

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département de génie mécanique
Laboratoire Génie Mécanique et Développement

Mémoire de Master en mécanique énergétique

**Etude bibliographique et caractérisation thermophysique du bois de palmier
dattier en vue de son utilisation en isolation thermique dans l'habitat**

CHERIF Zakaria

Sous la direction de M. Saïd RECHAK Professeur

Présenté et soutenue publiquement le : 04/07/2017

Composition du jury :

Président	M. Arezki SAMAILI	Professeur	ENP Alger
Promoteur	M. Saïd RECHAK	Professeur	ENP Alger
Examineur	M. Mohammed BENBRAIKA	MA.A	ENP Alger

ENP 2017

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département de génie mécanique
Laboratoire Génie Mécanique et Développement

Mémoire de Master en mécanique énergétique

**Etude bibliographique et caractérisation thermophysique du bois de palmier
dattier en vue de son utilisation en isolation thermique dans l'habitat**

CHERIF Zakaria

Sous la direction de M. Saïd RECHAK Professeur

Présenté et soutenu publiquement le : 04/07/2017

Composition du jury :

Président	M. Arezki SAMAILI	Professeur	ENP Alger
Promoteur	M. Saïd RECHAK	Professeur	ENP Alger
Examineur	M. Mohammed BENBRAIKA	MA.A	ENP Alger

ENP 2017

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à,

Ma mère,

" Tu m'as donné la vie, la tendresse, et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'a toujours entourée "

Mon père,

" L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Aucune dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments pour ta patience illimitée, pour ton encouragement continue et surtout pour l'éducation que tu m'as donné "

Que Allah vous préserve et vous procure longue vie.

Mon chers frère Abdelhakim et ma chère sœur Meriam pour leur grand amour et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Mes chers amis qui sans leur encouragement ce travail n'aura jamais vu le jour.

Et toute ma famille.

Zakaria Cherif

Remerciements

Tout d'abord je remercie "Allah" le tout puissant qui m'a donné la volonté, le courage et surtout la patience afin de réaliser ce modeste travail.

Je remercie vivement, monsieur le professeur et chef du département de génie mécanique Saïd R. FERHAËN d'avoir assuré la direction de ce travail, et m'avoir apporté rigueur scientifique nécessaire à son bon déroulement.

Je remercie également monsieur le président du jury Mr Arezki Smaili et mon examinateur monsieur Mohammed Benbraïka d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je veux aussi adresser mes sincères remerciements à monsieur Djamel Eddine KARF pour son précieuse aide et son rôle primordial dans la partie expérimentale de ce travail.

Je remercie encore les enseignants de l'école nationale polytechnique d'Alger et en particulier les enseignants du département de génie mécanique.

Mes vifs remerciements s'adressent également à toute personne qui a contribué à ma formation ou participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

ملخص:

يشمل هذا المشروع دراسة مكتبية وتجريبية للخصائص الفيز وحرارية لخشب شجر النخيل واحتمالية استعماله لتجسيد مادة جديدة للعزل الحراري. تتخصص هاته الدراسة في تشخيص عينات مختلفة من الأجزاء المتجددة لخشب شجر النخيل القادمة من واحات بسكرة بالجزائر. الهدف من هذا المشروع اخراج تأثير مختلف اتجاهات الالياف، الضغط، ومختلف انواع خشب النخيل على الخصائص الفيز وحرارية.

الكلمات المفتاحية: شجر النخيل، مادة مركبة، العزل الحراري، تشخيص فيز وحراري.

Abstract:

This master project consists of a bibliographic and experimental study of the thermophysical properties of palm wood to see its possibility for being used in the elaboration of new insulating materials. The study is devoted to the characterization of different samples of renewable parts of palm wood coming from the oasis of Biskra (Algeria). The aim is to show the effect of fiber orientation, pressure, palm variety and type of wood on thermophysical properties.

Key words: Date palm, composites, thermal isolation, thermophysical characterization.

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude bibliographique et expérimentale des propriétés thermophysiques du bois de palmier en vue de sa possible utilisation pour la réalisation de nouveaux matériaux isolants. L'étude est consacrée à la caractérisation de différents échantillons de parties renouvelables de bois de palmier provenant de l'oasis de Biskra (Algérie). L'objectif est de mettre en évidence l'effet de l'orientation des fibres, de la pression, de la variété de palmier et du type de bois sur les propriétés thermophysique.

Mots clés : Palmier dattier, composites, isolation thermique, caractérisation thermophysique.

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Nomenclature	
Introduction générale et état de l'art	8
Chapitre I : étude bibliographique	
I. Bois de palmier dattier.....	11
I.1. Morphologie de bois de palmier dattier BPD.....	11
I.1.1. Echelle macroscopique.....	11
I.1.2. Echelle ultra structure.....	12
I.1.3. Echelle de la microstructure.....	13
I.2. Composition chimique.....	14
I.2.1. Cellulose.....	14
I.2.2. Hémicellulose.....	14
I.3. Hygroscopique du bois.....	15
I.3.1. L'eau dans le bois.....	16
I.3.2. Mesure du taux d'humidité dans le bois.....	16
I.4. Phénologie du palmier dattier.....	17
I.4.1. Le tronc ou frondaison.....	18
I.5. Fibre de palmier dattier.....	18
I.5.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et ses sous-produits.....	19
I.6 Conclusion.....	19
Chapitre II : Élaboration du matériau composite à base du bois de palmier dattier	
II.1 Collecte et production de Pétiole (Kornav).....	21
II.2 Elaboration des éprouvettes.....	22
II.3 Caractérisation des éprouvettes.....	22
II.4 Réalisation de la plaque composite Kornav/ Epoxy.....	24
II.5 Conclusion.....	24
Chapitre III : Caractérisation thermophysiques du bois de palmier dattier	
III.1. Echantillons et méthodes de caractérisation.....	27
III.1.1. Echantillons étudiés.....	27
III.1.2. Méthodes de caractérisation.....	28
III.2. Résultats et discussion.....	29
III.3 : Conclusion.....	32
Conclusion générale	33
Bibliographie.....	34

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Propriétés mécaniques de Kornav /Epoxy déduites des essais de traction.....	23
Tableau III.1 : Liste et nomenclature des échantillons étudiés.....	28
Tableau III.2 : Valeurs mesurées de la conductivité thermique k , de la diffusivité thermique a et de la permittivité diélectrique relative ϵ_r	30

Liste des figures

Figure I.1 : Coupe d'un tronc d'arbre.....	11
Figure I.2 : Disposition des différents types de bois dans un arbre.....	12
Figure I.3 : Composition de la paroi cellulaire.....	12
Figure I.4 : Eau libre et eau hygroscopique dans le bois.....	13
Figure I.5 : Organisation cellulaire d'un résineux.....	13
Figure I.6 : Représentation schématique de l'organisation des polymères pariétaux dans une fibre de bois.....	14
Figure I.7 : Structure de la molécule de cellulose.....	14
Figure I.8 : Structure des chaînes polymères des hémicelluloses.....	15
Figure I.9 : Les trois alcools constitutifs des lignines.....	15
Figure I.10 : Structure d'une chaîne d'acide uronique.....	15
Figure I.11 : Morphologie du palmier dattier.....	17
Figure I.12 : Schéma d'une palme de palmier dattier.....	18
Figure I.13 : Micrographie de fibre de palmier dattier par microscope à balayage.....	19
Figure II.1 : Pétiole de palmier dattier.....	21
Figure II.2 : Produits résidu du broyage après tamisage avec deux dimensions,(a) calibre 1;(b) calibre 2.....	21
Figure II.3 :(a): Eprouvettes semi-finis;(b): Eprouvettes finis de fraction volumique égale à 60%.....	22
Figure II.4 : (a) Machine universelle de type Zwick/Roell 10 ; (b) Essai de traction.....	23
Figure II.5 : Courbes contraintes/déformations des éprouvettes de "Kornav/Résine époxy" testées en traction.....	24
Figure II.6 : Produit final de la mousse du sandwich.....	25
Figure III.1 : Différentes parties d'un palmier dattier.....	28
Figure III.2 : pétioles utilisés (a); échantillon avec fibres transverse \perp (b) et longitudinales $//$ (c).....	28
Figure III.3 : Images MEB d'une fibre de pétiole (variété Deglet-Nour) ; échelles : 100 μm (a), 100 μm (b) et 20 μm (c).....	29
Figure III.4 : Effet de la pression et de l'orientation des fibres sur la conductivité et la diffusivité thermique.....	31
Figure III.5 : Comparaison de la conductivité thermique et de la permittivité diélectrique relative de différentes variétés de bois de palmier dattier (pétioles et grappes).....	31
Figure III.6 : Comparaison de la masse volumique et de la conductivité thermique du bois de palmier dattier à d'autres matériaux naturels.....	31

Nomenclature

a Diffusivité thermique, $m^2.s^{-1}$

e Epaisseur échantillon, mm

k Conductivité thermique, $W.m^{-1}.K^{-1}$

P Tression, mbar

T Température, $^{\circ}C$

ρ Masse volumique, $kg.m^{-3}$

ϵ_r Permittivité diélectrique relative.

//, \perp orientation des fibres (parallèle, transverse)

Introduction générale et état de l'art :

La société actuelle vit au-dessus de ses moyens. Elle consomme trop d'énergie et épuise rapidement bon nombre de matières premières. La signature des accords de Kyoto a constitué une étape majeure dans la prise de conscience collective de la nécessité de préserver notre environnement en luttant contre le réchauffement de la planète. Compte tenu de son large potentiel d'amélioration, le bâtiment apparaît comme un secteur clef des programmes d'économie d'énergie. Il est possible de diminuer significativement cette consommation en renforçant l'isolation thermique des bâtiments existants et en utilisant des matériaux de construction très isolants et à faible énergie grise pour les nouvelles constructions.

L'usage des matériaux naturels, après transformation, répond à ces besoins par leur pouvoir isolant et parce qu'ils produisent relativement peu d'impacts négatifs sur l'environnement lors de leur production. Isoler sa maison est une démarche écologique. Par exemple, en Europe, 40% de la consommation d'énergie vient du secteur du bâtiment selon les chiffres de l'agence d'environnement européen (EEA). L'isolation thermique de tous les bâtiments permettrait d'économiser 460 millions de tonnes de CO₂ en Europe uniquement. Cela contribuerait à lutter efficacement contre le réchauffement de la planète. Isoler sa maison est donc un véritable acte citoyen pour la planète. Dans un contexte énergétique et environnemental difficile, il est urgent de proposer, en parallèle des solutions actives, des techniques passives bioclimatiques, qui permettent de satisfaire les exigences de confort dans les bâtiments sans surcharger les moyens de production d'énergie auxiliaires. L'utilisation des matériaux naturels et locaux comme isolants représente cette alternative prometteuse, aux systèmes actifs pour le chauffage ou la climatisation. Plusieurs types d'isolants commerciaux existent dans le marché. Il s'agit des (1) Matériaux fibreux inorganiques : fibre de verre et laine de roche, (2) Matériaux fibreux organiques : laine, coton, chanvre, ..., (3) Mousses inorganiques : mousse de verre, béton cellulaire autoclavé, (4) Mousses organiques : polyuréthane, polystyrène, ..., (5) Matériaux ligneux : bois légers, paille agglomérée au ciment, ... (6) liège et (7) Isolants minces réfléchissants. Les isolants les plus couramment utilisés sont la laine de roche et laine de verre pour leurs caractéristiques remarquables. Cependant, en plus des inquiétudes concernant leur caractère cancérigène, ces deux matériaux provoquent avec certitude des irritations cutanées et respiratoires lors de leur pose [1]. Donc, les matériaux naturels écologiques sont là pour les remplacer. Les produits les plus utilisés sont le liège et le chanvre. Plusieurs travaux démontrent que les performances mécaniques des matériaux composites à fibres naturelles (CFN) rapportées aux densités de ces dernières sont comparables à celles des composites à fibres de verre [2,3].

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à la valorisation des ressources locales en l'occurrence les fibres végétales de palmier dattier à faible coût et provenant d'une source renouvelable et de l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine de la construction.

Actuellement le plus grand problème qui limite l'utilisation des fibres végétales dans les matrices cimentaires est leur faible durabilité aux alcalis cimentaires. Le présent travail s'intéresse à l'étude des caractéristiques mécaniques, morphologiques et thermophysiques des parties renouvelables du palmier dattier. Ce mémoire est scindé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique, en présentant les matériaux naturels issue du palmier dattier, leurs différents types, et leurs applications, ainsi que l'étude de leur durabilité.

Dans le deuxième chapitre la partie élaboration du matériau composite à base du bois de palmier est illustrée.

Enfin le dans le troisième chapitre une caractérisation thermophysique du bois de palmier dattier en vue de son utilisation en isolation thermique dans l'habitat est entreprise. Enfin, nous espérons que ce comme un matériau isolant de construction en climat froid et chaud.

Chapitre I

Étude bibliographique

Chapitre I : étude bibliographique

Introduction :

Dans ce premier chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur les matériaux naturels. La première partie est consacrée à la présentation des matériaux naturels ; leurs constitution, leur structure, leur composition chimique et les méthodes de l'extraction des fibres. Puis, on présente les caractéristiques des fibres de bois de palmier dattier, qui sont très intéressantes dans ce travail.

I. Bois de palmier dattier

I.1. Morphologie de bois de palmier dattier BPD

Le bois est une ressource naturelle renouvelable produit par l'arbre au cours de sa croissance. Comme la plupart des matériaux naturels, le bois est un matériau hétérogène ; ses propriétés physico-chimiques, mécaniques et biologiques varient extrêmement d'une espèce à l'autre. Les différences de comportement existent également à l'intérieur d'une même espèce, d'un même peuplement et d'un même arbre [4, 5]

I.1.1. Echelle macroscopique

Le bois possède des structures complexes à différentes échelles d'observation. A l'échelle macroscopique, nous distinguons trois directions principales. Sur un tronc d'arbre, la direction longitudinale L est celle qui est parallèle à l'axe du tronc (voir la figure I.1). Sur une coupe transversale du tronc, il y a le sens radial R qui va de l'écorce vers le centre occupé par le bois de cœur et le sens tangentiel T qui est un sens circonférentiel tangentiel aux cernes de croissance.

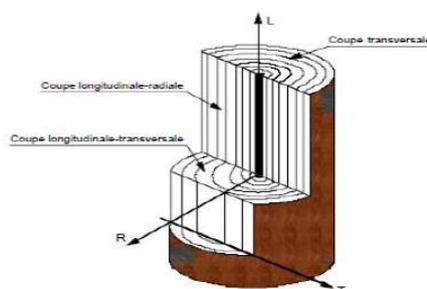


Figure I.1 : Coupe d'un tronc d'arbre [4]

Nous pouvons aussi distinguer plusieurs types de bois dans un même arbre (voir la figure I.2). De la périphérie vers le centre, d'abord l'écorce qui sert de couche protectrice, ensuite le liber assurant la circulation de la sève élaborée en périphérie des branches vers les racines et le cambium qui génère l'aubier qui transporte la sève brute des racines vers les branches. Au fur et à mesure que les cernes de croissance se forment, les anciens cernes finissent leurs rôles de transporteur de sève et deviennent le duramen ou bois parfait. Ils servent alors de support à l'arbre qui continue d'accroître son poids et de se développer.

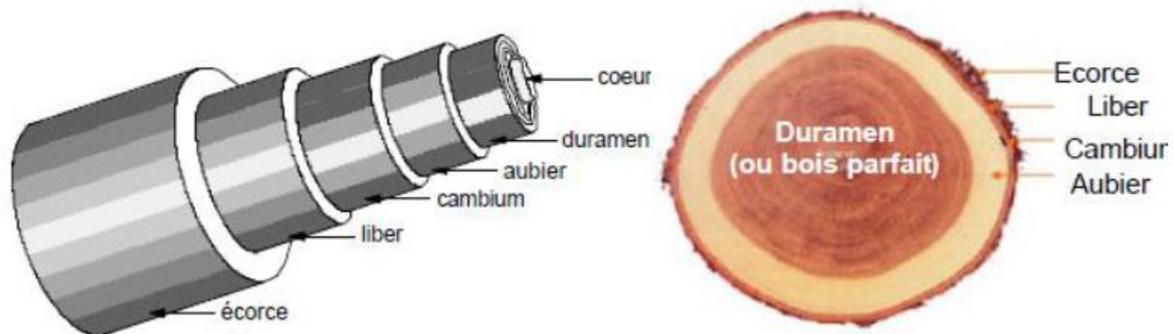


Figure I.2 : Disposition des différents types de bois dans un arbre [4].

I.1.2. Echelle ultra structure

A l'échelle du micron, le bois possède une paroi cellulaire constituée de deux sous parois. La sous-paroi primaire d'épaisseur $0.1\mu\text{m}$ est constituée de microfibrilles orientées aléatoirement. A l'état vert du bois, cette sous-paroi contient énormément d'eau. Le retrait de l'eau peut faire diminuer son épaisseur jusqu'à $0.03\mu\text{m}$ (voir la figure I.3). La sous paroi secondaire est constituée de trois couches (S1, S2, S3) dont la couche centrale S2 peut représenter 85% de l'épaisseur totale de la sous-paroi ; les deux autres couches étant pratiquement identiques. Les micro-fibrilles, qui constituent cette sous paroi secondaire, sont orientées sous forme de spirales croisées. L'orientation de ces micro-fibrilles est de 50° à 90° (ou 60° à 80° , selon les auteurs) par rapport à l'axe de la cellule dans les couches S1 et S3 est de 5° minimum à 30° ou 40° maximum dans la couche S2. Ces couches qui diffèrent de par leur épaisseur et l'orientation des micro-fibrilles qui les constituent. L'épaisseur totale peut aller de 4 à $10\mu\text{m}$. Selon le type de bois (naturelle, sec, normal et traité etc.). L'orientation moyenne des micro-fibrilles est à l'origine de l'anisotropie observée sur les phénomènes de retrait-gonflement hydrique [1]. Les propriétés dans la direction longitudinale peuvent trouver leur explication par l'inclinaison des microfibrilles dans la couche S2[2-4].

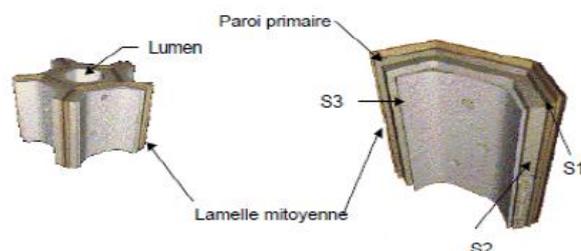


Figure I.3 : Composition de la paroi cellulaire [4]

L'association des parois cellulaires est marquée par la présence d'une lamelle mitoyenne riche en lignine et d'un canal libre appelé lumen à travers lequel l'eau peut circuler librement. La lamelle mitoyenne a un rôle prépondérant dans la contribution aux propriétés mécaniques puisque c'est elle qui fait le lien entre les cellules. Lors d'une sollicitation mécanique, la lamelle mitoyenne et la paroi primaire peuvent glisser sur les couches S1 et S2 avec plus ou moins de facilité selon la présence d'eau sur les parois, ce qui offre au bois des propriétés mécaniques

différentes selon la quantité de cette eau présente sur ces parois. Cette eau est appelée eau liée ou eau hygroscopique (voir la figure I.4)

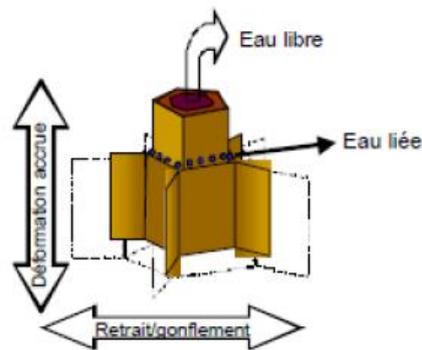


Figure I.4 : Eau libre et eau hygroscopique dans le bois [4]

Ajoutons à cela l'existence d'une couche gélatineuse très faiblement liée à la paroi cellulaire. Elle est composée de micro-fibrilles orientée verticalement et possède une propriété de retrait importante [5].

I.1.3. Echelle de la microstructure :

Le bois est formé essentiellement de trachéides orientées dans le sens longitudinal. On peut distinguer des trachéides de bois de printemps ou bois initial et celles de bois d'été ou bois final. Elles sont de forme allongée, de section transversale polygonale et creuse. Les trachéides de bois de printemps ont des parois minces avec un diamètre intérieur important ; ce qui donne une masse volumique faible. Au contraire, les trachéides de bois d'été ont des parois épaisses mais un diamètre intérieur faible et une masse volumique importante. Ceci est visualisé sur la figure I.5 où l'on distingue nettement l'interface entre le bois initial et le bois final [2] Ces trachéides possèdent, sur leurs parois, des ponctuations aréolées qui jouent le rôle de régulateur des écoulements. Ils sont plus larges et plus nombreux dans le bois d'été. Parallèlement aux trachéides, les canaux résinifères, entourés de cellules qui produisent de la résine, assurent la circulation de celle-ci. Dans le sens radial, les rayons ligneux transportent la sève. Dans le sens radial, les rayons ligneux transportent la sève.

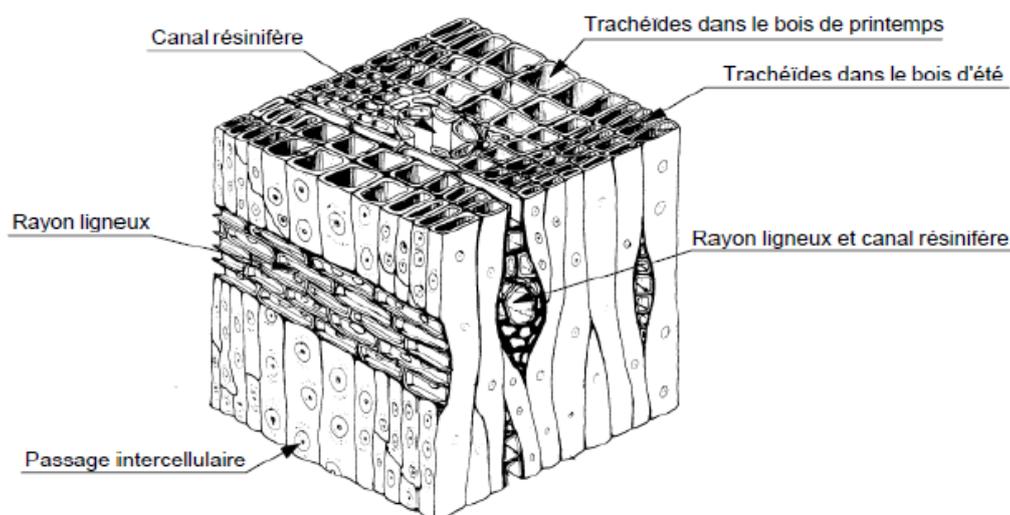


Figure I.5 : Organisation cellulaire d'un résineux [5].

I.2. Composition chimique :

Nous venons de voir que le bois est un matériau très hétérogène ; sa composition chimique est donc complexe. On peut classer les matériaux de structure en trois catégories : la cellulose, les hémicelluloses et les lignines, organisées dans une structure composite (voir la figure I.6).

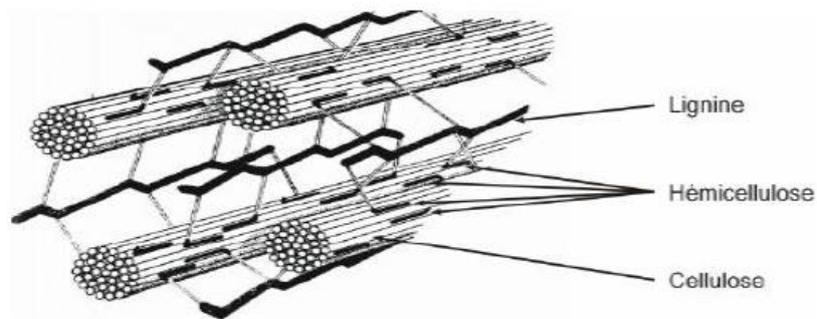


Figure I.6 : Représentation schématique de l'organisation des polymères pariétaux dans une fibre de bois [6].

I.2.1. Cellulose :

C'est un polymère régulier du glucose, de formule $(C_6H_{10}O_5)_n$. Des liaisons hydrogène intramoléculaires et intermoléculaires, dues aux nombreux groupements hydroxyles de la chaîne, favorisent l'arrangement de celle-ci en domaines cristallins, avec des zones amorphes à intervalle d'environ 30 nm (voir la figure I.7).

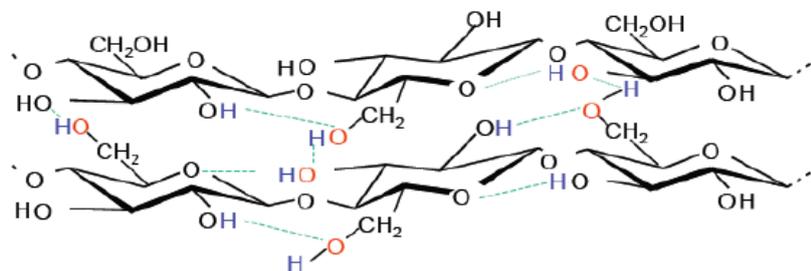


Figure I.7 : Structure de la molécule de cellulose [6].

Les micros fibrilles de cellulose forment un système élastique de résistance mécanique, chimique et thermique. La cellulose est responsable de l'essentiel des propriétés mécaniques du bois [5].

I.2.2. Hémicellulose :

Ce sont des polysaccharides (pentosanes, xylanes, ...) à chaînes plus courtes que celles de la cellulose (voir la figure I.8). Elles sont hydrophiles et susceptibles de gonfler au contact de l'eau, ce qui les rend responsables de l'instabilité dimensionnelle du bois. La composition des monomères de départ dépend de la famille de bois (résineux ou feuillu) considérée. Le groupe des hémicelluloses peut donc être scindé en sous-groupes nommés selon le monomère : xylanes, mannanes, galactanes et glucanes [6].

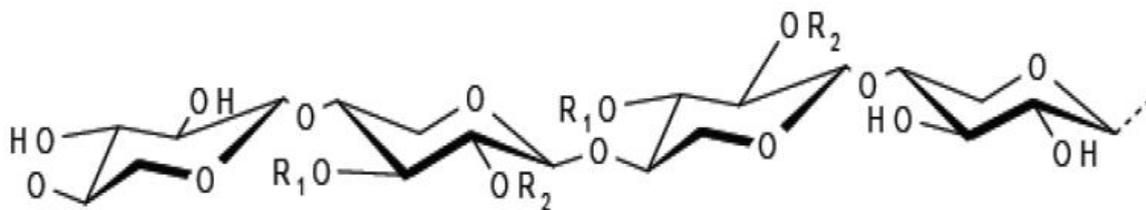


Figure I.8 : Structure des chaînes polymères des hémicelluloses [6].

I.2.3. Lignines :

Ce sont des polymères tridimensionnels complexes, essentiellement phénoliques, et dont la structure est différente selon la famille de bois et les éléments morphologiques (fibres, rayons, vaisseaux).

Les lignines sont totalement amorphes, et présentes dans la lamelle mitoyenne sous forme d'un réseau 3D aléatoire ainsi que dans la paroi secondaire sous forme d'un réseau 2D organisé. Les trois monomères sont des alcools phénylpropénoïques : p-coumarylique (1), coniférilique (2) et sinapylique (3) (voir la figure I.9).

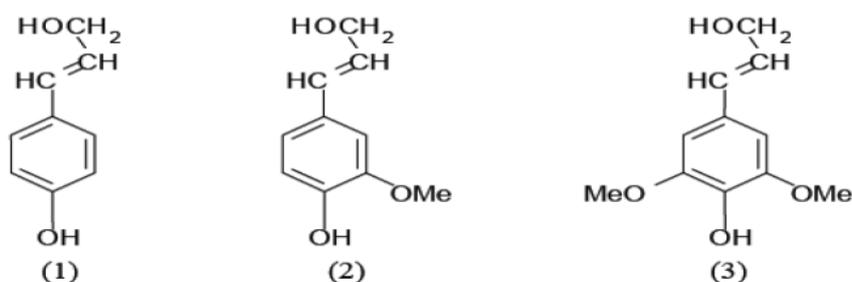


Figure I.9 : Les trois alcools constitutifs des lignines [6].

I.2.4. Pectine :

La pectine est un polymère acide, composée d'une chaîne d'acide uronique (l'acide uronique est obtenu par oxydation du dernier carbone de sucre) [7]. Elle fournit la flexibilité à plante[8]

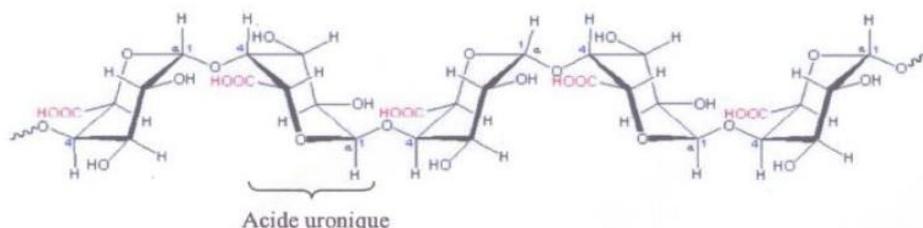


Figure I.10 : Structure d'une chaîne d'acide uronique [9]

I.3. Hygroscopique du bois :

L'hygroscopie est une caractéristique très importante du bois puisqu'elle rend le matériau sensible aux conditions climatiques environnantes (humidité et température). Le bois «mort » va s'imprégner d'une certaine quantité d'eau afin d'établir un équilibre avec son environnement. Les variations d'humidité peuvent entraîner des modifications du bois (densité, dimensions, propriétés mécaniques et résistance aux champignons). L'eau joue un rôle de plastifiant pour la

chaîne polymère constituant les parois cellulaires et augmente la mobilité des chaînes. Le taux d'humidité doit alors être connu, voire maîtrisé, avant toute mesure de chacune des propriétés du matériau. L'hygroscopie a pour conséquence de rendre délicate l'utilisation du bois en tant que matériau [9,11].

I.3.1. L'eau dans le bois :

L'eau dans le bois se présente sous plusieurs phases :

- **Eau libre ou capillaire**

Elle occupe les vides cellulaires et est soumise aux forces capillaires et de gravité. Ces forces de capillarité sont responsables du transport de la sève brute (des racines vers la cime des arbres) [10].

- **Eau liée ou adsorbée**

C'est cette eau qui est à l'origine des modifications physiques et mécaniques du bois tel que le retrait/gonflement libre. C'est une eau dite hygroscopique liée principalement sur les chaînes celluliques qui composent les parois cellulaires. Tant que l'eau libre est présente dans les cavités, ces parois cellulaires sont saturées et la quantité d'eau liée est appelée «point de saturation des fibres» ou PSF [10].

- **Vapeur d'eau**

La vapeur d'eau est présente dans les cavités et les micropores dans le cas où ces derniers ne sont pas saturés en eau libre. Si l'eau libre est présente, la pression de la vapeur prend sa valeur saturante, si l'eau libre n'existe pas dans les cavités, la vapeur entre en équilibre thermodynamique avec l'eau liée présente sur les parois cellulaires. Cette vapeur d'eau n'est pas «titrable», c'est à dire que l'eau sous forme vapeur n'est pas quantifiable par une simple connaissance de l'état hydrique d'un échantillon. D'autres paramètres liés à la structure du matériau de bois, notamment la porosité, sont nécessaires pour quantifier la vapeur d'eau dans une pièce de bois [10].

- **Eau de constitution**

Elle participe à l'élaboration des molécules du squelette du matériau [10].

I.3.2. Mesure du taux d'humidité dans le bois :

La détermination expérimentale de la teneur en eau dans le bois peut se faire de diverses manières :

a-Mesure par pesée : Le taux d'humidité (H) d'un échantillon de bois s'exprime en pourcentage. Il est égal à la masse d'eau comprise dans l'échantillon (MH) par rapport à la masse anhydre Mo.

$$M_H = \frac{M_H - M_0}{M_H} \times 100 \quad (I.1)$$

Avec M_H la masse de l'échantillon à l'air ambiant, M_0 la masse de l'échantillon anhydre. La norme française (NF B 51-004 février 1942) préconise de mesurer la masse anhydre d'un échantillon après séchage à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante [10].

b- Mesure basée sur les propriétés électriques du bois : La résistivité du bois varie en fonction de sa teneur en eau. Ainsi, en déterminant sa résistance électrique ou sa conductivité, on peut remonter au taux d'humidité. Cependant, la précision de la mesure dépend, entre autres, de la gamme d'humidité explorée et de la fiabilité de l'étalonnage. Cette méthode non

destructive donne une information locale du taux d'humidité avec un temps de mesure relativement court [10].

c- Mesure par adsorption d'un rayonnement X : C'est la méthode la plus sophistiquée pour mesurer la densité et le taux d'humidité du bois. Le système de mesure consiste à balayer par des rayons X la pièce en bois et à mesurer au moyen d'un détecteur le spectre de la face opposée [10].

d- Mesure par sonde de l'humidité relative : La mesure est effectuée par une sonde enfoncée dans une cavité forée dans le bois qui détermine l'humidité relative de l'air emprisonné à l'intérieur. La courbe isotherme de sorption du matériau permet ensuite de remonter à la teneur en eau locale du bois. La plage de mesure de la sonde s'étend de 6% à 98% avec une précision de 1 % [8].

I.4. Phénologie du palmier dattier :

Le palmier dattier est un arbre à feuilles persistantes. Celles-ci portent le nom de palmes et ont une durée de vie de 3 à 7 ans, leur formation s'achève en une année. Après une légère période de repos, la période végétative commence par l'apparition de nouvelles palmes ou palmes de l'année. Au début de la période reproductrice, et à l'aisselle des feuilles ou palmes, des bourgeons donnent naissance à des spathes. Le palmier dattier est dioïque [11].

En effet, Le palmier est une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles [12].

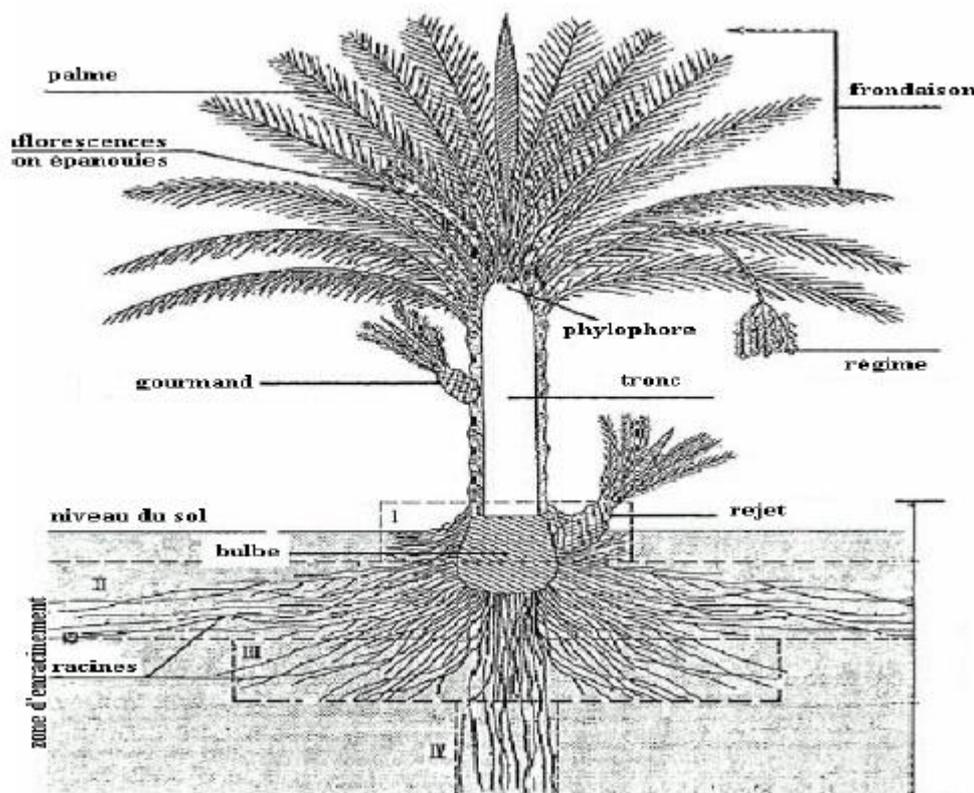


Figure I.11 : Morphologie du palmier dattier [13].

I.4.1. Le tronc ou frondaison :

Le palmier dattier a un tronc unique colonnaire sans branche appelé stipe. Le stipe se termine par un bourgeon terminal unique produisant des feuilles appelé espalmes (frondes), il est généralement cylindrique. L'enveloppe extérieure, l'écorce, n'est qu'une expansion de la base des pétioles des feuilles [14]. Les fibres des pétioles ne forment point un tissu comme dans le bois ordinaire. Ce tissu présente des couches assez semblables à des toiles d'araignées (ils sont placés sans ordre, les unes à côté des autres). Le tronc n'est composé que des fibres pétiolaires superposées les unes sur les autres de l'intérieur à l'extérieur [15]. Ceci explique pourquoi le bois est plus dur à l'extérieur qu'à l'intérieur [16].

I.4.2. La couronne :

On appelle la couronne, l'ensemble des palmes vertes. Le nombre des palmes chez un palmier dattier adulte peut atteindre de 50 à 200 palmes. Elles sont émises par le bourgeon terminal ou « phyllophore ».

I.4.3. Palme :

La palme ou « Djérid » est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis qui s'étend au pétiole. Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues. Le pétiole (Kornaf) est dur et relativement rigide [17]. Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir de bourgeon et perd un nombre similaire de palmes par dessèchement [17, 18].

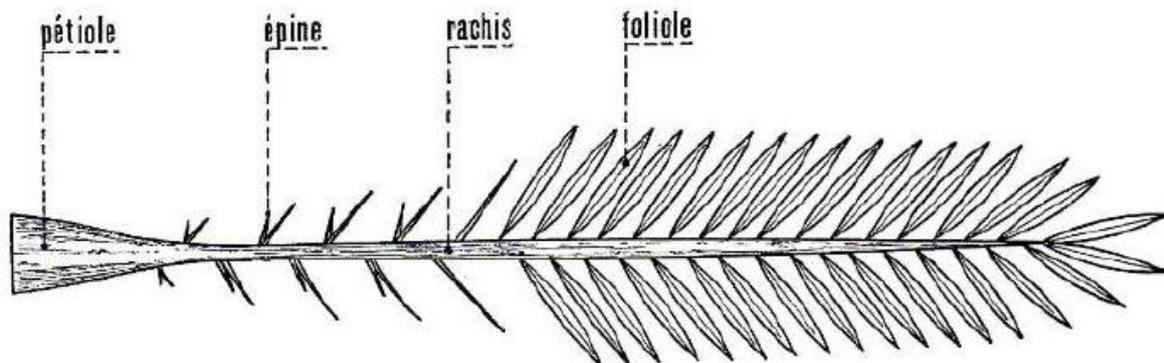


Figure I.12 : Schéma d'une palme de palmier dattier [18].

I.5. Fibre de palmier dattier :

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant quatre types de fibres [19].

- fibres de bois de tronc.
- fibres de feuilles au niveau des pédoncules.
- fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe).
- fibres de surface autour de son tronc ou de bases de palmes (pétiole)
- fibres de liffe (entre les Kornafs, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le liffe).

I.5.1. Structure des fibres :

Les techniques microscopiques comme la microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie électronique à transmission (MET), sont généralement utilisés pour l'analyse de la microstructure des fibres [19, 20] La figure I.13 présente un exemple de l'examen de la fibre de palmier dattier par microscope à balayage (MEB).

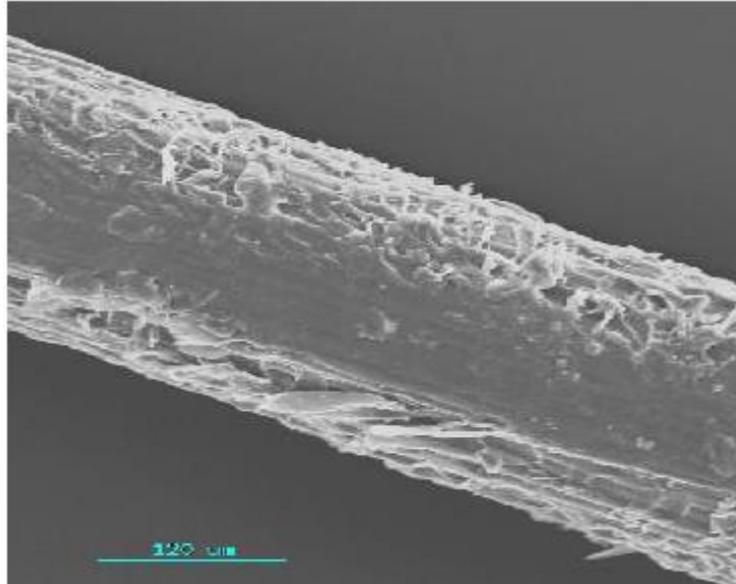


Figure I.13 : Micrographie de fibre de palmier dattier par microscope à balayage [19, 20].

I.5.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et ses sous-produits :

Selon la littérature [19, 21, 22], il existe environ 100 millions de palmier dattier dans le monde. Les palmes sèches et fraîches sont découpées chaque année. Une estimation annuelle des palmes découpées est évaluée à 1130 000 tonnes.

En Algérie, le nombre de palmier dattier est plus de 10 millions arbres [23], avec plus de 800 variétés [19]. Le tonnage de la partie consommable des palmes sèches est environ de 135 103 tonnes de palmes sèches / an, les pédicelles de dattes est environ de 5 103 tonnes de pédicelles / an, avec 67500 tonnes de rebuts de dattes [20, 22].

I.6 Conclusion :

Après cette étude bibliographique, on peut conclure par les conclusions suivantes ;

- Le bois de palmier dattier est une ressource naturelle renouvelable produit par l'arbre au cours de sa croissance.
- Le bois de palmier dattier appartient une caractéristique hygroscopique importante. Parce qu'il est des caractéristiques très importantes du bois puisqu'elle rend le matériau sensible aux conditions climatiques environnantes (humidité et température).
- L'utilisation de bois de palmier dattier est dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée. Vu les problèmes de santé que présente les fibres d'amiante, leur substitution par des fibres végétales ou polymères est un enjeu médicoéconomique important. De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres végétales, de verre ou de polymère.

Chapitre II

Élaboration du matériau composite à base du bois de palmier dattier

Chapitre II : Élaboration du matériau composite à base du bois de palmier dattier :

II.1 Collecte et production de Pétiole (Kornav) :

Les régions du sud Algérien disposent de ressources végétales abondantes, mais peu exploitées et présentant de bonnes caractéristiques physiques et mécaniques tel que les pétioles et les déchets cellulósiques du palmier dattier produits abondamment lors des travaux d'entretien annuels.

Comme déjà cité dans le "paragraphe 3.1", l'âme de la structure sandwich va être à base de poudre du pétiole.

On collecte alors le pétiole à partir des travaux d'entretien que subit l'arbre de palmier dattier qui va être ensuite découpé et broyé.



Figure II.1 : Pétiole de palmier dattier.

Après le découpage de pétiole en petit morceau, on procède au broyage en utilisant un broyeur électrique " 220-240 V, 50/60 Hz et 200W " pour extraire le produit résidu qui va être par la suite trié en deux différents calibres.

- le 1^{er} calibre $\leq 500 \mu m$
- le 2^{ème} calibre $\leq 1mm$

La figure 3.9 montre le produit résidu après tamisage avec les deux dimensions.



Figure II.2 : Produits résidu du broyage après tamisage avec deux dimensions,(a) calibre 1;(b) calibre 2.

II.2 Elaboration des éprouvettes :

Afin de tirer les différentes caractéristiques mécaniques des constituants du matériau composite à structure sandwich (Kornav/Epoxy), on procède à la réalisation des différents échantillons d'éprouvettes de fraction volumique égale à 60% de Kornav.

Comme montré dans la figure (3.13), les éprouvettes finis sont conçues selon la proportion indiquée précédemment.

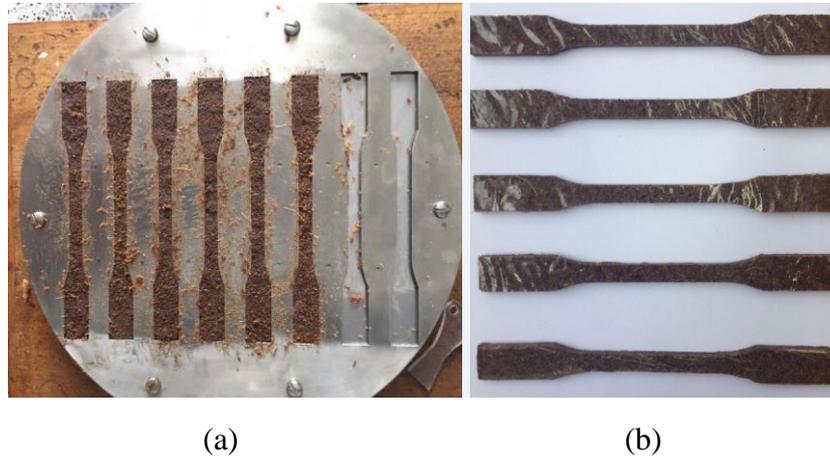


Figure II.3 : (a): Eprouvettes semi-finis;(b): Eprouvettes finis de fraction volumique égale à 60%.

II.3 Caractérisation des éprouvettes :

La caractérisation consiste à déterminer la contrainte de rupture en traction des éprouvettes élaborées et par conséquent en déduire leur module de Young. Les éprouvettes destinées à l'essai de traction ont les mêmes dimensions avec la norme ASTM D638, et les tests ont été fait avec une charge constante et une vitesse fixée à 5 mm/min .

La contrainte de rupture en traction σ_T est calculée comme suit :

$$\sigma_T = \frac{F_T}{S_0} \quad (3.3)$$

Les essais de traction sont effectués à température ambiante sur une machine universelle de type Zwick/Roell 10, dotée d'un capteur de force de capacité de 10 KN et d'un extensomètre comme montrée dans la figure 3.14. Cette machine est pilotée par ordinateur à l'aide du logiciel d'acquisition de données TextXpert12.0.

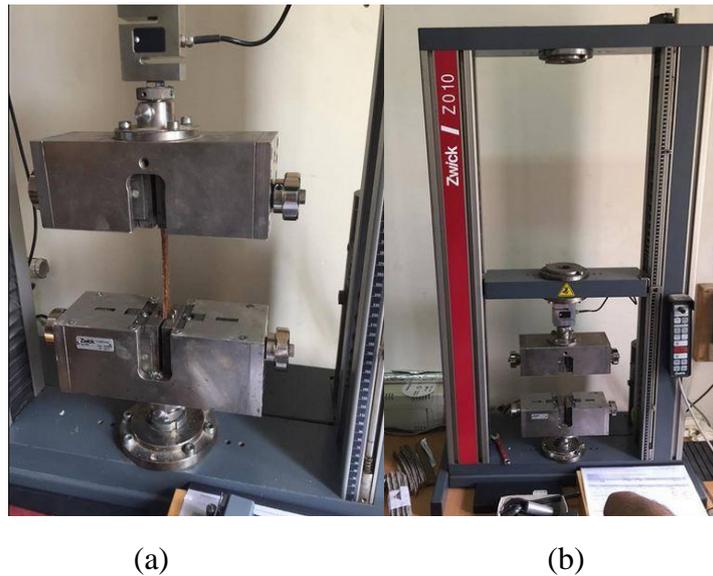


Figure II.4 : (a) Machine universelle de type Zwick/Roell 10 ; (b) Essai de traction.

Les moyennes des différents résultats obtenus sont synthétisées dans le tableau II.1

Tableau II.1 : Propriétés mécaniques de Kornav /Epoxy déduites des essais de traction.

Numéro	F_{max} (N/mm^2)	F_{break} (N/mm^2)	$\delta Break$ (%)	δ_{Fmax} (%)	E (N/mm^2)
1	6.45	5.88	3.67	3.56	228.64
2	7.90	6.22	10.54	8.52	483.74
3	5.96	5.30	11.55	10.30	157.37
4	6.08	4.92	10.93	9.08	177.70
5	6.25	5.29	12.94	10.76	306.98

D'après les résultats obtenus à partir du tableau 3.4 on peut noter que le module d'Young diffère d'une éprouvette à une autre, par conséquent on procède à la moyenne des résultats pour obtenir le module d'Young de notre Âme de la structure sandwich.

$$E_{moy} = \frac{228.64 + 483.74 + 157.37 + 177.7 + 306.98}{5} = 270.886 \text{ MPa}$$

$$E_{moy} \cong 271 \text{ MPa}$$

Les courbes contraintes/déformations obtenues sont présentées sur la figure 3.15. On remarque qu'il y a un écart en contrainte entre les courbes résultantes, de plus on constate qu'il existe trois phases principales réparties selon les différentes éprouvettes.

- a) La partie linéaire : correspond à l'évolution linéaire de la contrainte en fonction de la déformation, le module d'Young E a été mesuré comme la pente de la courbe contrainte/déformation sur la partie élastique linéaire.
- b) La partie non linéaire : où la contrainte maximale est atteinte.
- c) La partie finale : correspond à une chute de la contrainte jusqu'à la rupture des éprouvettes.

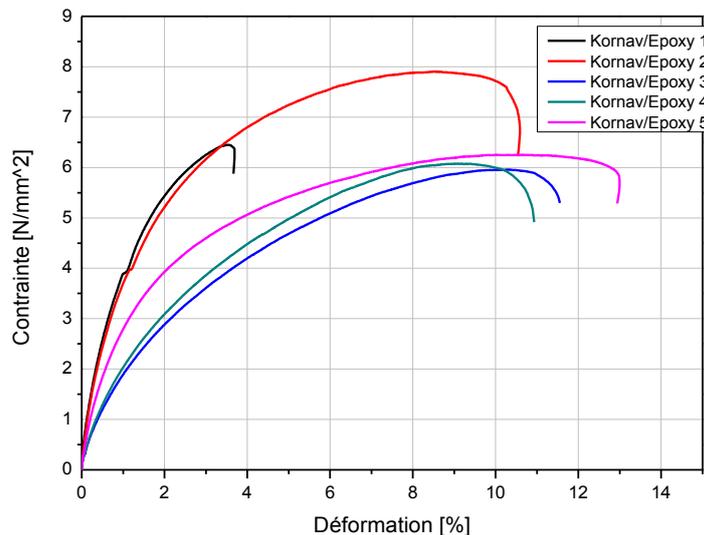


Figure II.5 : Courbes contraintes/déformations des éprouvettes de "Kornav/Résine époxy" testées en traction.

Discussion:

D'après les différents résultats illustrés dans le tableau 3.4 et la figure 3.15 on ne tient pas compte du premier essai de traction à cause du grand écart de l'allongement de rupture avec les autres. On voit qu'il y a une dispersion entre les courbes de la figure 3.15, qui peut être expliquée par un faible taux de réticulation entre la matrice et le renfort. Ceci peut être dû à une incompatibilité entre la matrice et le renfort (Kornav), d'une part. D'autre part, on peut aussi dire que la poudre utilisée comme renfort peut contenir un certain pourcentage d'humidité. Il faut noter que la présence de H_2O au cours de la réticulation ferme le groupement oxérol, c'est à dire d'un point de vue chimique, il existe des groupements non réticulés à l'intérieure de la matrice.

II.4 Réalisation de la plaque composite Kornav/ Epoxy :

Cette étape de la réalisation consiste à élaborer le mélange Kornav/résine qui sera mis entre les deux peaux stratifiés dans structure finale du sandwich.

Mode d'emploi :

Afin d'avoir des résultats multiples et pouvoir les comparer, on procède à élaborer deux type d'âme selon leur composition.

1. La fraction volumique du Kornav est de $V_{f_k} = 55\%$ et $V_{m_r} = 45\%$ de résine époxy.
2. La fraction volumique du Kornav est de $V_{f_k} = 60\%$ et $V_{m_r} = 40\%$ de résine époxy.

On mélange la poudre broyée du Kornav qui est considérée comme renfort avec la résine époxy comme matrice et par la suite on coule le mélange dans un moule de 6 mm d'épaisseur et enfin, on dépose le contre moule et on applique une pression afin d'obtenir une mousse bien finie et prêt à être collé avec les deux peaux du sandwich.



Figure II.6 : Produit final de la mousse du sandwich.

II.5 Conclusion :

En conclusion, ce chapitre présente et illustre les différentes étapes d'élaboration des panneaux composite à base de bois de palmier dattier (kornav) et d'époxyde des éprouvettes. L'objectif est de se familiariser avec toutes les méthodes et techniques d'élaboration utilisées.

Tout d'abord, les différentes causes et avantages qui ont permis le choix des constituants du sandwich sont illustrés. Par la suite on s'est orienté vers la réalisation d'une structure à âme en mousse de pétiole de palmier dattier ("Kornav" appellation locale). Les éprouvettes du composite Kornav/Epoxy élaborées en premier lieu ont pu être testées en traction afin de tirer leurs différentes caractéristiques. Le procédé de moulage par compression à froid de résine liquide a ainsi pu être utilisé pour la mise en œuvre du composite Kornav / Epoxy.

Chapitre III

Caractérisation thermophysique du bois de palmier dattier

Chapitre III : Caractérisation thermophysiques du bois de palmier dattier

Introduction

L'exploitation des palmiers dattiers produit annuellement une quantité importante de bois, estimée à environ 250000 tonnes pour l'Algérie seulement et presque 2 millions de tonnes mondialement [23]. Ces parties renouvelables de l'arbre sont actuellement très peu exploitées.

Ce type de matériau est ainsi actuellement envisagé comme matériau d'isolation pouvant être utilisé dans le domaine du bâtiment. Néanmoins, les propriétés thermophysiques de ce type de bois restent mal connues à ce jour.

Ce travail porte donc sur l'étude expérimentale des propriétés thermophysiques du bois de palmier. Il fait suite à une étude préliminaire concernant la caractérisation thermophysique d'échantillons de tronc de palmiers dattiers [24]. Cette nouvelle étude s'est focalisée sur deux parties renouvelables (annuellement) du bois de palmier dattier : la grappe et le pétiole.

L'objectif est ici d'obtenir une première comparaison des propriétés de ce type de bois à d'autres matériaux naturels ou non actuellement utilisés pour leurs propriétés isolantes. Une étude des propriétés thermiques en fonction de la variété de palmier dattier, de l'orientation des fibres et de la pression a par ailleurs été réalisée [23]. Les caractérisations de propriétés thermophysiques sont complétées par des mesures de masse volumique, de permittivité diélectrique et des observations structurales par microscopie électronique [23].

III.1. Echantillons et méthodes de caractérisation :

III.1.1. Echantillons étudiés :

Différents échantillons ont été prélevés dans du bois de palmiers dattiers de différentes variétés (Deglet-Nour, Mech-Degla, Elghers) issu d'une oasis de la province de Biskra en Algérie [23]. La figure 1 présente une image d'un palmier dattier sur laquelle sont indiquées les positions des parties renouvelables de l'arbre (grappe, pétiole, mesh, feuilles). La figure 2 présente une image des échantillons de pétiole utilisés pour les caractérisations. La liste des échantillons avec leur masse volumique, épaisseur et la nomenclature utilisée par la suite dans cette communication est présentée dans le tableau 1. Pour les échantillons de pétiole de la variété Deglet-Nour, des échantillons ont été découpés dans deux directions perpendiculaires afin d'observer l'éventuel effet de l'orientation des fibres (Cf. figures 2(b) et 2(c)).

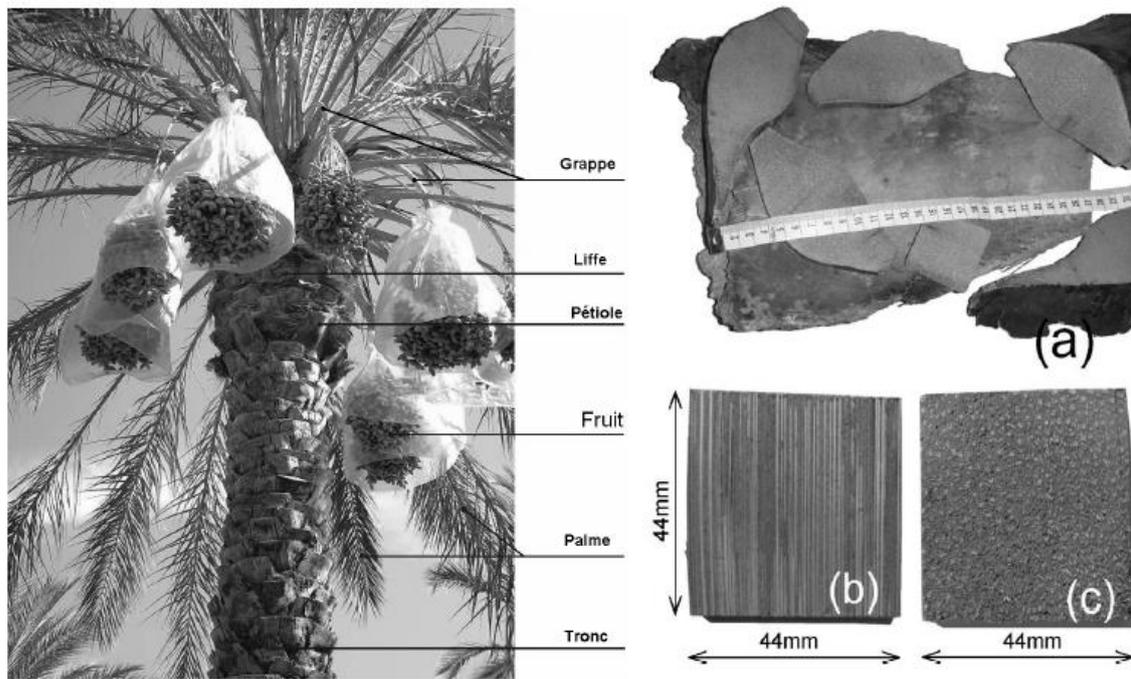


Figure III.1: Différentes parties d'un palmier dattier [23] **Figure III.2 :** pétioles utilisés (a) ; échantillon avec fibres transverse ⊥ (b) et longitudinales // (c)

Tableau III.1 : Liste et nomenclature des échantillons étudiés [35].

Type de bois	Variété de palmier dattier	Sens des fibres	Nomenclature	e	ρ
				mm	kg.m ⁻³
Grappe 'B'	Deglet-Nour	⊥	BDN	4.35	389 ± 4
	Mech-deglet	⊥	BMD	5	388 ± 3
	Elghers	⊥	BEG	5	341 ± 3
Pétiole 'P'	Deglet-Nour	⊥	PDN	4.5	276 ± 2
	Mech-deglet	⊥	PMD	4.4	187 ± 1
	Elghers	⊥	PEG	4.2	206 ± 1
	Deglet-Nour	//	PDN//	4.6	276 ± 2

III.1.2. Méthodes de caractérisation :

Les observations par microscopie électronique à balayage ont été réalisées en utilisant un microscope électronique JEOL JSM-6301F. Les observations ont été complétées par des mesures spectroscopiques (EDS) afin de déterminer la composition en éléments chimiques des fibres de ce type de bois. La composition obtenue est proche de celle obtenue lors d'études antérieures indépendantes [23].

La conductivité thermique *k* et la diffusivité thermique *a* ont été mesurées en utilisant le dispositif de mesure DICO [25]. Ce dispositif est basé sur une excitation thermique en régime périodique. L'échantillon, de section carrée (44mm de côté) et de quelques mm d'épaisseur (Cf. tableau 1), est inséré entre deux plaques métalliques et soumis sur une de ses faces à un flux thermique modulé à différentes fréquences. La mesure des températures de part et d'autre de l'échantillon permet le calcul de la fonction de transfert thermique expérimentale. La fonction de transfert thermique théorique, écrite à partir d'un modèle 1D en utilisant la méthode des

quadripôles [26], possède deux paramètres inconnus (k et a). Ces propriétés sont identifiées par minimisation de l'écart quadratique entre les deux fonctions de transfert thermique en utilisant la méthode de Levenberg-Marquardt. Les incertitudes statistiques sont obtenues à partir du calcul de la matrice de variance-covariance. Ce dispositif est décrit en détail dans la référence [25]. Une analyse détaillée des sources d'incertitudes est présentée dans les références [27,28].

Les valeurs expérimentales de la permittivité diélectrique ϵ_r ont été obtenues à partir des mesures de la capacité des échantillons à température ambiante et dans une plage de fréquence allant de 103 Hz jusqu'à 106 Hz, en considérant que l'échantillon forme un condensateur plan. Les échantillons de forme parallélépipédiques utilisés sont les mêmes que ceux utilisés pour les mesures de propriétés thermophysiques. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un pont d'impédances et d'un montage 4 fils permettant de minimiser l'influence de l'impédance du câblage. La dépendance en fréquence de ϵ_r étant faible pour tous les échantillons, les valeurs retenues correspondent à la valeur moyenne (sur 10 mesures) mesurée à 104 Hz. La méthode de mesure est décrite plus en détail dans la référence [29].

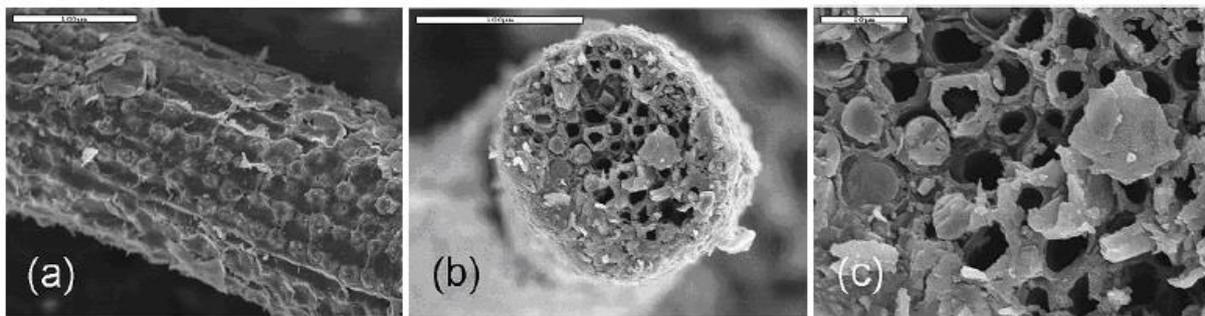


Figure III.3 : Images MEB d'une fibre de pétiole (variété Deglet-Nour) ; échelles : 100 μm (a), 100 μm (b) et 20 μm (c) [35].

III.2. Résultats et discussion :

La figure III.3 présente trois images MEB d'une fibre d'un échantillon de pétiole de la variété Deglet-Nour. La figure 3(a) permet d'observer la surface rugueuse essentiellement constituée de lignine, surface typique pour la plupart des fibres naturelles. Le diamètre de cette fibre est d'environ 200 μm . Les figures 3(b) et 3(c) permettent d'observer la structure interne de ces fibres naturelles. Chaque fibre est constituée d'un assemblage de fibrilles. La partie centrale de chaque fibrille, appelée le lumen, est creuse. Ce type de bois présente donc une porosité importante qui explique les valeurs faibles de masse volumique des échantillons étudiés. On notera toutefois que la masse volumique des échantillons prélevés dans la grappe est légèrement supérieure à celle des échantillons prélevés dans le pétiole. Les résultats de caractérisation thermophysique et diélectrique sont présentés dans le tableau II.2. Les incertitudes obtenues pour la conductivité thermique sont faibles. On note des incertitudes beaucoup plus importantes, inhérentes au principe de mesure [27,28], pour la diffusivité thermique.

Tableau III.2 : Valeurs mesurées de la conductivité thermique k , de la diffusivité thermique a et de la permittivité diélectrique relative ϵ_r [35].

Echantillon	P	k	a	ϵ_r
	mbar	$W.m^{-1}.K^{-1}$	$\times 10^{-7} m^2.s^{-1}$	-
PDN//	10^{-4}	0.046 ± 0.003	1.65 ± 0.10	-
PDN	10^{-4}	0.042 ± 0.003	2.16 ± 0.15	-
PDN//	1000	0.084 ± 0.003	3.31 ± 0.31	10.38 ± 0.52
PDN	1000	0.083 ± 0.003	2.29 ± 0.20	8.09 ± 0.26
PMD	1000	0.073 ± 0.003	3.13 ± 0.49	24.70 ± 1.61
PEG	1000	0.072 ± 0.002	2.76 ± 0.24	2.58 ± 0.02
BDN	1000	0.085 ± 0.004	1.91 ± 0.21	5.81 ± 0.08
BMD	1000	0.084 ± 0.005	2.07 ± 0.30	5.70 ± 0.10
BEG	1000	0.074 ± 0.004	2.29 ± 0.30	5.13 ± 0.09

La figure III.4 présente une comparaison des valeurs mesurées de la conductivité et de la diffusivité thermique en fonction de l'orientation des fibres et de la pression. On pourrait s'attendre à observer une conductivité thermique bien plus faible dans le cas où les fibres sont orientées dans le plan de l'échantillon (cas de l'échantillon PDN), c'est-à-dire perpendiculairement au flux thermique imposé. En effet, dans ce cas, la structure creuse des fibrilles devrait constituer une barrière au transfert de chaleur plus importante que dans le cas où les fibres sont orientées perpendiculairement au plan de l'échantillon (cas de l'échantillon PDN//), c'est-à-dire dans le sens du flux thermique. Ce type de résultat a été préalablement observé lors de la caractérisation d'échantillons prélevés dans le tronc de palmiers dattiers [24], mais possédant une masse volumique plus élevée, donc une porosité plus faible. Bien au contraire, l'orientation des fibres semble avoir peu d'influence sur la conductivité thermique du bois de palmier que ce soit à pression atmosphérique ou bien à faible pression. Ce résultat est toutefois en accord avec des études précédentes de la littérature [30]. L'effet de l'orientation des fibres sur la permittivité diélectrique est également négligeable. Lorsque la porosité devient importante, l'orientation des fibres semble avoir un effet négligeable.

Les mesures réalisées à basse pression ($P = 10^{-4}$ mbar) permettent d'observer que la conductivité thermique est divisée approximativement d'un facteur 2 sous vide secondaire. Ce résultat est classiquement observé pour des matériaux isolants très poreux. En effet, à pression atmosphérique un transfert de chaleur lié à la présence d'air dans les pores du matériau s'ajoute au phénomène de conduction pure et d'échanges par rayonnement. La figure 5 présente une comparaison de la conductivité thermique et de la permittivité diélectrique relative des différentes variétés de bois. On note peu de différences entre les valeurs de conductivité thermique du pétiole et de la grappe et ceci quelle que soit la variété de palmier dattier. Des différences plus importantes de valeurs de permittivité diélectrique sont notées pour les échantillons de pétiole prélevés dans les différentes variétés de bois. Ceci peut être dû à des différences de microstructure du matériau ou bien à un état d'hydratation différent des échantillons, la permittivité diélectrique étant très sensible à ce paramètre. Il est à noter que les échantillons ont subi un séchage naturel à l'air libre. Une étude est en cours afin de mesurer les propriétés de ce type de bois à différents stades de séchage.

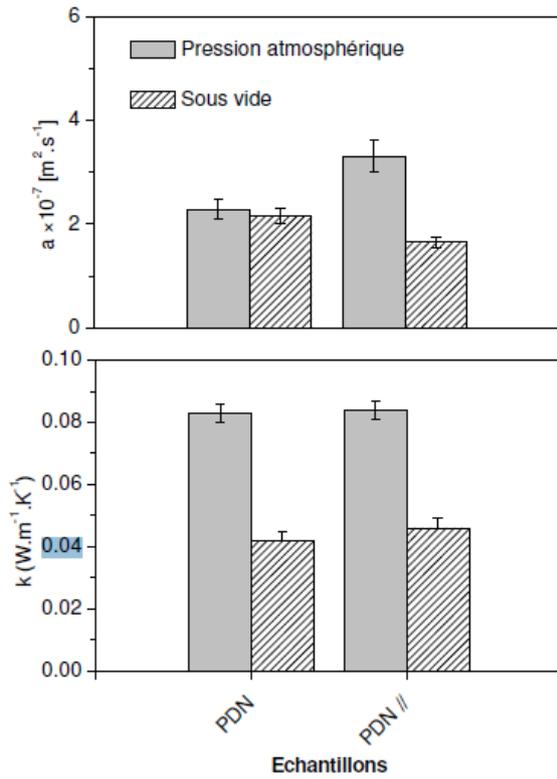


Figure III.4 : Effet de la pression et de l'orientation des fibres sur la conductivité et la diffusivité thermique

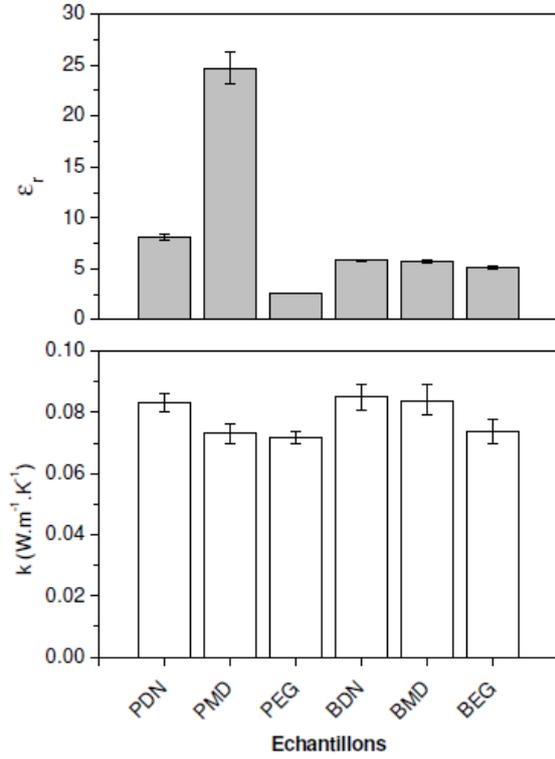


Figure III.5 : Comparaison de la conductivité thermique et de la permittivité diélectrique relative de différentes variétés de bois de palmier dattier (pétioles et grappes)

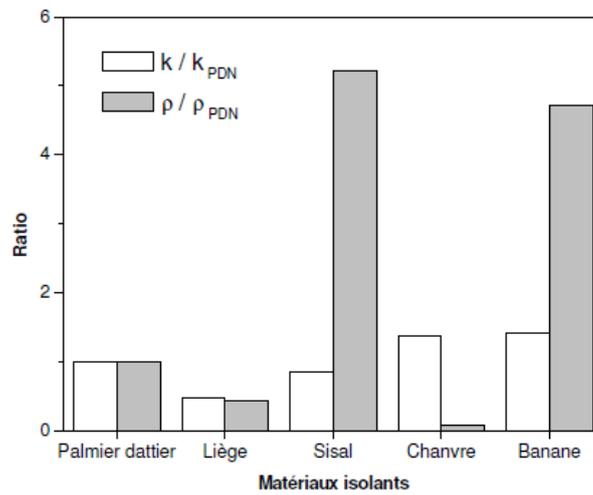


Figure III.6 : Comparaison de la masse volumique et de la conductivité thermique du bois de palmier dattier à d'autres matériaux naturels.

La figure III.6 présente une comparaison de la conductivité thermique et de la masse volumique du bois de palmier dattier (valeurs obtenues pour le pétiole de la variété Deglet-Nour) à d'autres matériaux naturels utilisés actuellement pour la réalisation de composites ou de matériaux isolants dans le domaine du bâtiment. Les propriétés des autres matériaux ont été choisies à partir de données de la littérature [31-34]. On peut constater que le bois de palmier dattier est un bon candidat pour la réalisation de nouveaux matériaux isolants car il présente une conductivité thermique faible et une masse volumique faible. Seul le liège possède à la fois une conductivité et une masse volumique plus faibles.

III.3 : Conclusion

Les résultats de ce travail expérimental ont montré que les parties renouvelables du palmier dattier (pétiole et grappe) constituent un bon isolant thermique présentant une faible masse volumique. L'effet de l'orientation des fibres sur la conductivité thermique n'est pas significatif. Par ailleurs, l'effet de la porosité importante du matériau a été mis en évidence par des mesures sous vide. Il apparaît qu'une étude de l'influence de l'humidité sur les propriétés thermophysiques du bois de palmier est nécessaire.

Conclusion générale :

L'étude bibliographique a montré que la structure et la composition chimique des matériaux naturels affectent leurs propriétés physiques (comme les propriétés mécaniques et thermiques,...). En outre, les différents constituants des matériaux naturels (fibre de bois de palmier dattier, liège de certaines arbres,...) peuvent être exploités dans plusieurs applications industriels ; géotextile et les matériaux de construction et d'isolation thermique.

Selon les objectifs visés relatifs à la mise en valeur des fibres de palmiers, un nouveau composite conçu, et totalement élaboré à base de produits de palmiers dattier. L'élaboration consistait en :

- Production de la fibre du palmier dattier.
- Traitement chimique de la fibre.
- Sélection de la résine utilisée (G 50).
- Elaboration des stratifiées (peaux de la structure sandwich) : fibres de palmier dattier/époxy par le principe du moulage par compression à froid.
- Production et broyage du pétiole du palmier dattier « Kornav ».
- Réalisation du composite « Kornav »/ époxy par le principe du moulage par compression à froid.

La caractérisation thermophysique entreprise dans le cadre de ce travail a montré que les parties renouvelables du palmier dattier (pétiole et grappe) constituent un bon isolant thermique présentant une faible masse volumique. L'effet de l'orientation des fibres sur la conductivité thermique n'est pas significatif. Par ailleurs, l'effet de la porosité importante du matériau a été mis en évidence par des mesures sous vide. Il apparaît qu'une étude de l'influence de l'humidité sur les propriétés thermophysiques du bois de palmier est nécessaire.

En perspective, on croit que notre étude servira de base à des projets complémentaires ayant les mêmes objectifs : VALORISATION DES PARTIES RENOUVLABLE DU PALMIER DATTIER.

Bibliographie

- [1] EYROLLES, " Paul de Haut, Chauffage, isolation et ventilation écologique," Livre,2007.
- [2] I.Van de Weyenberg, et al., "Improving the properties of UD flax fibre reinforced composites by applying an alkaline fibre treatment," *Compos Part A: App Sci and Manufacturing*. Vol. 37(9). pp. 1368-1376, 2006.
- [3] Pickering, K.L., et al., "Optimising industrial hemp fibre for composites," *Compos Part A: App Sci and Manufacturing*. Vol. 38(2). pp. 461-468, 2007.
- [4] J. Natterer, M. Sandoz, J.L. Rey, "Construction en bois matériau, technologie et dimensionnement," vol. 13. *Presses polytechniques et Universitaires Romandes*, 2000.
- [5] Bruno Clair, "Étude des propriétés mécaniques et du retrait au séchage du bois à l'échelle de la paroi cellulaire," *Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, France* 2001.
- [6] M. Olivier Pignolet, "Optimisation de la durabilité de bois d'oeuvre (classe d'emploi 4) à l'aide d'anhydrides alkényle succiniques d'origine végétale," *université deToulouse*, 2008.
- [7] D. Sedan, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite," *Université de Limoges*, 2007, pp. 137.
- [8] M.C.N. Yemele, "Développement de panneaux de particules à base d'écorce d'épinette noire et de peuplier faux-tremble," *Université de laval*, 2008, pp. 174.
- [9] E. Bousaid, "Contribution à la modélisation des effets différents du bois et du béton sous conditions climatiques variables application aux structures mixtes bois-béton," *Université de Lyon*, 2003.
- [10] A. Govin, "Aspects physico-chimiques d'interaction bois - ciment et Modification de l'hydratation du ciment par le bois," *Université Jean Monnet De Saint Etienne*, 2004.
- [11] A. Achoura, M. Belhamra, "aperçu sur la faune arthropodologique des palmeraies d'El-Kantara," 2010, pp. 93-101.
- [12] A. Bessas, L. Benmoussa, K. Mohamed, "Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien," *Université, Sidi Bel Abbes*, 2008.
- [13] P. Munier, "Le palmier dattier," *Maisonneuve et Larose de Paris*, 1973, pp. 221.
- [14] P. Flourens, "Recueil des loges historiques lus dans les séances publiques de l'Académie des Sciences,".
- [15] H. L, "nouveaux éléments de botanique à l'usage des élèves qui suivent les cours du jardin des plantes," *Bibliothèque de catalogue Ecole de Médecine de Paris*, 1809.
- [16] M. Keramat Jahromi, A. Jafari, S.S. Mohtasebi, S. Rafiee, "Engineering Properties of Date Palm Trunk Applicable in Designing a Climber Machine," *CIGRE*, vol. x, 2008.
- [17] G. Peyron, "Cultiver le palmier-dattier," 2000, pp. 122.
- [18] P. Munier, "Le palmier-dattier," *Maisonneuve & Larose*, 1973, pp. 221.
- [19] K. Abdelouahed, "Caractérisation des Fibres de Palmier Dattier Et Propriétés des Bétons et Mortiers Renforcés par ces Fibres en Climat Chaud et Sec," *ENP Alger*, 2005, pp. 154.
- [20] A.C.A.H. Longo, "Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail," pp. 59-64, 2001.
- [21] B. Agoudjil, A. Boudenne, L. Ibos, M. Fois, "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 471- 497, 2011.

- [22] H.F.L.A. Chehma, A. Siboukeur, "Estimation du tonnage et valeurs alimentaire des sous-produits du palmier dattier chez les ovins," *Recherche Agronomique*, vol. 7, pp. 7-15, 2000.
- [23] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, M. Fois, Renewable materials to reduce heat loss : characterization of date palm wood, *Energy and Buildings*, 43 (2011), 491-497.
- [24] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, M. Tlijani, L. Ibos, R. Ben Younes, A. Mazioud, *Proceedings of the Global Conference on Global Warming-2009* (Istanbul, Turquie, 5-9 Juillet 2009), 216-221.
- [25] A. Boudenne, L. Ibos, E. Géhin, Y. Candau, A simultaneous characterization of thermal conductivity and diffusivity of polymer material by a periodic method, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 37 (2004), 132-139.
- [26] D. Maillat, A. Degiovanni, J.C. Batsale, C. Moyne, S. André, *Thermal Quadrupoles : Solving the Heat Equation through Integral Transforms*, John Wiley & Sons (2000).
- [27] A. Boudenne, L. Ibos, Y. Candau, Analysis of uncertainties on thermophysical parameters of materials obtained from a periodic method, *Meas. Sci. Technol.*, 17 (2006), 1870-1876.
- [28] A. Boudenne, L. Ibos, E. Géhin, Y. Candau, Analyse des incertitudes liées à l'identification de propriétés thermophysiques de matériaux par une méthode de mesure périodique, *Actes du congrès annuel de la SFT* (Presqu'île de Giens, 25-28 mai 2004), 721-726.
- [29] B. Agoudjil, L. Ibos, Y. Candau, J. C. Majesté, A comparative analysis of dielectric, rheological and thermophysical behaviour of Ethylene Vinyl Acetate/BaTiO₃ composites, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 41-5 (2008), 055407 (7 pages).
- [30] F. A. Al-Sulaiman, Date palm fibre reinforced composite as a new insulating material, *International Journal of Energy Research.*, 27-14 (2003), 1293-1297.
- [31] G. Kalaprasad, P. Pradeep, G. Mathew, C. Pavithran, S. Thomas, Thermal conductivity and thermal diffusivity analyses of low density polyethylene composites reinforced with sisal and glass intimately mixed sisal/glass fibres, *Composite Science and Technology* 60 (2000), 2967- 2977.
- [32] F.P. Incropera, D.P. Dewitt, T.L. Bergman, A.S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*, USA: John Wiley & Sons (2007).
- [33] T. Behzad, M. Sain, Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites. *Polymer Engineering and Science*, 47-7 (2007), 977-983.
- [34] S.A. Paul, A. Boudenne, L. Ibos, Y. Candau, K. Joseph, S. Thomas, Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials. *Composites Part A*, 39 (2008), 1582-1588.
- [35] Agoudjil, B., Benchabane, A., Boudenne, A., Ibos, L., & Fois, M. (2011). Caractérisation thermophysique du bois de palmier dattier en vue de son utilisation en isolation thermique dans l'habitat. In *Congrès Français de Thermique* (pp. 171-176).