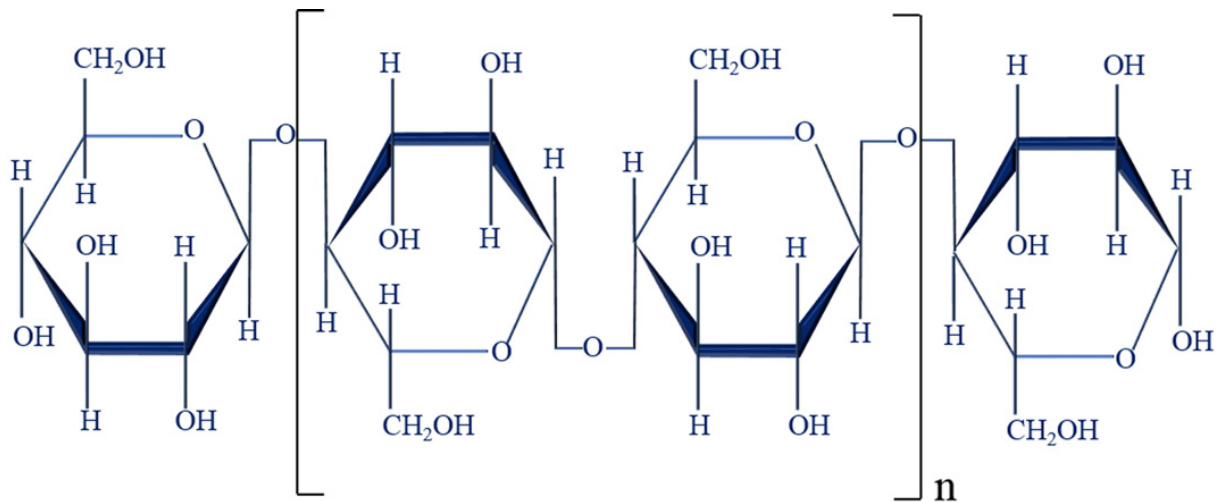


Figure 3 - Structure moléculaire de la cellulose [19].

La forme unitaire cellulaire de la cellulose est connue dans la littérature sous différents noms, tels que microfibrilles, fibrilles élémentaires et protofibrilles. Une telle configuration de différents composants cellulosiques est illustrée sur la Figure 4 [20].

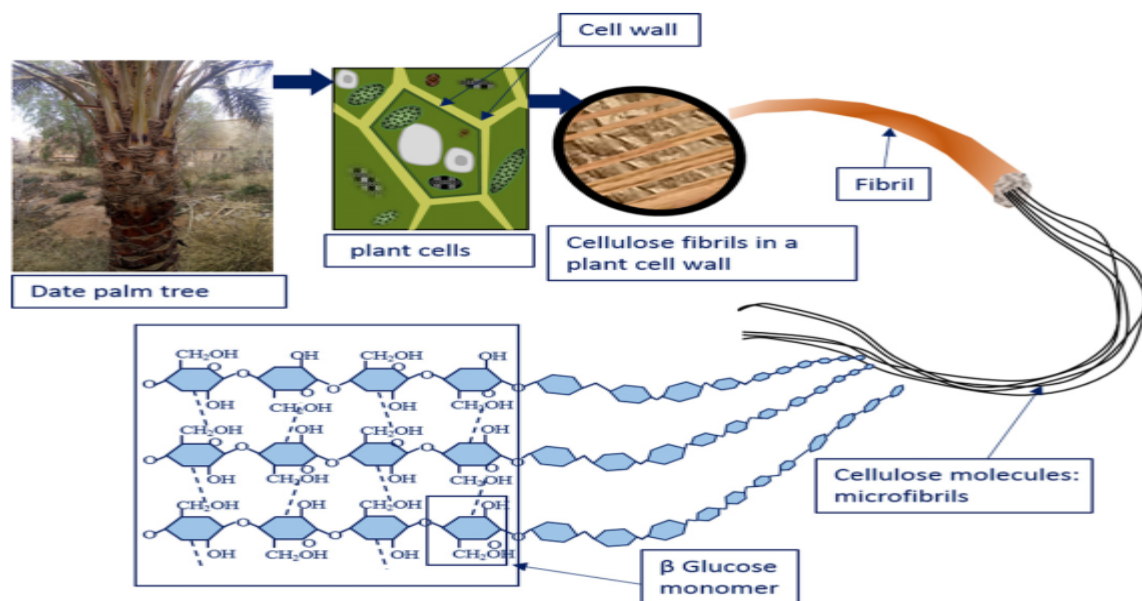


Figure 4- Organisation des composants cellulosiques dans la paroi cellulaire d'une fibre végétale typique [20].

I.2.3.2. L'hémicellulose

L'hémicellulose est un polymère naturel comme la cellulose, constitué de monomères glucidiques. Cependant, l'hémicellulose se compose d'une variété de monomères glucidiques, contrairement à l'homopolysaccharide cellulose. Ainsi, les monomères en hémicellulose sont

l'arabinose, le mannose, le galactose, le glucose et l' xylose. L'hémicellulose ayant des groupes de ramifications latérales considérables, sa structure est plus ouverte et non cristalline.

L'hémicellulose est plus hygroscopique que la cellulose et attire plus de molécules d'eau en raison de sa structure ouverte. Le degré de polymérisation de l'hémicellulose dans le bois est d'environ 100 à 200, ce qui est très faible par rapport à celui de la cellulose, qui est de 10 000. La différence entre les fibres de bois et non ligneuses n'apparaît pas dans la teneur en cellulose, mais elle apparaît dans les teneurs en hémicellulose et en lignine. Les fibres non ligneuses telles que les graminées (blé, maïs, riz) contiennent jusqu'à 40% de l'hémicellulose principale trouvée dans les graminées, tandis que les fibres de bois sont composées de 25% à 35% d'hémicellulose en poids sec. La Figure 5 illustre une molécule d'hémicellulose typique trouvée dans un type de fibre de bois appelé Arabino Glucuronoxylane (xylane) [19].

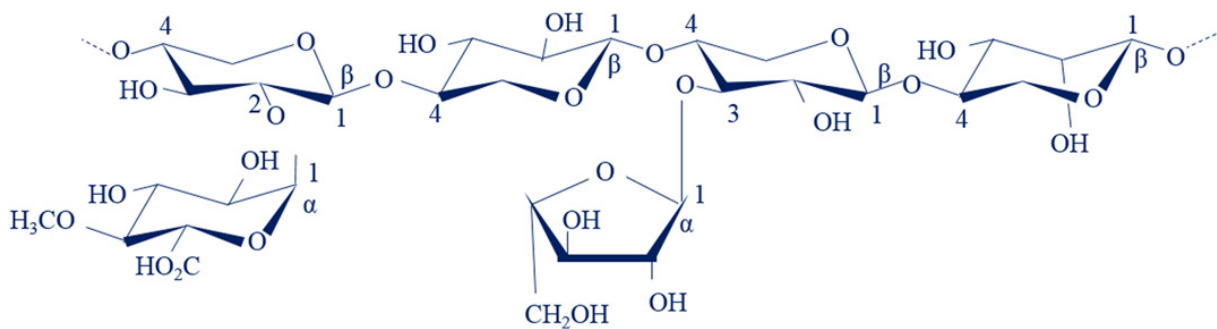


Figure 5- Structure de l'hémicellulose (xylane) constituée d'un squelette xylopyranose, avec des branches latérales d'acide glucuronique (1 → 2) et d'arabinofuranose (1 → 3) [19].

I.2.3.3. La lignine

La lignine est une macromolécule extrêmement hétérogène qui représente environ 30% du carbone organique de la biosphère. La lignine est totalement amorphe, et contrairement aux autres celluloses et hémicellulose à base de glucides, elle contribue à la protection des parois cellulaires en agissant comme la colle qui retient les cellules. La lignine a une structure aromatique représentée par trois précurseurs voir la Figure 6. La teneur en lignine d'une fibre végétale varie de 2% à 45% [19, 20].

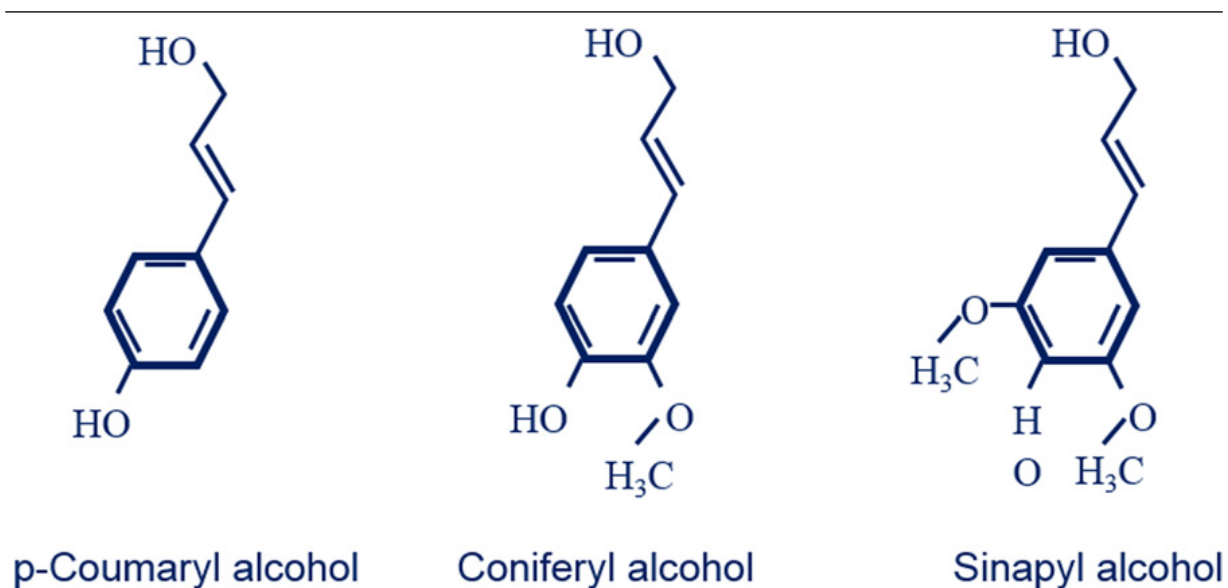


Figure 6 - Structure des précurseurs de la lignine [19, 20]

I.2.3.4. 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 [21]. Sur le plan structural, les pectines sont une famille de polysaccharides complexes qui contiennent un enchaînement d'unités d'acide α -D-galacturonique liées entre elles par des liaisons α (1-4), interrompu par la présence d'unités L-rhamnopyranose. Les pectines portent aussi des substances non sucrées, essentiellement le méthanol, l'acide acétique, l'acide phénolique et parfois des groupes d'amide. L'estérification des résidus d'acide galacturonique avec le méthanol ou l'acide acétique est une caractéristique qui joue un rôle très important sur les propriétés physicochimiques des pectines particulièrement sur la formation de gel [22].

I.2.3.4. Extractibles :

Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules. Ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques, d'où leur dénomination. La composition en extractibles varie en fonction de l'essence considérée et influe sur la couleur et l'odeur. Il s'agit de tanins, de pectines, de sucre et d'autres composés [23].

Le tableau suivant présente la composition chimique de quelques plantes à fibres.

Tableau 1 - Composition chimique de quelques plantes à fibres [24, 25].

Type de Fibre	Cellulose	Hémicellulose	Lignine
Cotton	82,7	5.7	/
Jute	64,4	12	11.8
Zoster	57	28	5
Ramie	68,6	13.1	0.6
Sisal	65,8	12	9.9
Chanvre	57-77	14-17	9-13
Kénafe (ecorce)	77-60,8	20.3-23	10-19
Kénafe (bois)	37-49	18-24	15-21
Résineux	48	15	25.3

I.3. UTILISATION D'APPLICATIONS LES FIBRES NATURELLES :

La tendance actuelle du processus de production de déchets à partir de matériaux anciens abondants dans la nature, tels que le VF, a trouvé une large application dans de multiples domaines de l'industrie, comme le montre le Tableau 2 [20].

Tableau 2- Domaines d'application des composites en fibres naturelles.

Domaine d'application	Partie sur le marché
Construction	15%
Électrique	4%
Agriculture	3%
Fonctionnel	2%
Automobile et transports	16%
Textiles	18%
Biens de consommation	18%
Emballage flexible	9%
Emballage rigide (articles de restauration)	15%
Autre	1%

La production mondiale annuelle de VF dérivé de bois et de fibres non ligneuses est présentée dans la Figure 7, sur la base des études de [19] [26].

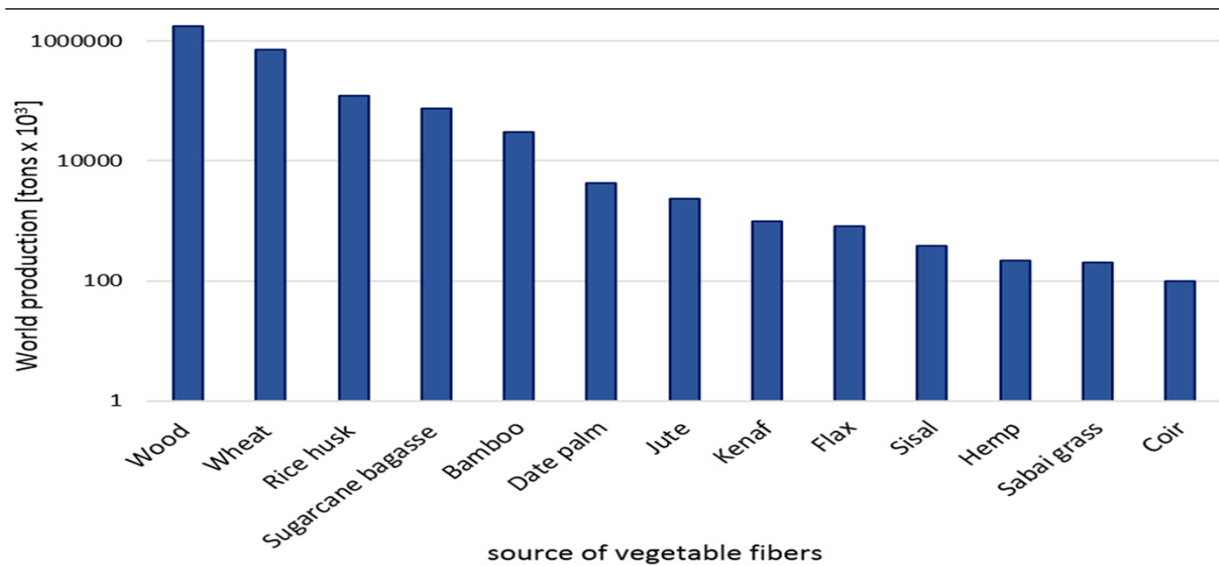


Figure 7- Source de fibres végétales [19].

Le prix du VF par rapport au prix des fibres synthétiques est très bas, par exemple, le prix des fibres de verre varie entre 1200 et 1800 \$ / tonne, alors que le VF coûte entre 200 et 1000 \$ / tonne [27] [14]. De plus, le prix des VF varie en fonction de la quantité disponible et de la demande du marché de ces fibres. Par exemple, le produit annuel des fibres de palmier dattier et de chanvre est de 4 200 000 tonnes et 214 000 tonnes, respectivement. Cette différence de ratio de production rend les fibres de palmier dattier 60 fois moins chères que les fibres de chanvre, avec une valeur de prix d'environ 20 \$ / tonne [20]. Plus de détails concernant le prix de certains VF sont présentés à la Figure 8.

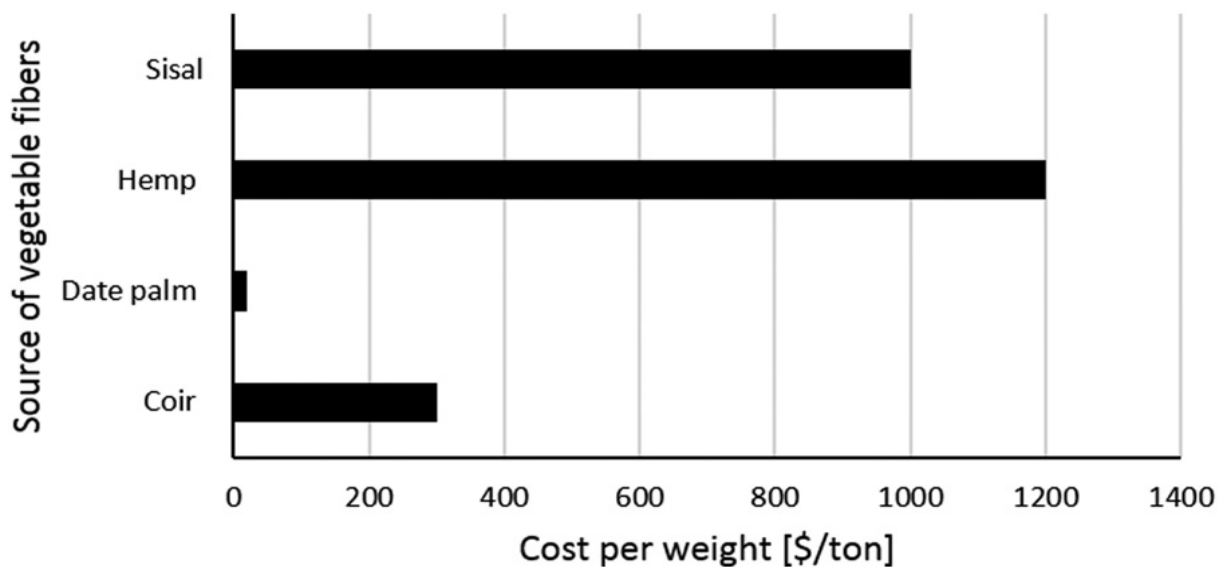


Figure 8 - Prix des produits VF [20].

I.4. PROPRIETES MECANIQUES DES FIBRES VEGETALES :

Les fibres végétales (coton, jute, chanvre, lin, sisal, kénaf, noix de coco, abaca, bois, ...) ont des structures biologiques principalement composées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. La cellulose est un polymère qui, contrairement aux autres composants de la fibre qui ont une structure amorphe, a une structure largement cristalline qui donne un module d'élasticité d'environ 136 GPa comparé à celui de 75 GPa pour les fibres de verre. La fibre végétale est comparable à un matériau composite renforcé de fibrilles de cellulose. La matrice est principalement composée d'hémicellulose et de lignine. Les fibrilles de cellulose sont orientées en hélice selon un angle appelé «angle microfibrillaire». Cet angle est situé entre les fibrilles et l'axe de la fibre. La valeur en degré de l'angle microfibrillaire influence la rigidité de la fibre.

Les propriétés des fibres naturelles font souvent l'objet de discussions en raison du fait que les techniques utilisées pour cultiver, extraire ou séparer les fibres varient considérablement, ce qui peut modifier leur comportement. Par exemple, les facteurs pouvant affecter les propriétés des VF pourraient être attribués à la variété, aux conditions de culture (sol, traitement, climat), à la maturité, au degré de préparation (rouissage, décapage, peignage ...), à la teneur en humidité, structure cristalline (degré de cristallinité, degré de polymérisation, type de cellulose ...), et morphologie (diamètre de la cellule, angle microfibrillaire, taille de la lumière), etc. Habituellement, la quantité de renfort et l'orientation des fibres dans un matériau composite déterminent caractéristiques élastiques et de rupture. De même, dans une fibre végétale, les propriétés physiques des fibres naturelles sont principalement déterminées par la composition chimique et physique, la structure, le pourcentage de cellulose, l'angle microfibrillaire, le rapport d'aspect L / d (longueur / diamètre: ce qui est un paramètre permettant le transfert de charge entre les fibres et la matrice), la section transversale et le degré de polymérisation. Pour simplifier, pour un pourcentage donné de cellulose, l'angle microfibrillaire sera faible et la résistance de la fibre sera plus élevée; de plus, l'angle microfibrillaire sera important et l'allongement à la rupture sera important. De fortes dispersions de mesures de propriétés physiques, mécaniques ou thermiques rendent la caractérisation des FV plus délicate. Ces dispersions suivent les différences structurelles observées dans les fibres. Par exemple, la taille des cellules ne dépend pas seulement de la variété de la fibre à laquelle elles appartiennent, mais aussi de leur stade de maturation, de leur «histoire météorologique» et de leur emplacement dans la plante. Les propriétés mécaniques de différentes fibres de différentes origines de plantes utilisées pour le

renforcement de matériaux composites courants sont illustrées à la Figure 9 [26]. En tenant compte du comportement naturel de ces fibres, certaines dispersions peuvent être remarquées.

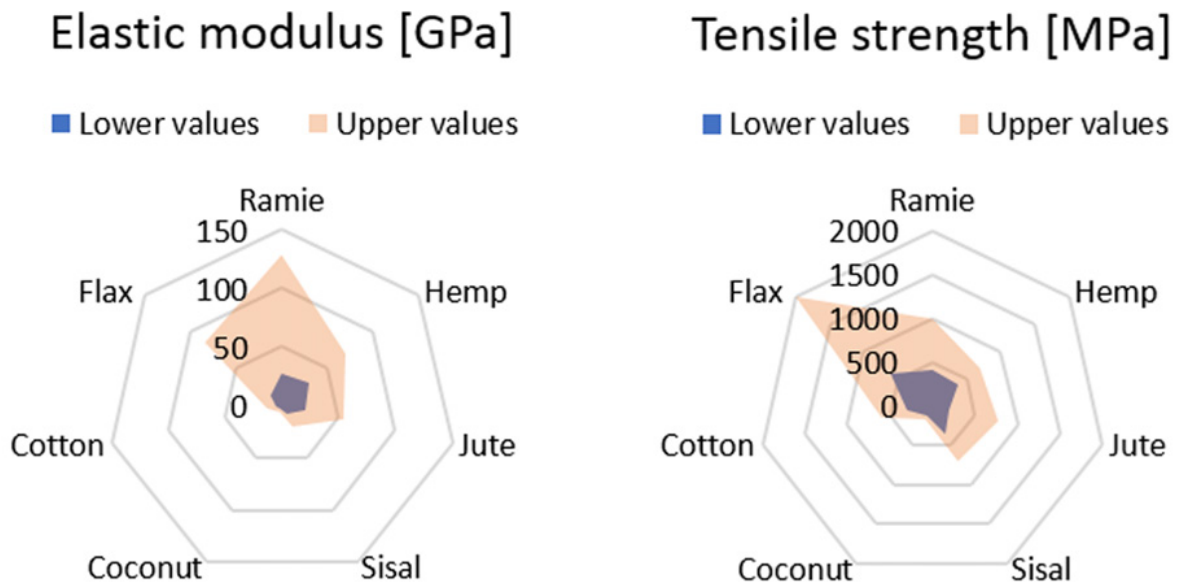


Figure 9 - Les propriétés mécaniques moyennes de différents types de fibres naturelles [26].

I.5. PROPRIETES CHIMIQUES DES FIBRES VEGETALES :

Les principaux constituants de la VF sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. D'autres produits comme les protéines, la pectine, l'amidon et les sels inorganiques sont présents en plus petites quantités [18]. La composition chimique du VF dépend de son origine, mais en général, la cellulose est toujours prédominante avec des pourcentages en poids allant de 22% pour les fibres à 85% pour les linters de coton voir la Figure.10 [26, 28].

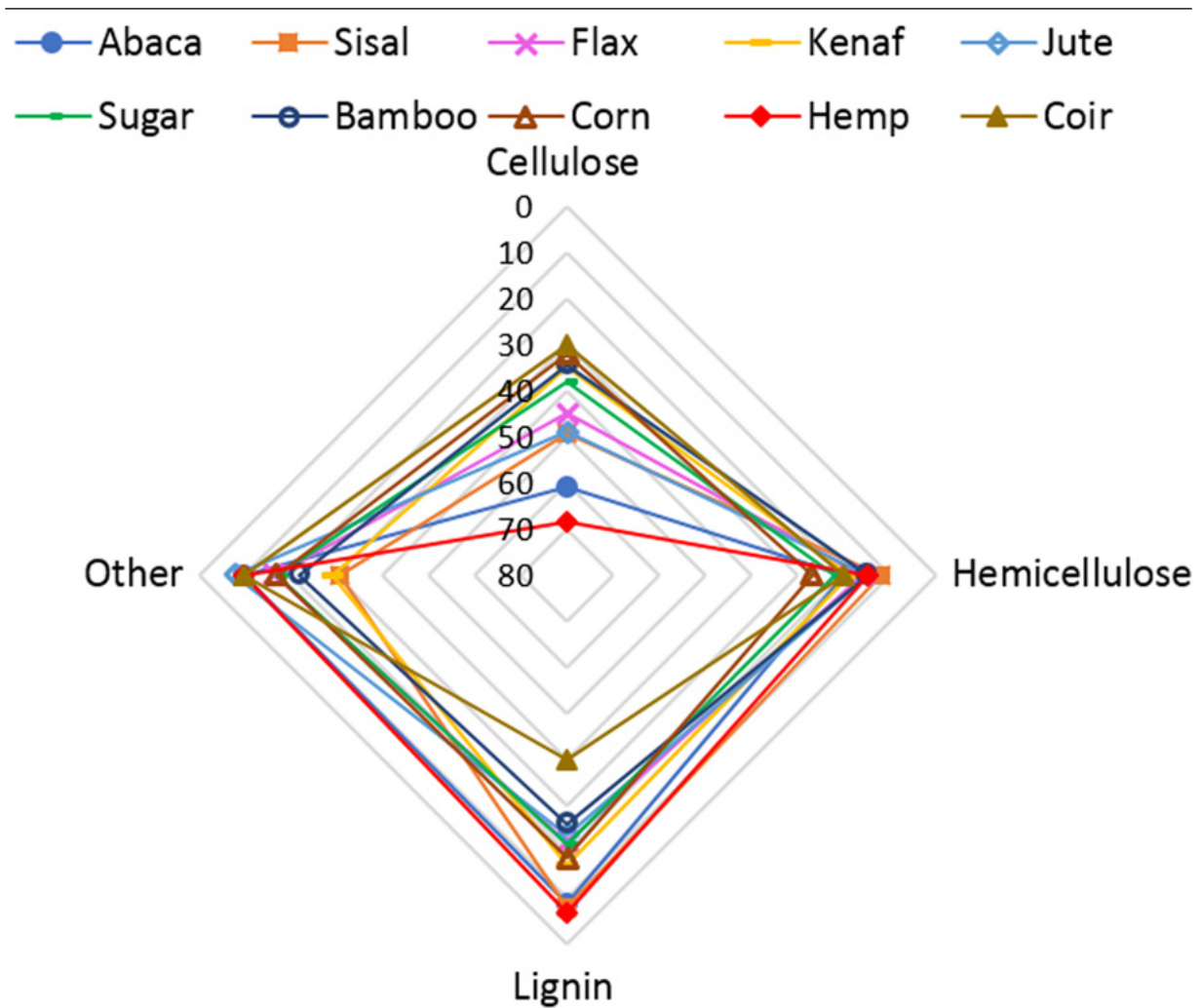


Figure 10 - Analyse chimique de certains Fibres [26, 28].

Les concentrations en lignine varient de 7% à 24% en poids et celles des hémicelluloses de 12% à 27% en poids. Ces composés sont des hétéropolymères, qui présentent une grande variabilité de composition chimique en fonction de leur origine. Les composés inorganiques, caractérisés par leur teneur en cendres, varient également en fonction de la nature de la fibre. Ainsi, cette teneur est d'environ 1% en poids pour les fibres lignocellulosiques de bois et de l'ordre de 14% pour les fibres de riz.

I.6. PROPRIETES PHYSIQUES DES FIBRES VEGETALES :

L'instabilité dimensionnelle par rapport à l'humidité est la propriété principale du bois, ce qui rend son utilisation plus délicate. Lorsqu'un arbre est vivant, il contient de l'eau qui traverse ses cellules. Le matériau bois contient donc un certain taux d'humidité, en fonction des conditions météorologiques. L'eau joue le rôle de plastifiant pour les chaînes polymères constituant les parois cellulaires, ce qui explique que les phénomènes de teneur en humidité et

de diffusion régissent toutes les caractéristiques du bois. Si ce n'est l'eau constitutive, représentée par les atomes d'hydrogène et d'oxygène qui composent les molécules de la structure du polymère, l'eau se présente sous deux formes:

- Eau libre: elle remplit les cellules et les vaisseaux, est maintenue par les forces capillaires et n'est pas impliquée dans les variations dimensionnelles.
- Eau liée: elle est fixée sur la structure des polymères par physisorption ou chimisorption. Les forces impliquées sont électrostatiques ou du type de liaisons hydrogène avec des groupes hydroxyle.

Pendant le processus de séchage du bois, c'est l'eau libre qui s'évapore en premier. Le point de saturation des fibres du bois est atteint lorsque la teneur en humidité est d'environ $M = 30\%$. En poursuivant le processus de séchage, c'est l'eau liée qui commence à s'évaporer. Le bois sec dans l'air a une teneur en humidité de 13% à 17% selon les saisons. Il peut avoir un état plus sec lorsqu'il est séché artificiellement; en particulier, il atteint un état anhydre après avoir été séché pendant plusieurs heures dans une étuve à une température de 100 à 105 °C. Par conséquent, il est concevable qu'il existe un seuil de teneur en humidité pour lequel les sites d'adsorption sont saturés (les parois cellulaires ont la quantité maximale d'eau de liaison). Lorsqu'il n'y a pas d'eau libre, le point de saturation des fibres (FSP) est atteint. La teneur en humidité au FSP est très variable selon les espèces, mais se situe entre 25% et 35% de la teneur en humidité pour la plupart des types de fibres. Généralement, il est plus approprié de donner une valeur de 30%, ce qui correspond au comportement de la majorité des espèces.

La teneur en humidité de certains types de VF est significativement différente, comme le montre la [Figure 11 \[29, 30\]](#). Cette différence est liée à la liaison hydrogène de la cellulose et à la quantité d'hémicellulose.

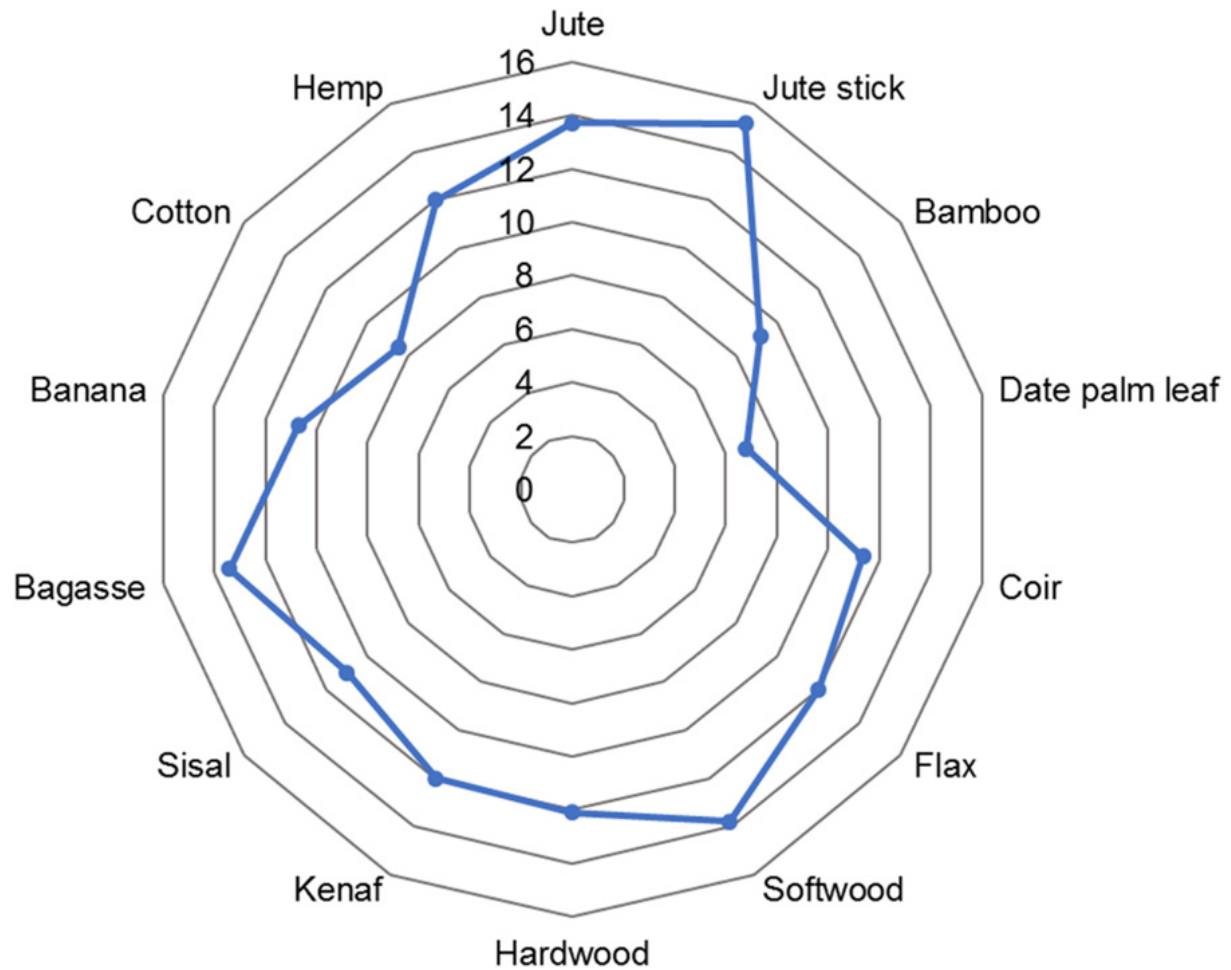


Figure 11- Teneur en humidité de certains VF sélectionnés [29, 30]

En immergeant le VF dans l'eau, la teneur en humidité, dans ce cas, sera au-delà du FSP, y compris à la fois la liaison et l'eau libre. Dans ce contexte, comme mentionné dans l'étude de recherche de [31] les propriétés de l'humidité dépendent également du rapport d'aspect des fibres. Dans cette étude, les auteurs ont évalué l'absorption d'eau des fibres de palmier dattier en fonction du temps d'immersion. Ils ont constaté que les fibres de petite surface absorbent plus d'eau que celles de plus grande surface voir la Figure 12.

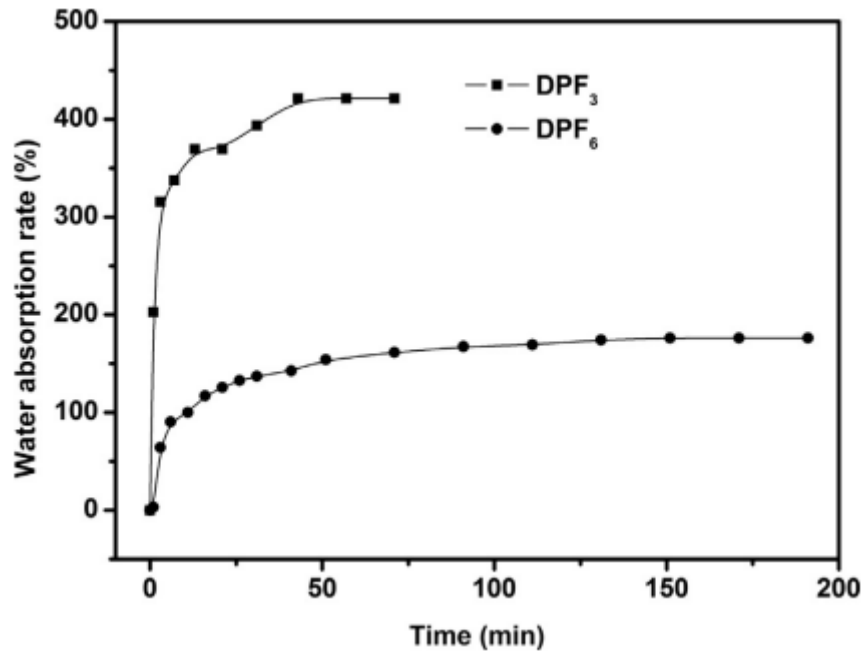


Figure 12 - Taux d'absorption d'eau des fibres de palmier dattier en fonction du temps d'immersion [31]

I.7. UTILISATION DES FIBRES VEGETALES DANS LA CONSTRUCTION :

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales. Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et des dallages de parking ainsi que le renforcement du plâtre. Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés.

I.8. REPARTITION DE LA PRODUCTION MONDIALE DE FIBRES VEGETALES :

La production mondiale annuelle de fibres végétales est actuellement de l'ordre de 6200 KT hors les fibres de coton (22 600 KT) et bois. La moitié du gisement mondial hors (coton et bois) est issue de la culture du jute, et de ses fibres apparentées et analogues.

Les fibres les plus représentées ensuite sont le coco et le lin avec respectivement 16 et 13% de la production mondiale [32]. Il existe également de nombreuses espèces végétales dont il est possible d'extraire des fibres soit des tiges telles que les fibres de (chanvre, ramie, kenaf,

bambou, etc...), soit des feuilles (sisal, abaca, agave, etc...) ou, soit des graines (kapok, etc...).

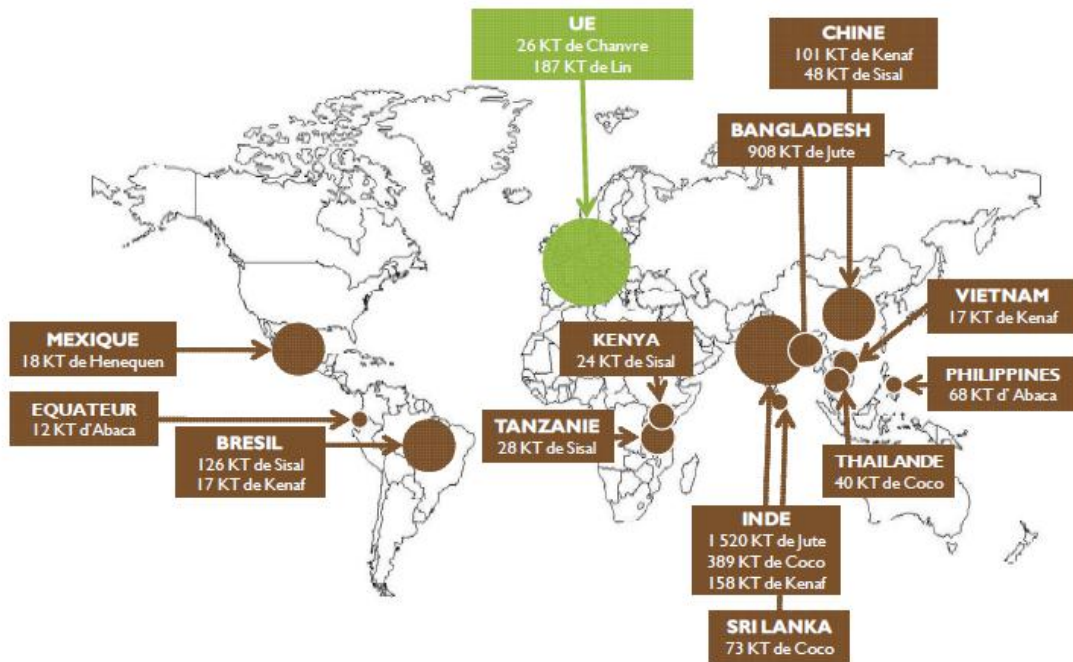


Figure 13 - Répartition de la production mondiale de fibres végétales hors coton et bois (2001-2008) [33].

Au niveau de la répartition, quatre grandes zones de production de fibres végétales se distinguent :

- **L'Asie du sud** : le bassin asiatique est la zone de production la plus importante avec plus de 2.5 millions de tonnes de fibres végétales.
- **L'Europe** : est de second bassin de production par ordre d'importance avec 214 000 tonnes de fibres végétales (lin et chanvre) produites annuellement.
- **L'Amérique du sud et l'Afrique de l'est** : la production de fibres végétales sont également présents au niveau mondial et produisent principalement du sisal avec 175 000 tonnes et 50000 tonnes respectivement.

I.9. REPARTITION GEOGRAPHIQUE DE FIBRES VEGETALES EN ALGERIE :

L'Algérie est un pays très riche en plantes végétales, elles sont dispersées sur tout le territoire national, on les trouve dans les régions côtières beaucoup plus que les régions intérieures du pays, comme le voit clairement sur la [Figure 14](#).

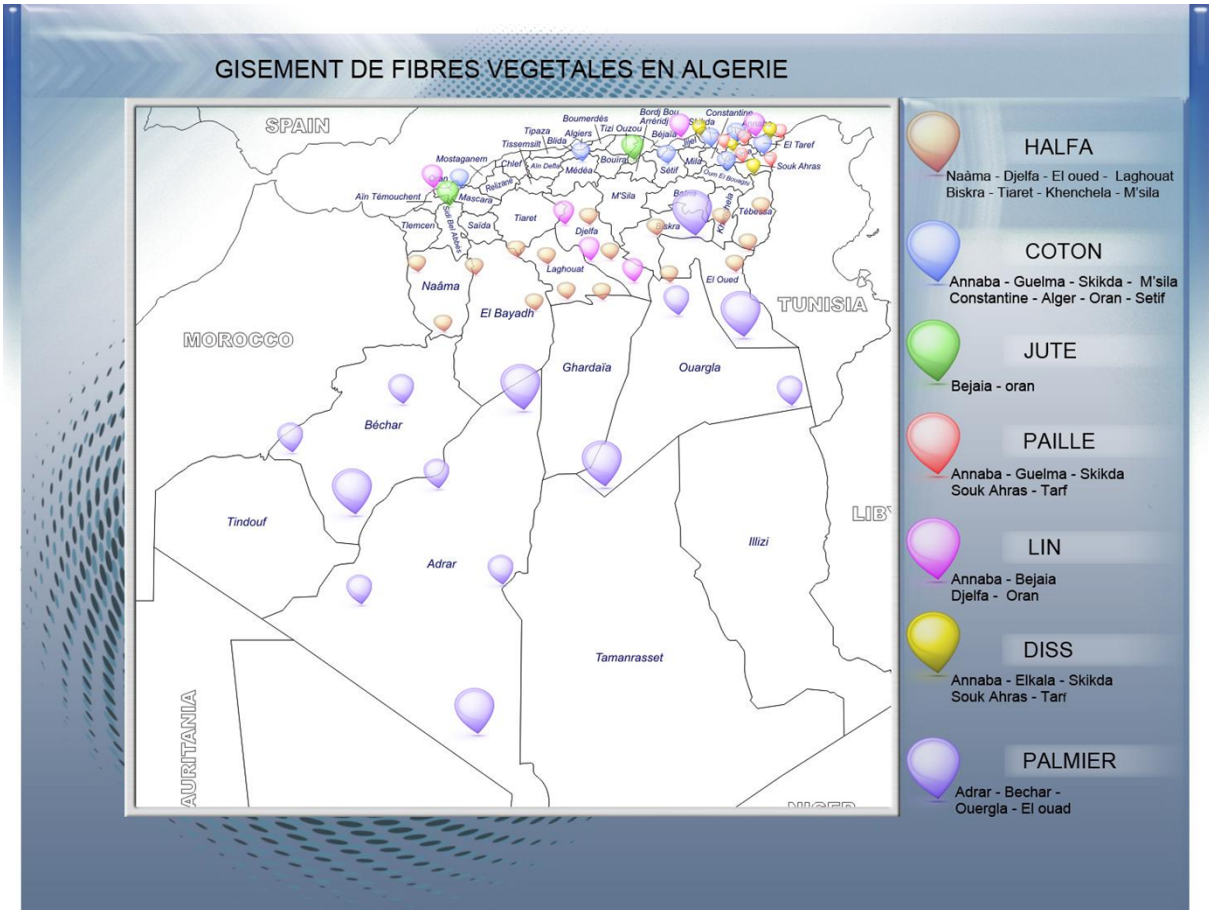


Figure 14 - Gisement de fibres végétales en Algérie.

I.10. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FIBRES VEGETALES :

Les fibres naturelles ce sont des biocomposites agrosourcés qui présentent comme tous les matériaux composites de notre planète des avantages qui favorisent leur utilisation dans plusieurs domaines d'application (Civil et Militaire). Ces matériaux verts montrent aussi des inconvénients qui limitent leur utilisation si aucune amélioration n'a été appliquée sur la fibre brute. [Le tableau 1.3](#) indique les principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.

Tableau 3- Comparaison entre les avantages et les inconvénients des fibres végétales.

Avantages	Inconvénients
Ressource renouvelable et biodégradable.	Variabilité importante et défauts.
Pas d'émission de CO ₂ , en plus elle absorbe le CO ₂ émis par les activités quotidiennes.	Faible durabilité à long terme
Moins abrasive.	Compatibilité entre la fibre et la matrice
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Faibles tenue à la température.
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Fort absorption de l'humidité.
Production : peu de technologie, ni d'énergie.	Variations dimensionnelles (gonflement /rétractabilité).
Non-toxiques : Pas d'allergie ou d'irritation cutanée lors de la manipulation.	Nécessite la gestion des stocks, surtout pour des applications industrielles.
Peu coûteux.	Forte capacité d'absorption d'eau : Le coefficient d'absorption de la fibre de Banane, Chanvre, Sisal, Palmier dattier, Lin et Noix de coco est respectivement d'environ 407, 158, 149, 140, 136, et 120%, [34] [35].
Faible densité (légère)	
Disponible	
Très bonne capacité d'isolation thermique et acoustique.	

I.11. CONCLUSION :

Comme tous les produits naturels, les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale et dépendent du type de la fibre et des conditions de croissance. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre. La sensibilité à l'humidité est remarquable, les fibres naturelles sont facilement influencées par l'environnement. De manière générale la haute teneur en humidité réduit les propriétés mécaniques. Les propriétés mécaniques des matériaux composites sont influencées principalement par l'adhérence entre la matrice et les fibres. Si de nombreux articles ont pu montrer que les fibres végétales possédaient des propriétés mécaniques comparables aux fibres de verre traditionnellement utilisées, en revanche, les propriétés des matériaux.

CHAPITRE 2 : METHODES DE MODIFICATION DE LA SURFACE DE LA FIBRE

II.1. Introduction :

Ces dernières années, plusieurs tentatives ont été faites pour remplacer les fibres synthétiques par des fibres naturelles dans des composites renforcés de fibres, en raison de la sensibilisation croissante à l'environnement et de l'épuisement des ressources pétrolières. Le fait que les fibres naturelles soient disponibles à bas prix et en abondance, étant biodégradables et de faible densité, a motivé de nombreux chercheurs du monde entier à explorer leur potentiel d'application dans divers secteurs industriels. Cependant, les fibres naturelles présentent également certaines limitations telles qu'une forte absorption d'humidité et un gonflement et une dégradation ultérieurs, une mauvaise résistance aux produits chimiques et au feu, une forte dispersion des propriétés mécaniques, de mauvaises interactions interfaciales avec les matrices polymériques ou à base de ciment, etc.

Modifier la surface des fibres naturelles par diverses techniques, afin de surmonter leurs inconvénients inhérents et d'utiliser avec succès ces matériaux dans diverses applications. Ce chapitre présente quelques procédés de modification des fibres naturelles (sur le traitement de surface des fibres naturelles)

II.2. Méthodes de modification de la surface de la fibre :

La fibre devra subir un traitement de surface avant son application comme renfort dans les composites de ciment. La modification de la surface des fibres peut améliorer la liaison interfaciale fibre-matrice, la rugosité, la mouillabilité et la nature hydrophile et peut diminuer l'absorption d'humidité, ce qui peut améliorer les propriétés de traction de la fibre dans les composites à base de ciment [36]. Cependant, les impuretés et les substances cireuses qui se déposent sur la surface de la fibre développeront un mauvais mouillage de la surface et réduiront la liaison dans la matrice fibre [37].

D'autre part, [38] ont déclaré qu'une modification physique ou chimique ou une combinaison des deux doit être effectuée pour renforcer les mauvaises propriétés de la surface en Réduisant le composant polaire L'élimination des impuretés, En modifiant la cristallinité et la

composition chimique, l'amélioration de l'interface fibre-matrice, et l'obtention d'une bonne adhérence dans la fibre-matrice.

Les méthodes de modification des fibres montrées sur la Figure II.1 peuvent être divisées en trois groupes: (a) traitements physiques pour améliorer les propriétés de fibres, telles que la résistance, le module et l'allongement; (b) des traitements chimiques pour améliorer les propriétés interfaciales de la matrice de fibres et la durabilité de la fibre dans les composites à base de ciment; et (c) des traitements physico-chimiques qui fournissent des PF propres et fins ou des fibrilles à très haute teneur en cellulose [39].

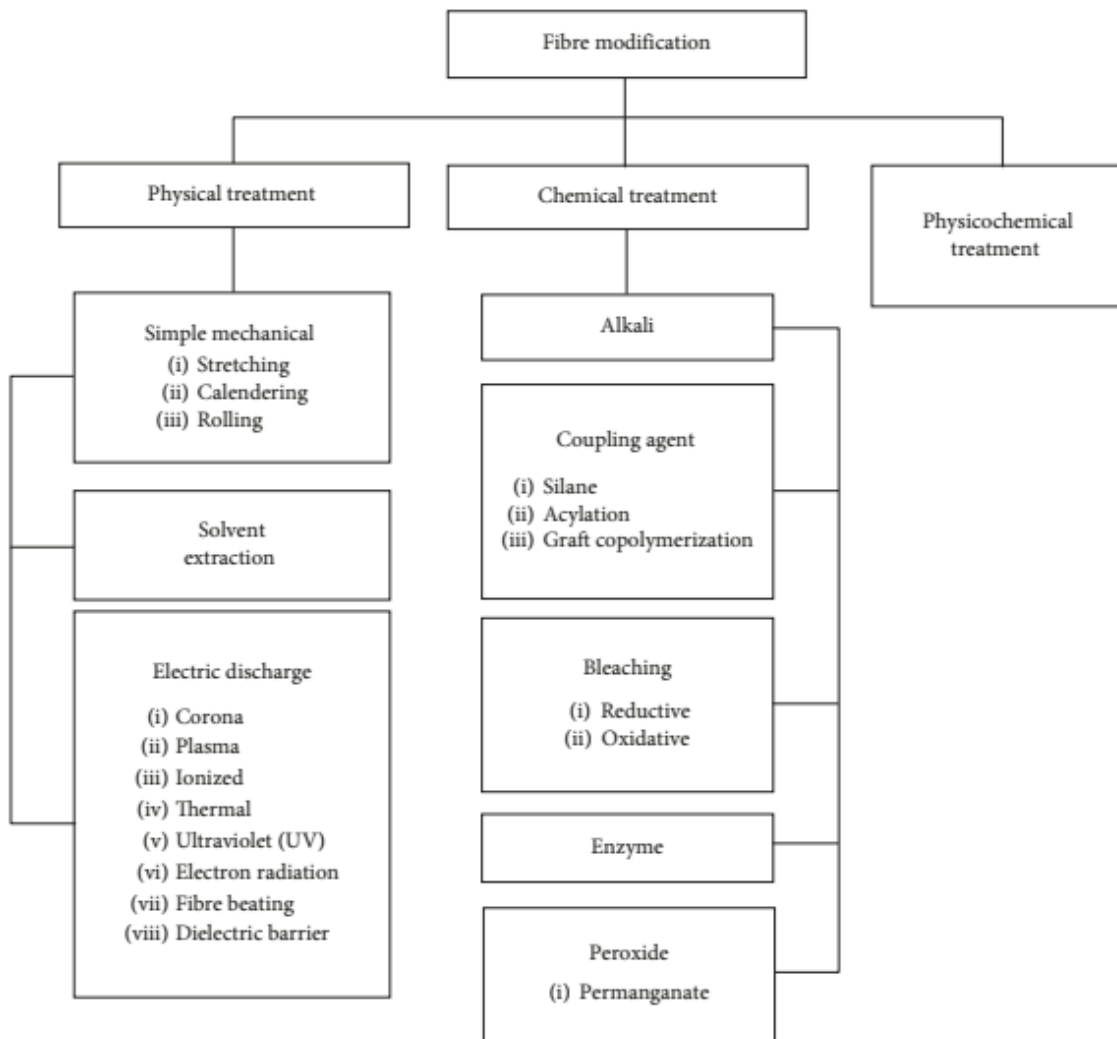


Figure II.1- Méthode de modification de fibre.

II.2.1. Traitement physique :

Les méthodes physiques utilisées pour traiter les fibres peuvent effectivement modifier les caractéristiques structurelles et de surface, améliorer les propriétés thermiques et influencer la liaison mécanique des composites sans changer la composition chimique du PF [40, 41]. Ces méthodes de modification sont mises en œuvre sur PF pour (1) la séparation des faisceaux de fibres en filaments individuels et (2) l'amélioration des surfaces de fibres pour les applications composites [42], et elles peuvent être divisées en trois traitements principaux: (1) traitement mécanique, (2) le traitement d'extraction par solvant, et (3) le traitement par décharge électrique comme le montre la Figure 1.

II.2.2. Traitement chimique :

Les traitements chimiques ont certainement été les plus étudiés dans le monde. Certain nombre d'études ont mis en évidence que la technique de traitement par des solutions chimiques des fibres végétales peut jouer un rôle plus important sur les propriétés mécaniques des composites avec ce type de fibres et augmente l'adhérence entre les fibres et la matrice. Le but du traitement chimique est de modifier et d'activer la structure de la fibre à l'aide d'un groupe hydroxyle qui peut changer la composition du matériau en introduisant de nouveaux éléments pour interagir avec la matrice [43]. L'utilisation d'agents chimiques pour la modification des fibres augmentera les propriétés mécaniques de la fibre et la résistance du composite de ciment renforcé de fibres et améliorera l'adhérence entre la surface de la fibre et la matrice polymère en réduisant l'absorption d'eau des composites. L'alcali, les agents de couplage, le blanchiment, les enzymes et le peroxyde font partie des traitements chimiques.

II.2.2.1. Traitement Alcalin (NaOH) :

Le traitement des fibres naturelles par l'hydroxyde de sodium (NaOH) est largement utilisé pour modifier la structure moléculaire cellulosique. Il modifie l'orientation des zones cristallines de la cellulose (Cellulose I → Cellulose II) [44, 45] et forme plus de régions amorphes (Figure II.2). Ceci augmente l'accessibilité des produits chimiques. Dans la région amorphe, les chaînes de cellulose sont séparées et des molécules d'eau s'insèrent entre ces chaînes. Le traitement alcalin diminue le taux des groupements –OH de la cellulose et forme des groupements –O- Na⁺ entre les chaînes moléculaires de la cellulose [46]. Ainsi, la sensibilité à l'humidité des fibres diminue.

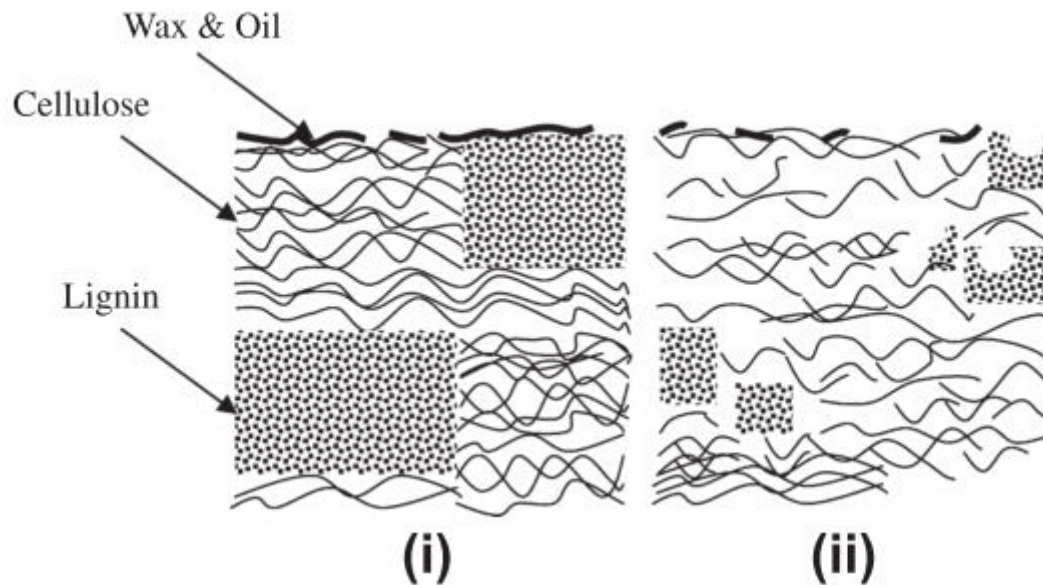


Figure II.2 - Structure typique de la fibre lignocellulosique (i) non traitée et (ii) et après traitement alcalin.

Ce traitement enlève également une partie des hémicelluloses, de la lignine, de la pectine, de la cire et des huiles [47, 48]. Par conséquent, la surface de la fibre devient propre et plus uniforme. Il réduit également le diamètre de la fibre et augmente ainsi le rapport longueur / diamètre de la fibre. Ceci augmente la surface efficace des fibres pour une bonne adhérence avec la matrice [49]. Les comportements mécaniques et thermiques des composites sont significativement améliorés par ce traitement. Si la solution est trop concentrée, elle cause une délignification excessive de la fibre ce qui entraîne une détérioration des fibres [50].

Plusieurs chercheurs ont mené des études pour analyser la corrélation entre la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) et les propriétés mécaniques des composites PF et PF renforcés [51, 52]. Leurs résultats ont prouvé que les propriétés thermiques et mécaniques du PF étaient directement affectées par le traitement alcalin qui fournit une topographie de surface rugueuse grâce à l'élimination des impuretés naturelles et artificielles.

Barreto et al 2011 [53] ont constaté que les composites contenant des faisceaux de fibres traités aux alcalis ont de meilleures propriétés mécaniques que ceux contenant des faisceaux de fibres non traités. Cependant, l'efficacité du traitement alcalin de la PF ne peut être augmentée qu'en conduisant le traitement à des températures élevées car l'énergie thermique fournirait un effet catalytique supplémentaire en rompant les liaisons hydrogène dans les

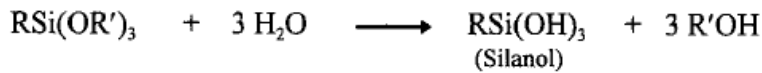
fibrilles [54]. Dans ce traitement, la concentration de la solution alcaline, la température de fonctionnement, la durée du traitement thermique, la résistance du matériau et les additifs appliqués sont des paramètres à prendre en compte.

Il est évident que l'augmentation de la résistance à la traction était en corrélation avec le pourcentage d'alcali utilisé dans le traitement, indiquant qu'un alcali sévère ou supérieur à 10% avait pour résultat un affaiblissement ou un endommagement de la fibre et une réduction de la résistance à la traction de la fibre. Un alcali doux ajouté entre 6 et 9% augmentera la résistance à la traction des fibres d'environ 30% par rapport aux fibres non traitées.

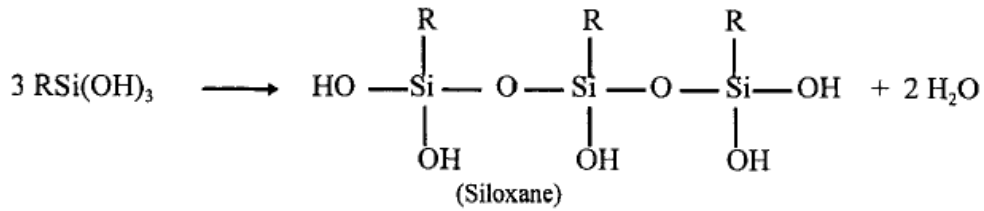
II.2.2.2. Traitement par les silanes :

Un alcoxyde de silicium fonctionnalisé appelé à défaut silane, représenté par $R'-Si(OR)_3$, est l'un des meilleurs agents de couplage, utilisés dans les composites polymère- fibres de bois. Ce sont des composés hydrophiles avec différents groupements associés au silicium tels qu'une extrémité va interagir avec la matrice et l'autre avec la fibre hydrophile, agissant comme un pont entre eux. L'absorption de silane est très dépendante d'un certain nombre de facteurs, comme le temps d'hydrolyse, la fonctionnalité, la température et le pH. Les alcoxydes de silicium sont capables de former des liaisons avec les groupes hydroxyles. Les silanols peuvent former des polysiloxanes par réaction avec les groupes hydroxyles de la fibre. La réaction chimique est décrite [Figure II.3](#).

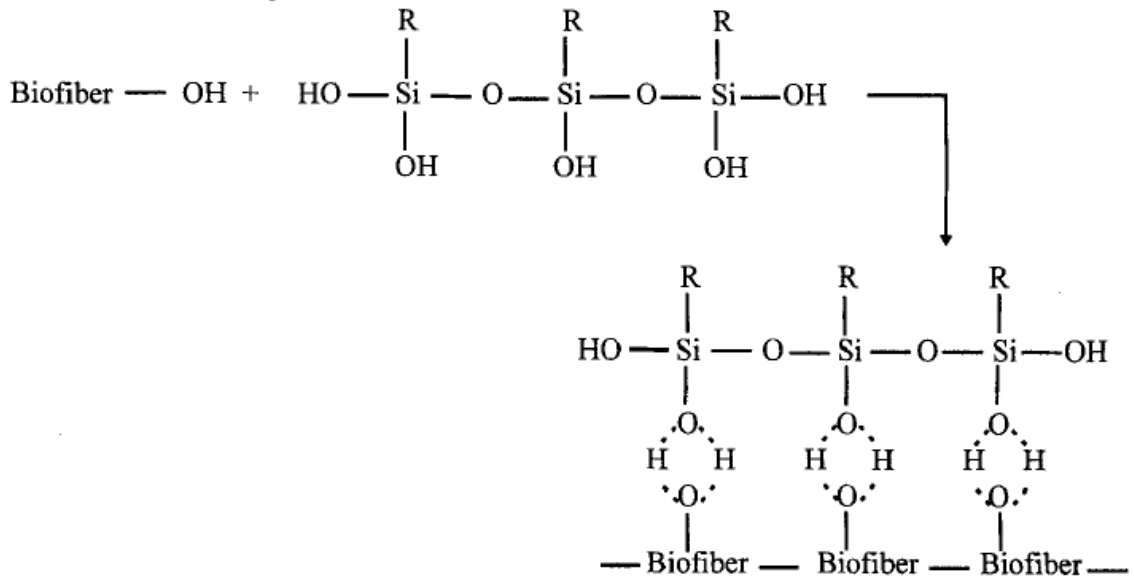
Hydrolysis



Condensation



Hydrogen Bonding



Surface Grafting

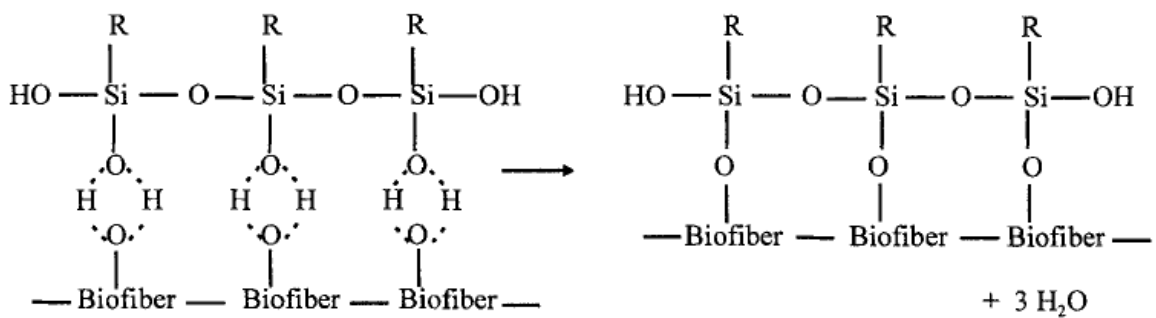


Figure II.3- Réactions chimiques du traitement par un alcoxyde de silicium fonctionnalisé.

II.3.Traitement combiné :

II.3.1.Traitements physico-chimiques

La combinaison de traitements chimiques et physiques est connue sous le nom de traitement physico-chimique et combine des traitements physiques avec des traitements chimiques pour produire un support aux réactions chimiques et une meilleure séparation des faisceaux de

fibres [55]. Ces types de traitements fournissent des fibres naturelles propres et fines ou des fibrilles à haute teneur en cellulose. Les propriétés mécaniques de ces fibres fines sont proches de celles des fibres de cellulose pures, ce qui peut améliorer considérablement l'aspect et les propriétés mécaniques du PF [56].

II.3.2. Traitement alcalin – silane :

Des tests de traction et de flexion ont été réalisés par Asumani et al. Afin d'étudier l'effet de différents traitements effectués sur la fibre de kénaf [57]. Il a été trouvé que les propriétés de traction et de flexion étaient significativement améliorées lorsque KF était soumis à un traitement **alcali-silane**. La recherche montre des résultats prometteurs, à savoir une résistance à la traction spécifique inférieure de 4% et une résistance à la flexion inférieure de 11% pour une fraction massique de fibres de 30% des composites kénaf traités alcali-silane, par rapport aux valeurs correspondantes des composites fabriqués avec de la fibre de verre. L'amélioration des propriétés de traction et de flexion a été soutenue par l'observation par microscopie électronique à balayage (MEB), qui a confirmé une meilleure liaison entre les fibres et la matrice.

II.3.3. Alcaline - Vapeur / traitement thermique :

Des modifications de surface des fibres de kénaf ont été réalisées avec de la vapeur, un alcali et une combinaison de traitements vapeur-alcali [58]. Pour comprendre leurs effets, la résistance à la traction, la morphologie de surface et la cristallinité des fibres traitées ont été évaluées et comparées à celles des fibres brutes. La résistance à la traction des fibres qui ont subi le traitement vapeur-alcali était bien amélioré par rapport à celle de la fibre brute.

La résistance à la traction des fibres a été améliorée après le traitement à la vapeur, et un effet assez similaire a été noté après le traitement à l'alcali, alors qu'il a légèrement diminué pour la fibre modifiée par un traitement à la vapeur accompagné d'une alcalinisation. L'augmentation de la concentration d'alcali vise généralement à améliorer la résistance à la traction. Les variations de la résistance à la traction des fibres traitées s'expliquent par des modifications de la morphologie de surface et de la cristallinité. Une meilleure compréhension de ces relations peut déclencher un pas en avant vers la fabrication de composites renforcés de fibres naturelles avec des performances globales plus élevées.

Les moyens d'améliorer les propriétés mécaniques de la fibre naturelle, en particulier du KF, lorsqu'ils sont soumis à des traitements thermiques et alcalins, ont été étudiés par Cao et al

[59]. L'analyse de l'impact de diverses températures de traitement thermique a révélé que la résistance à la traction du KF présentait le changement le plus significatif à 140 ° C, ce qui pourrait être attribué à la croissance de l'indice de cristallinité des fibres après le traitement thermique. Les résultats des tests ont confirmé une augmentation de la déformation à la rupture de l'alcali. Des moyens d'améliorer les propriétés mécaniques de la fibre naturelle, en particulier du KF, lorsqu'ils sont soumis à des traitements thermiques et alcalins, ont été étudiés par Cao et al. [59]. L'analyse de l'impact de diverses températures de traitement thermique a révélé que la résistance à la traction du KF présentait le changement le plus significatif à 140 °C, ce qui pourrait être attribué à la croissance de l'indice de cristallinité des fibres après le traitement thermique. Les résultats des tests ont confirmé une augmentation de la contrainte de rupture de l'alcali.

II.4. Conclusion :

La capacité du traitement de modification de surface à améliorer les propriétés de surface des fibres a suscité un intérêt pour l'utilisation de fibre avec des composites, conduisant à l'amélioration de la liaison d'interface entre la surface de cellulose et la matrice.

Lorsque les effets de divers traitements de fibres ont été pris en compte pour sélectionner des fibres appropriées, on peut voir que seul un traitement de modification de surface physique ou chimique peut être appliqué en fonction des propriétés que l'on souhaite obtenir. Cependant, il est suggéré d'utiliser un traitement combiné pour d'éventuels changements excessifs dans les propriétés de surface des fibres avec une amélioration de la compatibilité des différentes matrices et également pour surmonter la nature hydrophile des propriétés de surface de fibres.

CHAPITRE 3 : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

III.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux de notre étude et les techniques expérimentales utilisées. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des mortiers.

Dans une seconde partie, on exposera les types de traitements utilisés sur la fibre de palmier dattier. Ensuite, nous décrivons la méthode de formulation et nous présentons les différents essais réalisés au cours notre étude.

III.2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS :

Les caractéristiques physico-chimiques des matières premières utilisées pour la confection des mortiers sont présentées ci-après.

III.2.1. Ciments :

Le ciment employé dans cette étude est un CEM I/A 42.5 N qui provient de la cimenterie de LAFARGE (**Mokaouem**), il répond à la norme Algérienne NA 442 (NA 442, 2013) et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en $C_3A < 3\%$. (cf. [fiche technique Annexe A](#)).



Figure III.1 - Sac de ciment CEM I / A 42,5.

III.2.2. Sables :

Le sable est un produit de la carrière de Djebel Abiod de Djelfa (Algérie) de nature calcaire, de forme anguleuse et d'une surface rugueuse, d'une classe granulaire 0/3 et de masse volumique apparente de 2.64 g/cm³. (Figure III.2).



Figure III.2- Aspect général du sable calcaire ENG de Djelfa.

L'analyse granulométrique réalisée selon la norme NF P18-560 Figure III.3. Il convient de noter qu'une bonne partie de la courbe granulométrique de ce sable se situe dans le fuseau recommandé pour les sables de construction. Il a une granulométrie étalée et une quantité des fines (< 0,080 mm) de l'ordre 16,1%. Le tableau III.1 présente également ses caractéristiques physiques.

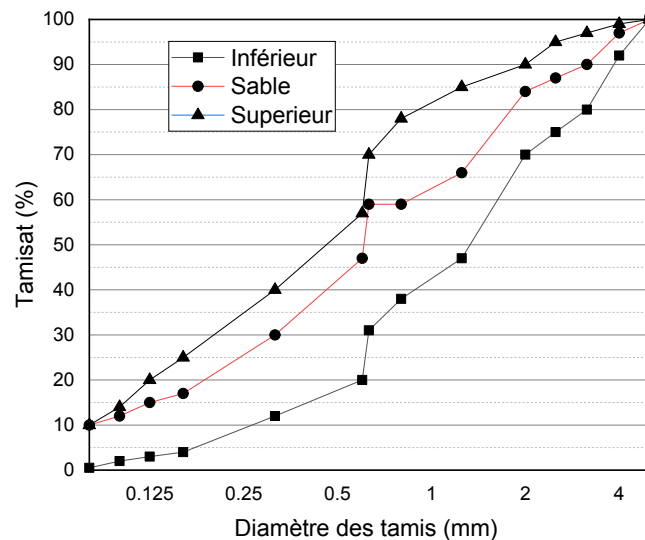


Figure III.3 - Courbe granulométrique.

Tableau III.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé.

Caractéristique	Normes utilisés	SA
Densité absolue (g/cm ³)	NF P 18-555	2.64
Densité apparente (g/cm ³)	NF P 18-555	1.45
Module de finesse	NF P 18-540	2.4
Equivalent de sable (%)	NF P 18-598	76
Coefficient d'absorption (%)	NF P 18-555	0.72

III.2.3. Fibres de palmier :

Les fibres naturelles utilisées dans cette recherche proviennent de la surface du tronc du palmier dattier. Les fibres de la surface du palmier dattier sont tissées naturellement et sont retirées du tronc sous la forme d'un maillage presque rectangulaire (longueur 300-500 mm et largeur 200-300 mm) formé de trois couches superposées. Il est facile de les séparer en fibres individuelles d'un diamètre de 0,1-0,8 mm dans l'eau.

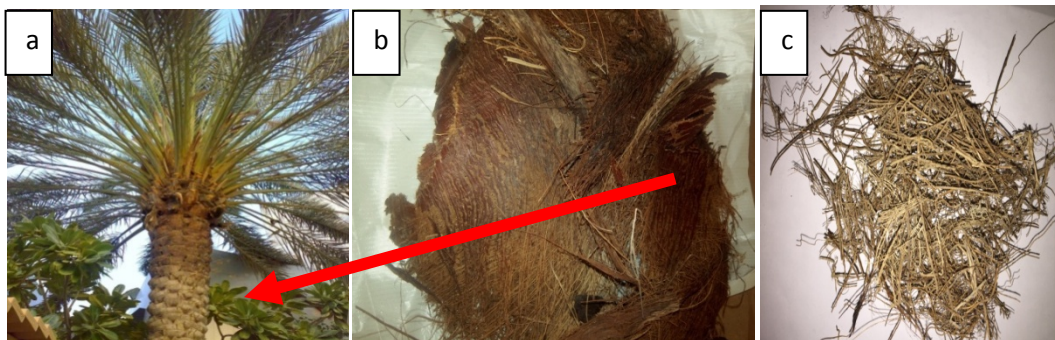


Figure III.4 - (a) Plante et (b et c) fibres de palmier.

Les Fibres qui ont servie à cette étude sont des fibres de surface de palmier dattier provenant de la région de Ghardaia Figure III.4, en effet, **Kriker et al [1]** ont mené une étude sur les fibres de palmier dattier de surface. Les auteurs ont justifié leur choix, en disant que ces fibres semblent les plus appropriés à exploiter.

III.3. MÉTHODE DE FORMULATION DES COMPOSITES CIMENTAIRES

Les échantillons de mortier ont été préparés conformément à la norme EN 196-1 [2] avec un rapport E / C = 0,5 et un rapport C / S = 1/3.

Le protocole suivant a été utilisé :

- 1) En premier, nous introduisons la quantité totale d'eau (225 g) et du ciment (450 g) dans la cuve du malaxeur, le mélange est mixé pendant 30 secondes à vitesse lente.
- 2) les fibres ont été ajoutées au mélange après la première étape de mélange du ciment,
- 3) En deuxième lieu nous versons la quantité totale du sable (1350 g) pendant 30 secondes toujours avec un malaxage à vitesse lente.
- 4) Un malaxage à vitesse rapide du mélange est effectué pendant 30 secondes en troisième lieu.
- 5) La quatrième étape nous arrêtons le malaxeur pendant 1min 30s, le mélange est raclé pour le décoller des parois.
- 6) Le mélange est mixé une dernière fois pendant 60 secondes.

II.4. TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER :

Les fibres de palm sont découpées manuellement à 25 à 30 mm de longueur (Figure III.5) et sont bien lavées à l'eau pour éliminer la poussière. Elles sont ensuite séchées dans l'étuve à 55°C pendant 24h afin de garantir une teneur en humidité constante. A ce stade, les fibres séchées sont désignées sous le nom de fibres brutes. Les traitements de surface à l'aide de la soude et la température sont ensuite appliqués sur les fibres sèches.



Figure III.5- Longueur de fibres.

II.4.1-Traitement thermique à 100°C :

L'objectif de ce traitement est de réduire les substances organiques existants dans les fibres de palm naturel. Ce traitement consiste à la mise en ébullition la fibre dans un récipient pendant 30 mn (hot water 100 °C), puis égoutté et rincé à l'eau abondante afin d'enlever les substances organiques. Enfin, elles sont séchées à l'étuve à 55 °C pendant 24h.



Figure III.6 - Ebullition la fibre dans un récipient.



Figure III.7 – Fibre après le traitement à l'eau chaud 100°C.

II.4.2. Traitement thermique à 80 °C :

Ce traitement consiste à immerger la fibre dans un récipient pendant 30 mn contenant l'eau chaud de 80°C (hot water 80 °C), puis égoutté et rincé à l'eau abondante afin d'enlever les substances organiques. Enfin, elles sont séchées à l'étuve à 55 °C pendant 24h.



Figure III.8- Fibre après le traitement à 80°C.

II.4.3. Traitement combiné

Les fibres obtenues par le traitement de 80°C sont trempées dans une solution contenant **0.5, 1 % de NaOH** pendant **30 mn** à température ambiante. Puis, les fibres sont lavées à l'eau distillée pour enlever les dernières traces de soude qui restent collées à la surface des fibres. Enfin, elles sont séchées à l'étuve à 55 °C pendant 24h.



Figure III.9- Traitement à 80°C + 1% NaOH.



Figure III.10- Fibre traité à 80+ 0.5% de NaOH.

II.5. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

II.5.1. Essai de traction par flexion :

L'essai de flexion trois points est réalisé conformément à la norme européenne EN 196-1. Les éprouvettes prismatique 4x4x16 cm³ (Figure III.10) sont préparées et testées après des cures de 14, 30 jours afin d'étudier l'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction du temps. Pour chaque formulation de mélange, les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de trois essais. La résistance à la flexion des mortiers déterminée après la première fissure visible à l'aide de l'Equation 1, le dispositif de résistance à la flexion est représentée sur la Figure III.11.

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{b^3}$$



Figure III.11- Eprouvettes prismatique 4x4x16 cm³.

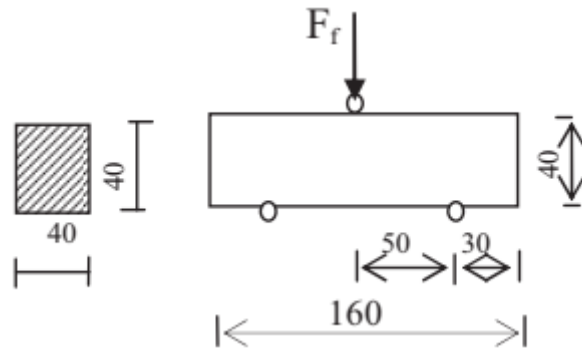


Figure III.12- Dispositif de résistance à la flexion.

II.5.2. Essai de compression :

Les demi-échantillons de mortiers témoin et fibré, issues de l'essai de flexion 3 points, sont écrasées aux mêmes âges : 14, 30 jours pour apprécier leurs résistances à la compression (EN 196-1). Les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de 3 essais à partir de l'équation 2 :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

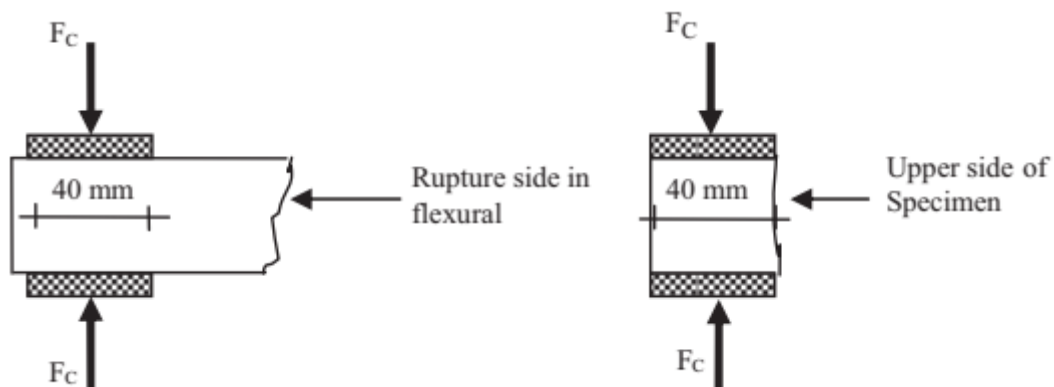


Figure III.13. Dispositif de résistance à la compression

II.5.3. Absorption capillaire :

Les mesures de capillarité sont réalisées selon les prescriptions de la norme AFPC-AFREM sur des demi-échantillons de dimensions 4x4x8 cm³. Ces spécimens ont été revêtus d'un matériau imperméable à l'eau sur leurs surfaces latérales pour assurer l'absorption d'eau uniaxiale. Les échantillons sont d'abord séchés à l'étuve à la température de 60 °C jusqu'à la stabilisation de la masse, puis laissés à l'air libre et pesés à l'aide d'une balance de précision 0.01 g, afin de déterminer leur poids à l'état sec M₀. Les échantillons sont ensuite placés sur un lit de gravier dans des récipients en plastique peu profonds, contenant de

l'eau. La profondeur d'immersion des surfaces d'échantillon pendant le test d'absorption est de 2 à 3 mm. Après chaque échéance de submersion, les échantillons sont prélevés de l'eau, essuyés et séchés superficiellement à l'aide d'un papier absorbant pour enlever l'excès d'eau présente sur la surface puis pesés (M_t). Les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de trois essais. L'absorption est mesurée par pesées successives, à partir de l'expression suivante :

$$C = \frac{M_t - M_0}{A}$$

Où :

C : Coefficient d'absorption capillaire (kg/m^2),

M_t : Masse de l'éprouvette à l'instant t (kg),

M_0 : Masse initiale de l'éprouvette (kg),

A : Section immergée de l'éprouvette (m^2),

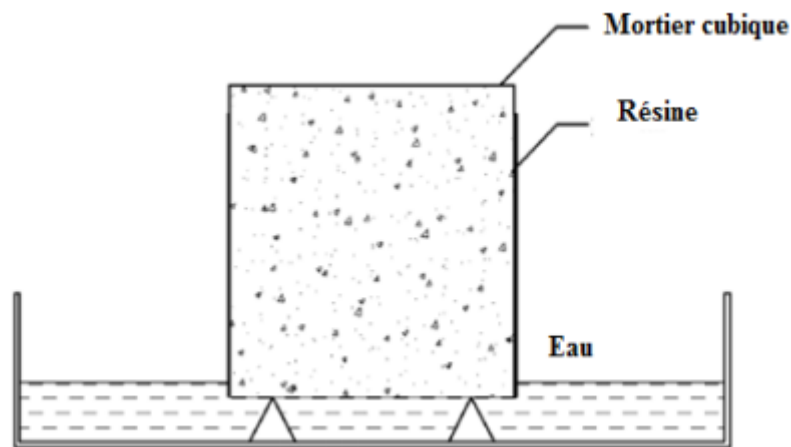


Figure III.14- Schéma du dispositif de l'absorption capillaire.

II.6. Conclusion :

Dans ce troisième chapitre, nous avons présenté les matériaux et les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude. Par ailleurs, nous avons détaillé les différentes méthodes de traitement appliquées aux fibres végétales,

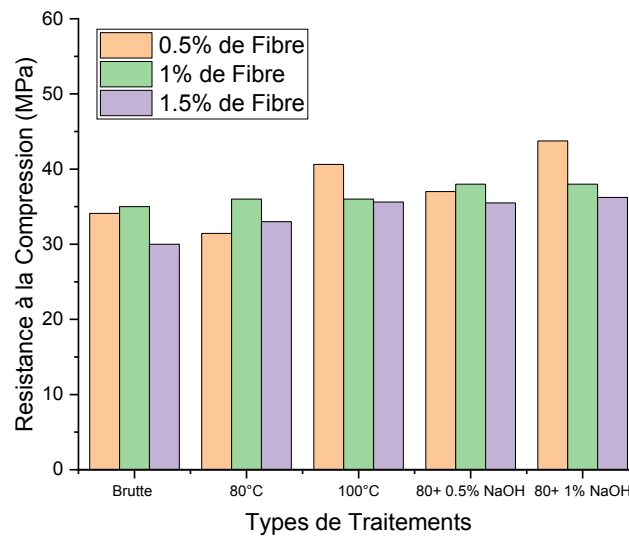
Nous avons également montré les protocoles d'essais utilisés dans cette recherche pour la détermination des propriétés physiques (masse volumique, porosité, absorption d'eau), mécaniques (résistance à la compression et de traction par flexion) et des composites cimentaires renforcés avec les fibres végétales.

CHAPITRE 4 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS

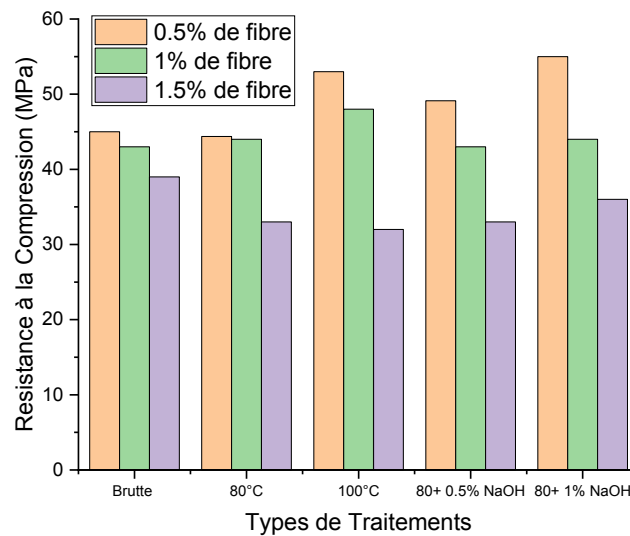
IV.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, Nous présenterons les résultats des différents essais réalisés sur les mortiers renforcés par des fibres butte et traité. L'objet du présent chapitre est de mettre en évidence les caractéristiques mécaniques et les propriétés physiques de mortier formulé. Ces propriétés sont aujourd'hui des critères incontournables pour valider la valorisation d'un sous-produit ou dans le domaine des matériaux de construction.

IV.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION :



Figures IV.1- Résistance à la compression des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 14 jours.



Figures IV.2- Résistance à la compression des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 30 jours.

La Figures IV.1 et IV.2 montrent graphiquement l'évolution de la résistance à la compression des mortiers testés à 14, 30 jours en fonction du pourcentage de fibres incorporé de palmier dattier brute et traité.

Les résultats montrent que plus grand est le taux d'inclusion de ces fibres végétales dans les mortiers étudiés et plus la résistance à la compression des composites produits diminue. Selon de nombreux chercheurs [60, 62, 63], la résistance à la compression des matériaux cimentaires est affectée négativement par l'inclusion de fibres végétal. Ceci est dû à l'augmentation du nombre de défauts dans la matrice, causé par la mauvaise distribution des fibres. Avec l'augmentation du dosage des fibres, la cohésion des mortiers diminue et la porosité augmente, conduisant ultérieurement à une chute importante de leur résistance à la compression.

Par exemple, Kriker et al 2005 [60] ont mentionné dans leur étude que la résistance à la compression diminuait en augmentant à la fois la teneur en fibres et leur longueur. La résistance à la compression de l'éprouvette de béton renforcée avec 2% en volume de fibres de palmier dattier dont la longueur de fibre est de 15 mm représente 90% de la résistance à la compression par rapport à l'éprouvette en béton non fibré. Cependant, l'éprouvette renforcée avec 3% de fibres de 60 mm de longueur représente 55% de la résistance à la compression du

béton ordinaire. Les auteurs ont attribué cette diminution à l'augmentation du nombre de défauts et à la non-uniformité de la distribution des fibres.

On signale aussi que les mortiers renforcés de fibres traitées à 100°C et à (80 °C +1% NaOH) sont plus résistants que les mortiers à base de fibres brutes. Ceci est dû à la réduction de la quantité de matériaux amorphes présents dans les fibres par le traitement thermique et le traitement combiné (thermique-alkalin) qui agit sur leur absorption en eau intrinsèque et qui produit une surface rugueuse améliorant donc l'adhérence entre la fibre et la matrice.

IV.3. RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION:

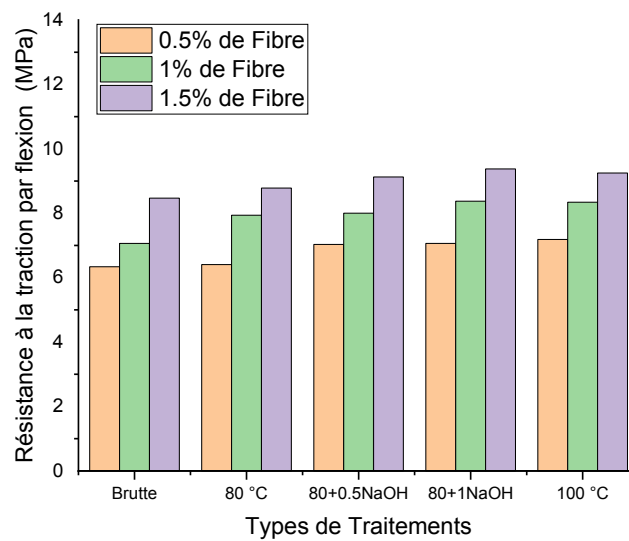


Figure IV.3- Résistance à la traction par flexion des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 14 jours.

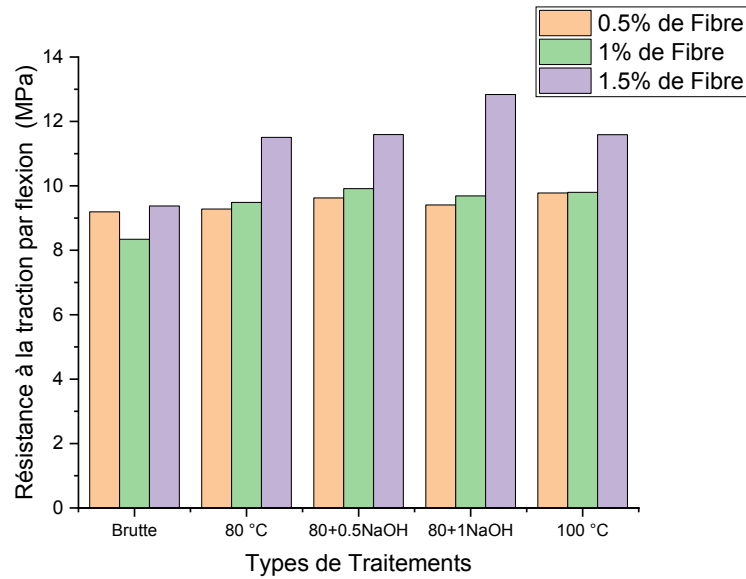


Figure IV.4- Résistance à la traction par flexion des mortiers renforcés de fibres de palmier dattier à 30 jours

Généralement, l'introduction de fibres dans le béton ou le mortier augmente la résistance à la flexion. Les Figure IV.3 et IV.4 présentent l'évolution des résistances en flexion des mortiers à base de ciment en fonction de la teneur en fibres brutes et traitées de palm dattier. Les résultats montrent que la résistance à la traction par flexion augmente avec l'augmentation de la teneur en fibres. Cependant, la résistance à la traction par flexion à 30 jours des mortiers renforcés par les fibres brutes de palm a augmenté d'environ 10% par rapport au mortier témoin pour une teneur optimale en fibres de 1.5%. Alors que pour les mortiers renforcés avec 1.5% de fibres traitées à 80°C la résistance à la traction par flexion augmente de 35% par rapport à celle du mortier témoin. Les mortiers renforcés à 1.5% de fibres traité à (80 °C de 1% NaOH) indiquent la meilleure résistance à la traction par flexion d'environ 12.83 MPa suivi 11.58 MPa par le traitement de (80°C+0.5%NaOH). Ce comportement est lié à l'effet du traitement chimique de la fibre qui élimine les matériaux amorphes à la surface extérieure de la fibre produisant une surface propre et rugueuse ce qui améliore l'interverrouillage et l'adhérence interfaciale entre la fibre et la matrice cimentaire, induisant une augmentation de la résistance à la traction des mortiers cimentaires à base de fibres traitées[64] [65].

Concernant les études de recherche menées sur le comportement en flexion des matériaux cimentaires renforcés en fibre végétale, il a été constaté que le comportement en flexion de

ces composites est lié à la nature et aux dimensions (rapport d'aspect) des fibres, au type de matrices cimentaires, à la dispersion des fibres dans la matrice, ainsi qu'au processus de préparation qui a été ajusté pour préparer les fibres végétaux (brut, humide, traité).

Dans la récente étude réalisée par [66], le comportement mécanique du mortier de ciment renforcé avec des fibres de treillis de palmier dattier comme matière première a été étudié. Les auteurs ont indiqué qu'un spécimen de mortier renforcé avec 10% de fibre de palmier conduit à une diminution d'environ 50% de la résistance à la flexion. Par conséquent, on peut conclure que l'ajout de fibres de palmier dattier en tant que matière première n'a pas d'effet bénéfique sur la résistance à la flexion.

VI.4. PROPRIETES PHYSIQUES :

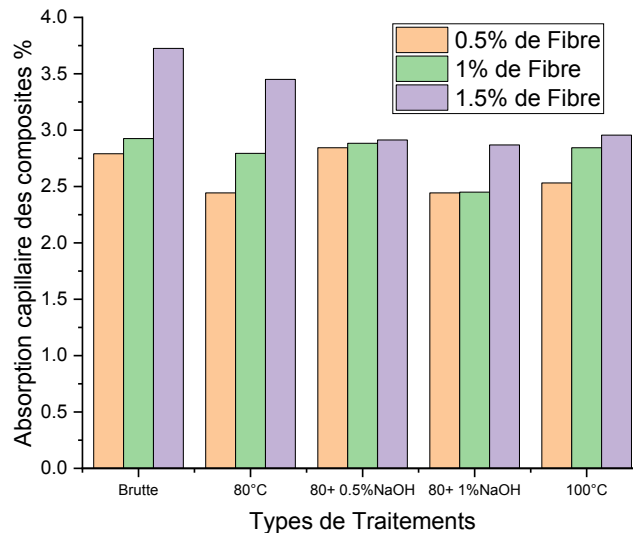


Figure IV.5 - Absorption capillaire à 90 minutes des composites renforcés de fibres brutes et traitées, âgés de 30 jours.

Les résultats de l'absorption par capillarité dans l'eau, réalisés sur des échantillons à base de fibres brutes et traitées après 30 jours de cure sont présentés sur la Figure IV.5. Nous avons observé que l'absorption des mortiers renforcés de fibres brutes est plus élevée que celle avec des fibres traitées. Aussi, l'augmentation de l'absorption en fonction de l'augmentation du dosage en fibres.

Les résultats mettent en évidence une augmentation de l'absorption des éprouvettes avec l'augmentation de la teneur en fibres.

L'addition des fibres brutes de palmier dattier dans le mortier a augmenté leur absorption à 30 jours, de 39 à 87% par rapport au celle du mortier témoin. Alors que l'utilisation des fibres traitées a entraîné une augmentation de l'absorption de 22 à 72% par rapport à celle du mortier témoin.

En ce qui concerne les mortiers renforcés aux fibres traité chimiquement, l'absorption à 30 jours des mortiers à base de fibres traités à 0,5 % NaOH a augmenté respectivement, de 42 à 48 %, par rapport au mortier témoin. De même, les mortiers à base de fibres traitées à 1% NaOH , présentent une absorption de 25 à 50% plus élevées que celle du mortier témoin.

IV.6. CONCLUSION

La résistance à la compression des matériaux à base de ciment diminue en raison de la faible densité des fibres appliquées.

En termes de résistance à la flexion, l'utilisation de fibre comme matière première a montré une augmentation de la résistance à la flexion. Cependant, comme le montre la littérature, un tel traitement chimique adopté pour les fibres, et de telles méthodes de préparation des composites, pourraient apporter une amélioration significative.

Augmentation de l'absorption d'eau du composite renforcé avec 1.5% de fibres par rapport au mortier témoin.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

A partir de l'analyse des différents résultats obtenus, les principales conclusions peuvent être récapitulées comme suit :

Les traitements combinés thermique + chimiques par le NaOH avec différentes concentrations à une influence significative sur le comportement physico-mécanique.

Le traitement combiné thermique-alkalin améliore la structure (les surfaces externes de la fibre deviennent plus rugueuses) ce qui améliore l'adhérence fibre/matrice.

Les résultats des essais de traction montrent clairement que les traitements chimiques par le NaOH, adoptés dans ce travail, permettent une augmentation significative de traction par flexion.

En termes de résistance à la flexion, l'utilisation de fibre comme matière première a montré une augmentation de la résistance à la flexion. Cependant, comme le montre la littérature, un tel traitement chimique adopté pour les fibres, et de telles méthodes de préparation des composites, pourraient apporter une amélioration significative.

Les meilleures propriétés mécaniques sont obtenues suite à un traitement par 80°C+1% NaOH ce qui a permis une augmentation de 40% de la contrainte par rapport aux fibres non traitées ;

La résistance à la compression des matériaux à base de ciment diminue en raison de la faible densité des fibres appliquées. Cette remarque a été confirmée par l'augmentation de l'absorption d'eau du composite renforcé avec 1.5% de fibres par rapport au mortier témoin.

Ce travail a montré la possibilité d'utiliser des fibres de palmier dattier dans des matériaux cimentaires. Ces fibres peuvent être utilisées dans la pratique de la construction pour, entre autres, des éléments de construction non structuraux. C'est-à-dire avoir un matériau écologique.

Les perspectives de cette étude sont nombreuses le programme expérimental pourrait être complété par les études suivantes :

Vérifier les propriétés thermiques (conductivité thermique) sur l'utilisation de ces fibres végétales dans les matériaux cimentaires.

Développer autres traitements chimique avec différentes concentrations.

Interactions physico-chimiques aux interfaces entre les deux fibres végétales et la matrice cimentaire,

Durabilité à long terme des fibres végétales dans des milieux alcalins similaires à la solution interstitielle du milieu cimentaire.

REFERENCES

- [1] IPCC. Intergovernmental panel on climate change climate change 4th assessment report. 2007.
- [2] Stern. Stern review on economics of climate change Cambridge University Press. 2006.
- [3] Glasser F, Marchand J, Samson E. Durability of Concrete-Degradation Phenomena Involving Detrimental Chemical Reactions. Cement and Concrete Research. 2008;38:226-46.
- [4] Bentur A, Mitchell D. Material performance lessons. Cement and Concrete Research. 2008;38:259-72.
- [5] Gjorv. Steel corrosion in concrete structures exposed to Norwegian marine environment. ACI Concrete International; 1994. p. 9-35.
- [6] Ferreira. Service-life design of concrete structures in marine environments: a probabilistic based approach. VDM Verlag Dr. Muller Aktiengesellschaft & Co.KG; . 2009
- [7] peris mora E. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. Building and Environment. 2007;42:1329-34.
- [8] Brandt A. Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. Composite Structures. 2008;86:3-9.
- [9] Azuma K, Uchiyama I, Chiba Y, Okumura J. Mesothelioma Risk and Environmental Exposure to Asbestos: Past and Future Trends in Japan. International Journal of Occupational and Environmental Health. 2009;15(2):166-72.
- [10] Kumagai S, Kurumatani N. Asbestos Fiber Concentration in the Area Surrounding a Former Asbestos Cement Plant and Excess Mesothelioma Deaths in Residents. American journal of industrial medicine. 2009;52:790-8.
- [11] Ikai S, Reichert J, Rodrigues A, Zampieri V. Asbestos-free technology with new high toughness polypropylene (PP) fibers in air-cured Hatschek process. Construction and Building Materials - CONSTR BUILD MATER. 2010;24:171-80.
- [12] Berge. The ecology of building materials. 2nd ed. Architectural Press,. Elsevier. 2007.
- [13] Hakeem KR, Jawaid M, Rashid U. Biomass and Bioenergy: Springer International Publishing; 2014.
- [14] Ardanuy M, Claramunt J, Toledo Filho RD. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. Construction and Building Materials. 2015;79:115-28.
- [15] Jawaid M, H.P.S AK. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. Carbohydrate Polymers. 2011;86:1-18.

-
- [16] John MJ, Thomas S. Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*. 2008;71(3):343-64.
- [17] Baley C. *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites*. Techniques de L'ingénieur. 2004.
- [18] Bledzki AK, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*. 1999;24(2):221-74.
- [19] Stokke D. *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites* 2013.
- [20] Al-Oqla FM, Salit MS. 5 - Material selection of natural fiber composites. In: Al-Oqla FM, Salit MS, editors. *Materials Selection for Natural Fiber Composites*: Woodhead Publishing; 2017. p. 107-68.
- [21] B.Montiès Lpv-Ppe, alimentaires non azotés GVe, Paris (1980).
- [22] Sharma NL, N.C. Dhuldhoya, S.U. Merchant and U.C., Merchant Lucid "Colloids Limited Jodhpur"-342005 R, India,2006.
- [23] P B, "Élaboration d'un matériau composite à matrice gypse, produits rpbf-adlravd, préfabriqué en gypse tdddléNSdMd, Saint Etienne Gdp, 2002.
- [24] Davies P, Morvan C, Sire O, Baley C. Propriétés de fibres extraites de phanérogames marines (*Zostera Marina*). *Revue des composites et des matériaux avancés*. 2006;16.
- [25] Nenonene A. Élaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage. 2009.
- [26] Väisänen T, Haapala A, Lappalainen R, Tomppo L. Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review. *Waste Management*. 2016;54:62-73.
- [27] Satyanarayana KG, Carbajal Arizaga G, Wypych F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers-An overview. *Progress in Polymer Science*. 2009;34:982-1021.
- [28] Sbiai A. Epoxy matrix composites filled with date palm fibers : effect of tempo oxidation on fiber, INSA de Lyon; 2011.
- [29] Ahmad F, Choi HS, Park Mk. A Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2014;300.
- [30] Kocak D, Mistik S. The use of palm leaf fibres as reinforcements in composites. 2015. p. 273-81.
- [31] Benmansour N, Agoudjil B, Gherabli A, Abdelhak K, Boudenne A. Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building. *Energy and Buildings*. 2014;81:98–104.

-
- [32] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2010.
- [33] Meirhaeghe. Évaluation de la disponibilité et de l'accessibilité de fibres végétales à usage matériaux en France. Fibres Recherche Développement, ADEME. 2011.
- [34] Magniont. Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources, Université de Toulouse; 2010.
- [35] Pacheco-Torgal F, Jalali S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials*. 2011;25(2):575-81.
- [36] Ku H, Wang H, Pattarachaiyakoo N, Trada M. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*. 2011;42(4):856-73.
- [37] Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Composite Interfaces*. 2001;8(5):313-43.
- [38] Fiore V, Di Bella G, Valenza A. The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*. 2015;68:14-21.
- [39] Akil H, Zamri MH, Osman MR. 5 - The use of kenaf fibers as reinforcements in composites. In: Faruk O, Sain M, editors. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*: Woodhead Publishing; 2015. p. 138-61.
- [40] Cordeiro N, Gouveia C, John M. Investigation of surface properties of physico-chemically modified natural fibres using inverse gas chromatography. *Industrial Crops and Products*. 2011;33:108-15.
- [41] Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. In: Hodzic A, Shanks R, editors. *Natural Fibre Composites*: Woodhead Publishing; 2014. p. xv-xvii.
- [42] Mukhopadhyay S, Figueiro R. Physical Modification of Natural Fibers and Thermoplastic Films for Composites — A Review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2009;22(2):135-62.
- [43] Valadez-Gonzalez A, Cervantes-Uc JM, Olayo R, Herrera-Franco PJ. Chemical modification of henequén fibers with an organosilane coupling agent. *Composites Part B: Engineering*. 1999;30(3):321-31.
- [44] Mwaikambo L, Ansell M. Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. *Journal of Applied Polymer Science*. 2002;84:2222-34.
- [45] Kabir MM, Wang H, Lau Kt, Cardona F. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*. 2012;43:2883–92.

-
- [46] John M, Anandjiwala R. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. *Polymer Composites*. 2008;29:187-207.
- [47] Mwaikambo L, Tucker N, Clark A. Mechanical Properties of Hemp Fibre Reinforced Euphorbia Composites. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2007;292:993-1000.
- [48] Ray D, Sarkar B, Rana AK, Bose N. Effect of alkali treated jute fibres on composite properties. *Bulletin of Materials Science*. 2001;24:129-35.
- [49] Joseph PV, Joseph K, Thomas S, Pillai C, Prasad V, Groeninckx G, et al. The thermal and crystallisation studies of short sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2003;34:253-66.
- [50] Wang B, Panigrahi S, Tabil L, Crerar W. Pre-treatment of Flax Fibers for use in Rotationally Molded Biocomposites. *Journal of Reinforced Composites*. 2007;26:447-63.
- [51] Wei J, Meyer C. Improving degradation resistance of sisal fiber in concrete through fiber surface treatment. *Applied Surface Science*. 2014;289:511-23.
- [52] Tian H, Zhang YX, Yang R, Ding Y. Recent Advances in Experimental Study on Mechanical Behaviour of Natural Fibre Reinforced Cementitious Composites. *Structural Concrete*. 2016;17:n/a-n/a.
- [53] Barreto ACH, Rosa DS, Fachine PBA, Mazzetto SE. Properties of sisal fibers treated by alkali solution and their application into cardanol-based biocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2011;42(5):492-500.
- [54] Saha P, Chowdhury S, Roy D, Adhikari B, Kim JK, Thomas S. A brief review on the chemical modifications of lignocellulosic fibers for durable engineering composites. *Polymer Bulletin*. 2016;73(2):587-620.
- [55] Ahmad R, Hamid R, Osman S. Physical and Chemical Modifications of Plant Fibres for Reinforcement in Cementitious Composites. *Advances in Civil Engineering*. 2019;2019:1-18.
- [56] Fuqua MA, Huo S, Ulven C. Natural Fiber Reinforced Composites. *Polymer Reviews*. 2012;52:259-320.
- [57] Asumani OML, Reid RG, Paskaramoorthy R. The effects of alkali-silane treatment on the tensile and flexural properties of short fibre non-woven kenaf reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2012;43(9):1431-40.
- [58] Sosiati H, Rohim A, Maarif K, Triyana H, Maarif, Triyana K. Relationships between Tensile Strength, Morphology and Crystallinity of Treated Kenaf Bast Fibers. *AIP Conference Proceedings*. 2013;15540540:42.
- [59] Cao Y SS, Goda K. Effects of heat and alkali treatments on mechanical properties of kenaf fibers. In: 16th int conf compos mater. 2007. p. 1-4. 2007.

-
- [60] Kriker A, Debicki G, Bali A, Khenfer MM, Chabannet M. Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate. *Cement and Concrete Composites*. 2005;27(5):554-64.
- [61] N.E. 196-1 MoTC. Part 1: Determination of Mechanical Strength France 2006.
- [62] Ozerkan NG, Ahsan B, Mansour S, Iyengar SR. Mechanical performance and durability of treated palm fiber reinforced mortars. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2013;2(2):131-42.
- [63] Hamzaoui R, Guessasma S, Mecheri B, Eshtiaghi AM, Bennabi A. Microstructure and mechanical performance of modified mortar using hemp fibres and carbon nanotubes. *Materials & Design (1980-2015)*. 2014;56:60-8.
- [64] Cao Y, Shibata S, Fukumoto I. Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2006;37(3):423-9.
- [65] Sedan D, Pagnoux C, Smith A, Chotard T. Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. *Journal of the European Ceramic Society*. 2008;28(1):183-92.
- [66] Benaïmeche O, Carpinteri A, Mellas M, Ronchei C, Scorza D, Vantadori S. The influence of date palm mesh fibre reinforcement on flexural and fracture behaviour of a cement-based mortar. *Composites Part B: Engineering*. 2018;152:292-9.

ANNEXE A



50kg

Mokaouem Plus
مقاوم بلاس

ALGÉRIE



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminate de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1 est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en CSA < 3%.

AVANTAGES PRODUIT

- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.

 A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
Dosage pour béton C25/30	X 1	17	15	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude dérivée par un laboratoire*

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

Temps de prise à 20°

(NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3,0%

Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42,5

Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270J/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

- 1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.
- 2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.

A member of
LafargeHolcim



Conditionnement: /

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 14ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
ds.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

LAFARGE
لوفارج

RESUME

Au cours de ces dernières années, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'exploitation de la fibre naturelle en tant que renfort pour les matériaux de construction.

L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés physico-mécaniques des mortiers à base de ciment renforcés de fibres de palmier dattier (DPM) brutes et traitées à l'eau chaude, et combinés par NaOH. Deux températures de traitement ont été examinées, 80 °C et 100 °C, avec différents pourcentage de fibres aux taux respectifs de 0.5%, 1% et 1.5%

Les résultats montrent une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation de la teneur en fibres. Le traitement combiné avec NaOH à un effet remarquable sur la performance des mortiers.

ملخص

في السنوات الأخيرة ، يهتم العديد من الباحثين باستخدام الألياف النباتية الطبيعية كتعزيز لمواد البناء. الهدف من هذا العمل هو دراسة الخواص الفيزيائية الميكانيكية للملاط الأسمنتي المعزز بألياف نخيل التمر الغير معالج والمعالج بالماء الساخن مع هيدروكسيد الصوديوم.. تم فحص درجتي حرارة للتجهيز ، 80 درجة مئوية و 100 درجة مئوية. بنسب مختلفة من الألياف النباتية 0.5% و 1% و 1.5%. أظهرت النتائج انخفاضاً في مقاومة الضغط مع زيادة محتوى الألياف. العلاج المشترك مع هيدروكسيد الصوديوم له تأثير ملحوظ على أداء الملاط.

ABSTRACT

In recent years, several researchers have been interested in the use of natural fibres' as reinforcement for building materials.

The objective of this work is to study the physico-mechanical properties of cement-based mortars reinforced with date palm fibres (DPM) not treated and treated with hot water, and combined with NaOH. Two processing temperatures were examined, 80 °C and 100 °C, with different percentage of fibres at the respective rates of 0.5%, 1% and 1.5%.

The results show a decrease in compressive strength with increasing fibres content. The combined treatment with NaOH has a remarkable effect on the performance of mortars.