

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR
BATNA
FACULTE DES SCIENCES



MEMOIRE

Présenté au

Laboratoire de Physique Energétique Appliquée (LPEA)

Ecole Doctoral en Energies Renouvelable

Département de Physique

Par: **Nadia BENMANSOUR**

Pour l'obtention du diplôme de Magistère en physique

Option : Energies Renouvelables

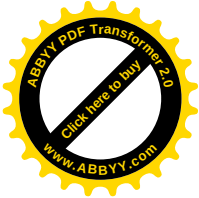
**Etude des performances de produits renouvelables et
locaux adaptés aux applications de l'isolation thermique
dans le bâtiment.**

Soutenue publiquement le 09/02/2011,

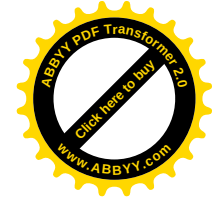
devant le jury composé de:

ZEROUAL	Mostefa	MCA	Univ. Batna	Président
BENCHABANE	Adel	MCA	Univ. Biskra	Examineur
KHALDI	Fouad	MCA	Univ. Batna	Examineur
AGOUDJIL	Boudjemaa	MCA	Univ. Batna	Rapporteur

Année universitaire:2010/2011



الله أكبر



Remerciements

Ma profonde gratitude est envers mon créateur le tout puissant qui m'a toujours guidé dans ma vie et qui m'a donné la volonté, la santé et la patience pour accomplir ce travail.

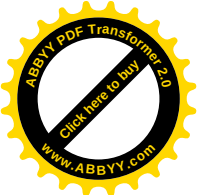
Je voudrais particulièrement remercier mon directeur de mémoire, le Docteur AGOUDJIL Boudjemâa, maître de conférence de l'université de Batna, pour m'avoir suivi au cours de ce travail. Je tiens souligner le soutien qu'il m'a apporté et les conseils jusqu'à la dernière minute.

Je tiens également à remercier le Docteur BENCHABANE Adel, maître de conférence de l'université de Biskra, pour avoir accepté de faire partie de mon jury et la peine qu'il a pris pour le déplacement.

Je remercie le Docteur ZEROUAL Mestefa, maître de conférences de l'université de Batna, pour le conseil et l'acceptation de présider le jury de ce mémoire.

Je remercie le Docteur KHALDI Fouad, maître de conférences de l'université de Batna, pour l'acceptation de juger ce travail.

En fin, je remercie toute personne qui a été disponible pour un soutien matériel ou moral.



*A mes parents, mes sœurs, mon frère et
mes amis, je vous dédie ce travail.*

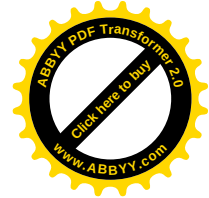
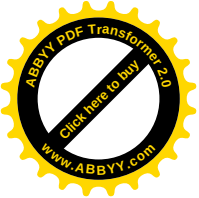
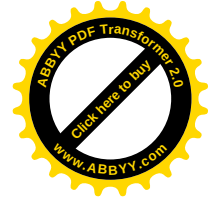
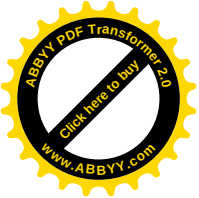


Table des matières

Introduction.....	2
-------------------	---

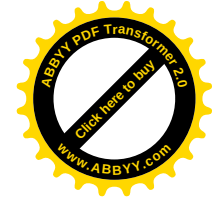
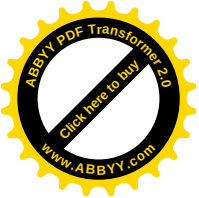
Chapitre I: Revue bibliographique sur les matériaux naturels

I. Généralités sur les matériaux naturels.....	6
I.1. Types des matériaux naturels.....	6
I.1.1. Plantes annuelles	6
I.1.2. Arbres	6
I.1.2.1. Tronc d'arbre.....	6
I.1.2.1.1. Le bois.....	8
I.1.2.1.2. L'écorce.....	8
I. 2. Fibres naturelles.....	9
I.2.1. Composition chimique.....	9
I.2.1.1. Cellulose	9
I.2.1.2. Hémicellulose	10
I.2.1.3. Lignine.....	10
I.2.1.4. Pectin.....	11
I.2.1.5. Les extractibles	11
I.2.2. Structure.....	12
I.3. Processus d'extraction des fibres naturelles.....	14
I.3.1. Fibres agricoles.....	14
I.3.2. Fibres de bois	15
II. Les applications des matériaux naturelles.....	15
II.1. Matériaux de construction et d'isolation.....	15
III. Conclusion.....	17
Références.....	18



Chapitre II: Caractérisation des matériaux naturels

I. L'eau dans le bois.....	21
I.1. Le point de saturation des fibres naturelles.....	21
I.2. L'eau et les propriétés physico-chimiques du bois.....	21
I.2.1. La teneur en humidité	22
I.2.2. La densité.....	22
I.2.3. La porosité.....	22
I.2.4. Composition chimique.....	23
I.3. Le séchage.....	23
I.3.1. Les méthodes de séchage.....	23
II. Caractérisation mécanique du bois.....	24
II.1. Elasticité du bois.....	24
II.2. Influence de la densité.....	24
II.3. Influence de la température et de la teneur en humidité.....	24
II.4. Détermination expérimentale des propriétés mécaniques du	25
bois	
II.4.1. Propriétés élastiques.....	25
II.4.2. Propriétés viscoélastiques.....	25
II.5. Caractérisation thermique.....	26
II.5.1. Conductivité thermique du bois.....	26
II.5.2. Les méthodes de mesure en régime permanent.....	27
II.5.3. Les méthodes de mesure en régime variable	27
II.6. Caractérisation acoustique.....	27
II.6.1. Méthode des ondes stationnaire (mesure au tube de kundt).	27
II.7. Caractérisation du comportement des matériaux naturels au feu.	28
II.7.1. La combustion du bois.....	28
II.7.2. L'effet de la température sur la dégradation thermique du	28
bois	



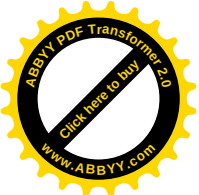
II.7.3. Propriétés physiques du bois qui affectent la combustion...	29
II.7.4. Tests de résistance au feu.....	29
II.7.5. Test de propagation de la flamme.....	30
II.7.6. L'analyse thermo- gravimétrique.....	30
III. Conclusion.....	31
Références.....	32

Chapitre III: Etude de bois de palmier dattier: Revue bibliographique

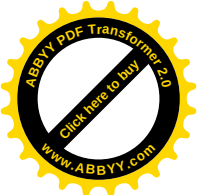
I. Généralité sur le palmier dattier.....	36
I. 1. Etude morphologique du palmier dattier.....	36
I. 2. Parties de palmier dattier.....	37
I. 3. Fibres de palmier dattier.....	38
I. 4. Sous-produits de palmier dattier.....	39
I.4.1. Sous-produits de palmier dattier et leurs applications.....	39
I.4.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et de leurs sous	39
produits	
I.5. Variétés de palmier dattier en Algérie.....	40
II. Synthèse des travaux réalisés sur le bois de palmier.....	41
III. Conclusion.....	46
Références.....	47

Chapitre IV: Etude préliminaire du bois de palmier

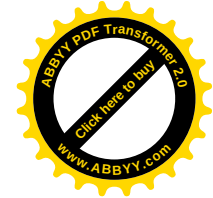
I. Cinétique de séchage	51
I.1. Matériau utilisé.....	51
I.2. Protocole expérimental.....	52
I.3. Résultats et discussion.....	52
II. Caractérisation thermique du bois de palmier.....	60
II.1.1. Préparation des matériaux étudiés.....	60
II.1.2. Méthode de mesure.....	61



II.1.3. Résultats et discussion.....	62
III. Conclusion.....	67
Références.....	68
Conclusion générale.....	70
Annexes.....	73



Introduction générale



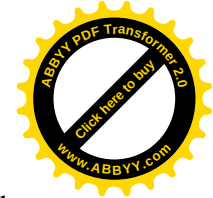
Introduction générale

La part importante de l'énergie consommée pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments a amené des chercheurs à se pencher sur le problème des échanges de chaleur entre le milieu interne du bâtiment et l'environnement. Les principaux flux de chaleur traversant le bâtiment sont les déperditions par transmission au travers des parois de l'enveloppe et les déperditions par aération[1, 2]. Par ailleurs, si le bâtiment est mal isolé, le flux d'énergie est plus important et la température est peu homogène : (i) en hiver, trop chaud près des corps de chauffage et trop froid près des endroits mal isolés de l'enveloppe, (ii) trop chaud sous toiture en été [2]. Pour améliorer le confort thermique; créer un climat ambiant confortable dans les bâtiments et économiser de l'énergie, il est nécessaire de mettre en œuvre des matériaux performants, apportant une bonne isolation thermique. Le rôle de ces matériaux consiste à ralentir le transfert de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment. Pour cet objectif, la production des isolants thermiques a marqué des importants progrès, en particulier à partir des années 1970 [3].

Les matériaux tels que la laine de verre, de roche, de bois et l'amiante couvrant une variété large de produits d'usage courant dans les bâtiments comme des isolants thermiques et/ou acoustique [4]. Cependant, suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, ou pour des raisons économiques relatives aux quelques fibres (fibre de verre, fibre d'acier,...), plusieurs axes de recherches sont orientés vers la substitution de celles-ci par les matériaux végétales en raison de leur disponibilité et leur faible impact environnemental [5]. En effet, l'utilisation des ressources renouvelables devient de plus en plus fréquente de nos jours.

Quoique l'Algérie soit parmi les pays qui possèdent une multitude de matériaux végétales (le palmier dattier, le coton, le chanvre, le liège) [5, 6], la valorisation de ces matériaux dans le domaine de la construction reste insuffisante.

L'objet de ce travail consiste à apporter une contribution à la valorisation des ressources renouvelables et locales, en l'occurrence le bois de palmier dattier, afin de les intégrer dans le domaine de l'isolation thermique des bâtiments.



Nous souhaitons analyser la possibilité d'utiliser certaines parties renouvelables du palmier dattier pour réaliser des isolants thermiques.

Suite au développement croissant pour l'utilisation des matériaux végétaux dans le bâtiment, les besoins concernant la caractérisation de ces matériaux ne peuvent que s'accroître.

Dans ce contexte, le mémoire s'articule autour de quatre chapitres:

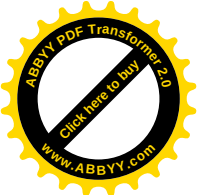
- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur les matériaux naturels en présentant la structure et la composition chimique de ces matériaux, leurs différents types et leurs applications.

- Le second chapitre présente les différentes méthodes de caractérisation des matériaux naturels et les différents propriétés physiques du bois (comme la densité, l'humidité, la porosité,...).

- Le troisième chapitre est consacré à une revue sur le bois du palmier dattier; la morphologie, les localisations en Algérie et les travaux qui ont été réalisés sur ce matériau.

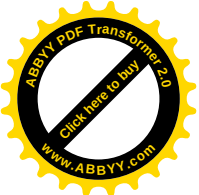
- Le dernier chapitre porte sur une étude préliminaire du bois de palmier en termes de séchage et de caractérisation thermique dans le but de l'utiliser pour l'isolation thermique dans le bâtiment.

Le document se termine par une conclusion générale rassemblant une synthèse des résultats et des perspectives à envisager dans le futur.



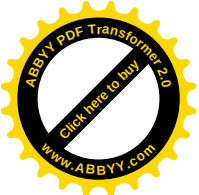
Références

- [1] P. Meukam, "Caractérisation de matériaux locaux en vue de l'isolation thermique de bâtiments," Université de Yaoundé, 2004, pp. 157.
- [2] C.-A. Roulet, *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*, 2 ed: PPUR presses polytechniques, 2004.
- [3] M. C. TROUY and P. T. TRIBOULOT, " Matériau bois: Structure et caractéristiques," *Téchnique de l'ingénieur.Construction*, vol. CB1, pp. C925.1-C925.26, 2001.
- [4] J. M. Christine Delisée, Jérôme Lux, and L. C. Patrick Castéra, Laurent Chrusciel, "Microstructure et propriétés de transport de matériaux isolants à base de fibres cellulósiques," *25e rencontres de l'AUGC,Bordeaux*, 2007.
- [5] K. Abdelouahed, "Caractérisation des Fibres de Palmier Dattier Et Propriétés des Bétons et Mortiers Renforcés par ces Fibres en Climat Chaud et Sec," Thèse de doctorat, Université de Boumerdes, 2005, pp. 154.
- [6] C. V. Rachid Tarik Bouhraoua, Mohamed Anouar Khelil, and S. Bouchaour, "Situation sanitaire de quelques subéraies de l'Ouest algérien : impact des xylophages," *Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bull*, vol. 25, pp. 85-92, 2002.



Chapitre I

Revue bibliographique sur les matériaux naturels



Dans ce premier chapitre, nous proposons une synthèse bibliographique sur les matériaux naturels. La première partie est consacrée à la présentation des matériaux naturels; leurs types, leur structure, leur composition chimique et les méthodes de l'extraction des fibres. Dans la deuxième partie, on présente les applications de ces matériaux.

I. Généralités sur les matériaux naturels

I.1. Types des matériaux naturels

Les matériaux naturels sont classés en trois groupes principaux, les matériaux provenant de sources végétales, animales ou minérales. Dans cette étude on s'intéresse aux matériaux végétaux, ils peuvent être subdivisés en deux catégories principales:

I.1.1. Plantes annuelles

On peut citer le chanvre, lin, jute, ramie, sisal, coton,... etc. Les fibres de ces matériaux sont classées en trois groupes suivant leur provenance, à savoir [1]:

- Les fibres extraites des tiges des plantes (Chanvre, Ramie, Jute, Lin, Kennaf,...).
- Les fibres dures issues des feuilles comme les feuilles de sisal, de henequen, de l'abaca, de l'ananas,...
- Les fibres provenant d'enveloppes ou de graines des fruits (Coton, Noix de coco,).

I.1.2. Arbres

Comme les arbres de palmier dattier [2], de pin, d'hêtre, de chêne, de sapin, d'épicéa, de peuplier [3], Les fibres provenant des arbres peuvent être extraites du tronc, des branches, des feuilles ou des tiges des feuilles [2, 3].

I.1.2.1. Tronc d'arbre

A l'échelle macroscopique, le tronc d'arbre est constitué de bois (duramen, aubier), d'écorce (phloème : écorce interne, écorce externe) et d'une couche mince située entre le bois et l'écorce appelée cambium (voir Figure.I.1). La fonction de cambium est de produire les cellules du bois et de l'écorce [4, 5].

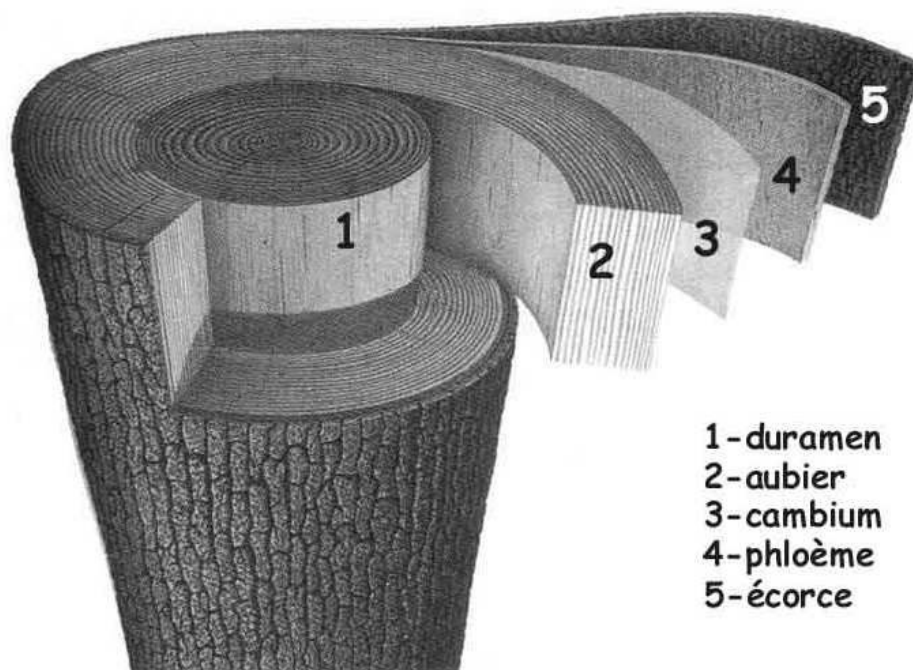


Figure. I.1: Structure de tronc d'arbre [5].

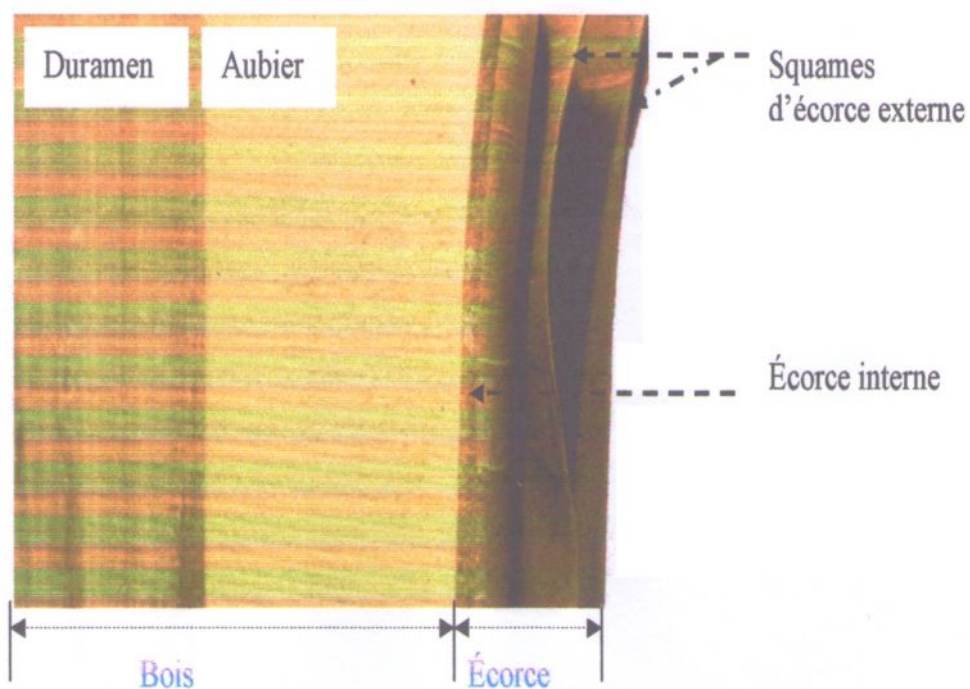
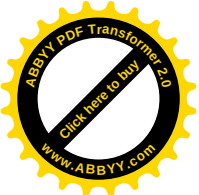


Figure. I.2 : Structure d'un tronc présentant distinctement l'écorce et le bois [4].



I.1.2.1.1. Le bois

Le bois est un matériau composite constitué de fibres poreux et il possède des propriétés mécaniques et thermiques importantes. La diversité des propriétés du bois assure la diversité de ses utilisations (l'industrie du bâtiment, chauffage,...).

La technologie permet d'exploiter les caractéristiques du bois lui-même ou celles de ses constituants (fibres, lignine, cellulose,...) [6]. D'autre part, c'est un matériau anisotrope, par conséquent ces propriétés physiques changent suivant la direction choisie. Les trois directions principales du bois sont: la direction longitudinale (L), la direction tangentielle (T) et la direction radiale (R) [5-7].

I.1.2.1.2. L'écorce

L'écorce est la couche extérieure qui recouvre et protège le tronc, les branches et les racines des arbres. Elle a des propriétés différentes de celles du bois de par sa structure anatomique et sa composition chimique (l'écorce contient de subérine, substance qu'on ne trouve pas du tout dans le bois) [4, 7]. On distingue [7]:

- l'écorce interne (le phloème), qui est la partie vivante, elle est constituée des fibres et d'autres cellules.
- l'écorce externe, qui est la partie morte, elle comprend essentiellement le liège (le liège est un matériau présent dans l'écorce extérieure de quelques arbres et notamment celle du chêne). Ce dernier est très léger, durable et agit comme isolant parce que sa capacité à conduire la chaleur et le courant est quasi nulle.

La figure I.3 montre la différence entre la composition chimique du bois et de l'écorce externe.

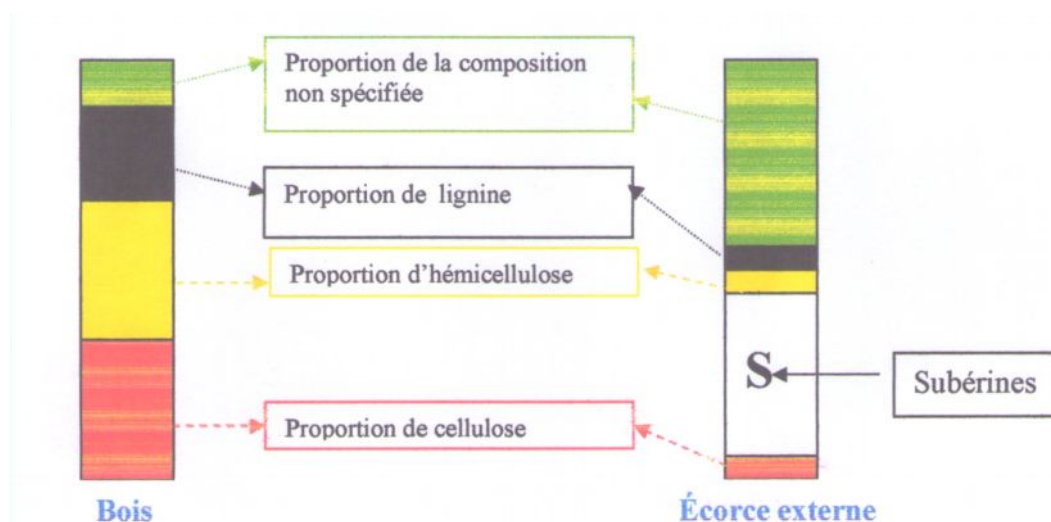


Figure. I.3: Composition chimique générale du bois et de l'écorce du tronc [4].

I. 2. Fibres naturelles

I. 2.1. Composition chimique

I.2.1. 1. Cellulose

La cellulose est le constituant principal de la masse végétale d'un grand nombre des matériaux végétaux [8, 9]. D'un point de vue chimique, la cellulose est un polymère linéaire, se compose seulement des unités de glucose ($C_6H_{11}O_5$) répétés, reliés entre elles par des liaisons hydrogène (voir Figure.I.4). La cellulose contient des zones cristallines ordonnées et des zones amorphes désordonnées [8-10]. Elle est fortement hydrophiles (qui absorbe de l'eau) à cause de la présence de groupement hydroxyles (OH) [8, 9], résistant aux oxydants [10]. Elle donne à la fibre sa rigidité [9].

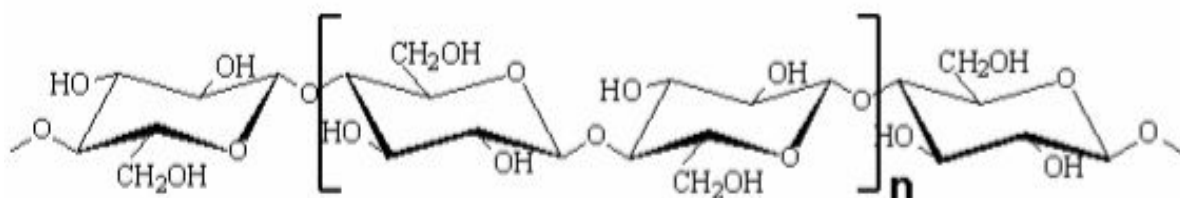


Figure. I.4 : Molécule de la cellulose (n répétitions du glucose) [9].

I.2.1.2. Hémicellulose

Les hémicelluloses sont des polymères solubles dans l'eau. Ils sont amorphes, de masse moléculaire plus faible que celle de la cellulose. Ils contiennent plusieurs unités de sucre (xylose, arabinose, galactose, glucose,...) et plusieurs branchements différents. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres [8-10].

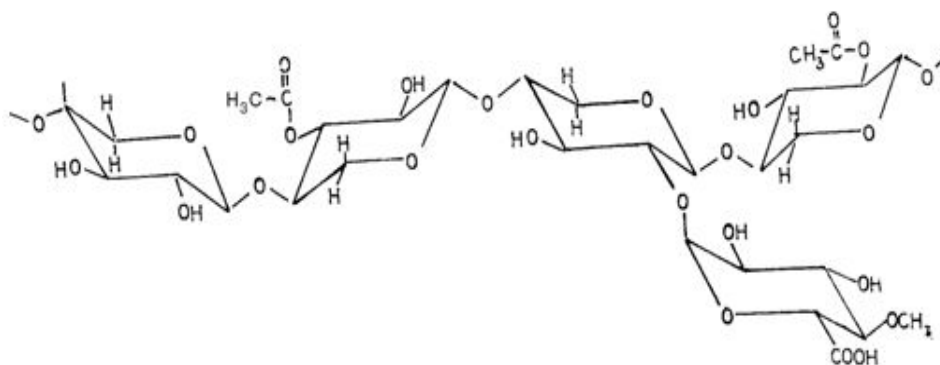


Figure. I.5 : Molécule de l'hémicellulose [8].

I.2.1.3. Lignine

La lignine est un polymère hydrocarbure complexe, elle se compose de trois types d'alcools (voir Figure.I.6) [9]. C'est l'élément qui donne la rigidité aux plantes [8, 10].

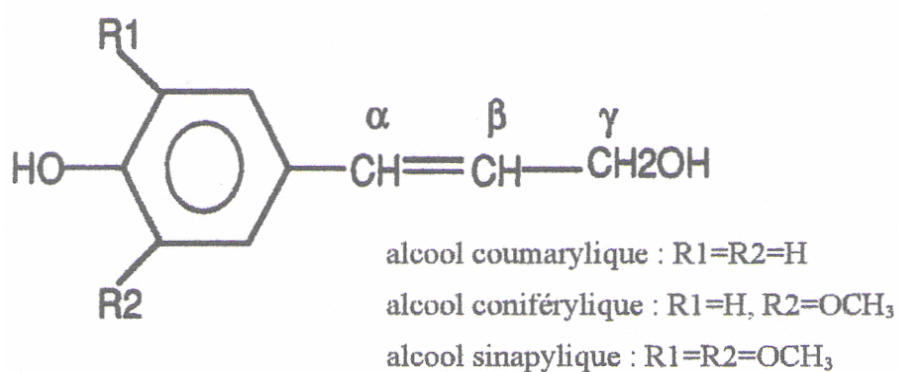


Figure .I.6: Formule chimique de la lignine [9].

Elle est totalement amorphe, hydrophobe (insoluble dans l'eau ou n'a pas la capacité de créer des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau) [9, 10].

I.2.1.4. 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) [9]. Elle fournit la flexibilité à la plante [7].

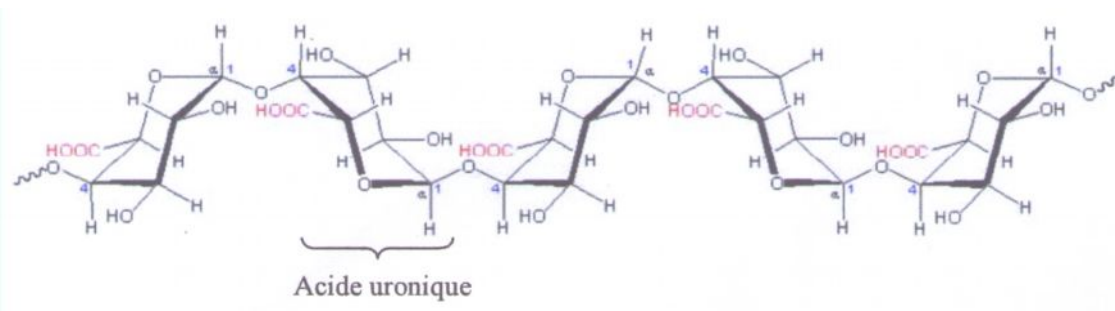


Figure.I.7. Structure d'une chaîne d'acide uronique [9].

I.2.1.5. Les extractibles

Ils comprennent plusieurs substances chimiques différentes comme les graisses, qui sont insolubles dans l'eau et dans divers acides, elles peuvent être extraites par une solution organique [8].

En effet, les polymères des parois cellulaires des matériaux naturels ont beaucoup de groupes hydroxyles responsables de l'absorption d'eau. Cependant, la cellulose, l'hémicellulose et la lignine absorbent l'humidité à différents degrés car le contenu en hydroxyles pour chaque polymère est différent [11]. Ainsi que, ils sont responsables des propriétés mécaniques des matériaux [12].

Le tableau I.1 montre les compositions chimiques des différents types des matériaux naturels.

Fibre	cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)	Pectine (%)	graisses (%)	Référence
Coton	85-90	5,7	0.5-1.6	5,7	0,6	[1, 8, 10]
Noix de coco	32-46	0.15-0.3	40-45	4	-	[1, 10]
Jute	64,4-84	12-20	12-13	0,2	0,5	[1, 8, 10]
Lin	64.1-81	16.7-20.6	2-3	0.9-1.8	1.5	[1, 8, 10]
Chanvre	68-92	15-22	10	0.9	0.8	[1, 10]
Ramie	68.6-76.2	13.1-16	0.6-0.7	1.9-2	0.3	[1, 8, 10]
Sisal	65.8	12	9.9	0.8-2	2	[1, 8, 10]
palmier	32-35.8	24.4-28.1	26.7-28.7	-	7	[13, 14]

Tableau. I.1: Composition chimique des fibres végétales.

I.2.2. Structure

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 [3, 15].

La figure I.8 présente un exemple de l'examen de la fibre de palmier dattier par MEB.

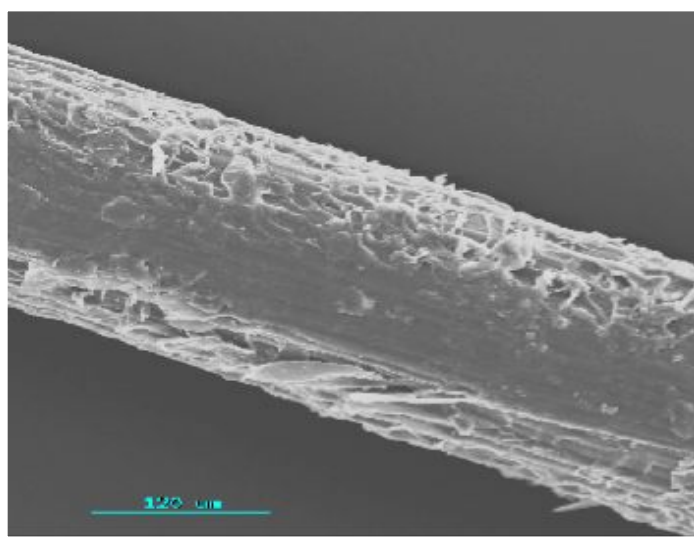
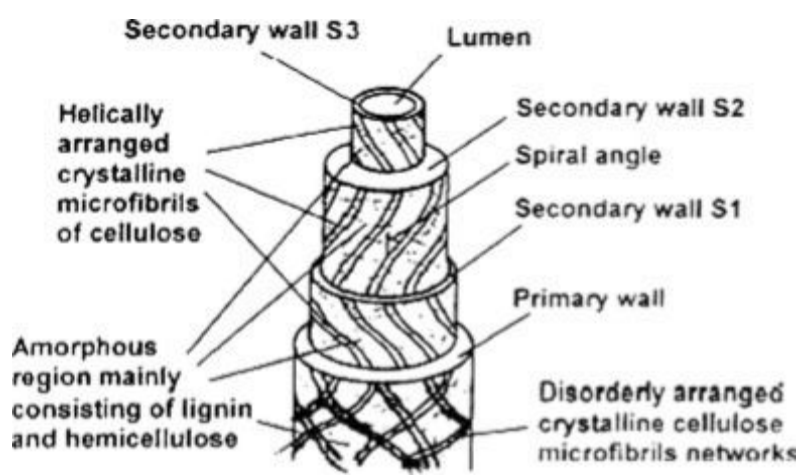


Figure. I. 8: Micrographie de fibre de palmier dattier [15].

A l'échelle microscopique (voir Figure.I.9), la fibre naturelle se compose d'une couche externe appelée mur primaire, ce mur encercle une autre couche, qui est le mur secondaire. Le mur secondaire est constitué de trois couches, s_1 , s_2 , s_3 , ces dernières relient le mur secondaire au lumen. Chaque mur se compose des microfibrilles cristallines à base de cellulose réunies entre elles par la lignine et l'hémicellulose qui sont amorphes [10].

L'angle entre l'axe de fibre et les microfibrilles s'appelle l'angle microfibrillaire ou l'angle spiral, qui conditionne la rigidité de la fibre. Si les microfibrilles sont orientées en spirale à l'axe de fibre, ce dernier est plus malléable, par contre si les microfibrilles sont parallèles à l'axe de la fibre, les fibres sont rigide, inflexible, et ont une résistance à la traction élevée [8, 10].



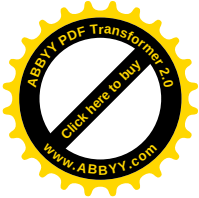
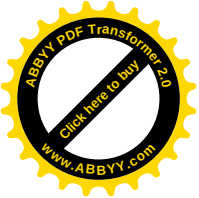


Figure. I. 9: Structure d'une fibre naturelle [10].

I.3. Processus d'extraction des fibres naturelles

I.3.1. Fibres agricoles

D'après la littérature [1], Les processus utilisés pour séparer les faisceaux de fibres des plantes sont :

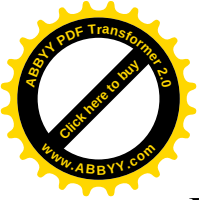
- **La décortication:**

La décortication consiste à séparer mécaniquement (à l'aide des machines spécifiques) les fibres de tige ou de feuille en brisant ces dernières de sorte que seulement les fibres restent. La décortication est souvent utilisée pour la banane, sisal, lin, jute [16].

- **La séparation par les bactéries et l'humidité (retting : en anglais):**

Dans cette technique la récolte est soumise aux bactéries et l'humidité pour faciliter la séparation des faisceaux de fibres de tiges ou de feuilles (par la décomposition des tiges et des feuilles). Elle est généralement utilisée pour le coco, l'ananas et aussi le jute et le lin [16].

- **Processus d'égrenage (vibration):** Ce processus est utilisé pour les fibres de grain comme le coton.



I.3.2. Fibres de bois

- **Processus de défibrage**

La première étape consiste à couper et scier le tronc d'arbre à des copeaux ou morceaux de bois, puis le processus de base est mécanique (broyeur) et thermique (passage à une température de 110 à 160 °C). Cette cuisson permet d'affaiblir les liaisons entre les fibres avant le passage au défibreur, le défibrage peut se faire par un système à disques. Suivant le réglage des machines, on peut avoir des fibres plus ou moins grandes suivant l'usage [17, 18].

II. Les applications des matériaux naturelles

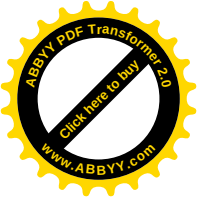
Les applications des matériaux naturels sont nombreuses dans des domaines très variés. Presque toutes les fibres ont des utilisations finales semblables classées en trois catégories principales [1]: l'habillement (les robes,...), ménage (les meubles de maison) et industriel. Pour les applications d'habillement, la fibre de coton est la plus utilisée, suivie de lin et chanvre. Les applications de ménage sont des rideaux, tapisserie, ameublement, matelas. Fibre de coco et presque toutes les fibres de graine, de feuille et de tige sont employées dans cette catégorie. Dans le domaine industriel, presque toutes les fibres sont employées pour les utilisations suivantes : les cordes, chaussures, sacs, filets de pêche, papier.

Les applications industrielles s'étendent aussi à l'utilisation des matériaux naturelles pour réaliser des composites qui trouvent leurs applications dans l'automobile, géotextile [1, 19], plate-forme de pont [19], industrie aérospatiale et fabrication d'appareils de plongée ou d'objet sportif [9], les matériaux de construction et d'isolation dans les bâtiments [9, 19, 20].

II.1. Matériaux de construction et d'isolation

Les fibres des plantes comme le chanvre, lin, jute, sisal, et les fibres ou particules des espèces variés des bois (chêne, pin,...) peuvent être utilisées comme renforts des différents matrices, dans le secteur des bâtiments (isolation, construction) [1, 9, 20].

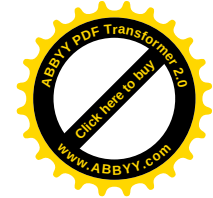
Les principales matrices utilisés sont les matrices organiques (les polymères synthétiques thermoplastiques, thermodurcissables) et les matrices inorganiques comme le ciment, la magnésie et le gypse [21]. Les matrices inorganiques sont des matériaux incombustibles et principalement utilisés dans la fabrication des composites de fibres ou de particules de bois (bétons, panneaux), fournissant une protection contre le feu [20].



L'utilisation des matériaux végétales est motivée par plusieurs facteurs [9]: densité faible, pas coûteux, bonne propriétés mécanique, thermique et acoustique. En plus, ils sont des matériaux renouvelables et abondants dans la nature.

Enfin, Les fibres des plantes annuelles tel que le chanvre, sont utilisées pour l'isolation (laine de chanvre) et la construction (les bétons de chanvre, les briques de chanvre), ces derniers permettent aussi de garantir un confort d'isolation thermique [9]. Grâce à la capacité de chanvre à réguler la quantité de vapeur d'eau dans l'air, son utilisation contribue à l'hygiène du bâtiment et fournit une sensation de confort à l'habitation [22].

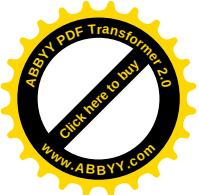
D'autre part, les composites de liège ont un usage décoratif et/ ou isolant, sont des bons isolants acoustiques et thermiques [23].



III. Conclusion

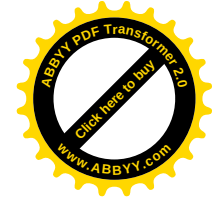
Dans ce chapitre, nous avons présenté une synthèse bibliographique concernant les matériaux naturels. Cette présentation servira à savoir les différents types des matériaux naturels, leurs structures, leur composition chimique. D'après cette étude, la structure et la composition chimique de différents types des matériaux naturels vont influencer de manière importante leurs propriétés macroscopiques. Il est très important de prendre en compte ces propriétés pour l'utilisation des matériaux.

En effet, les matériaux naturels sont utilisés dans plusieurs domaines d'application et leur utilisation est limitée par leurs propriétés d'où la nécessité de présenter une revue sur les propriétés des matériaux naturels et leur caractérisation. Cette partie fait l'objet du chapitre suivant.

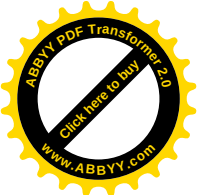


Références

- [1] L. Y. Mwaikambo, "Review of the history, properties and application of plant fibres," *African Journal of Science and Technology (AJST)*, vol. 7, pp. 120 - 133, 2006.
- [2] A. Kriker , G. Debicki , A. Bali , M.M. Khenfer , and M. Chabannet, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 554–564, 2005.
- [3] Parviz Navi and F. Heger, *Comportement thermo-hydrromécanique du bois: applications technologiques et dans les structures*: PPUR presses polytechniques, 2005.
- [4] R. Pedieu, "Valorisation des résidus d'écorce de bouleau blanc(betula papyrifera) sous forme de fabrication de panneaux," Thèse de doctorat, Université Laval, 2008, pp. 255.
- [5] M. Moutee, "Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage," Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 194.
- [6] J. Natterer, *Construction en bois: matériau, technologie et dimensionnement*: presses polytechniques, 2005.
- [7] M. C. N. Yemele, "Développement de panneaux de particules à base d'écorce d'épinette noire et de peuplier faux- tremble," Thèse de doctorat, Université Laval, 2008, pp. 174.
- [8] A.K. Bledzki and J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres," *Prog. Polym. Sci*, vol. 24, pp. 221-274, 1999.
- [9] D. Sedan, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite," Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2007, pp. 137.
- [10] Maya Jacob John and R. D. Anandjiwala, "Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites," *Polymer composites*, vol. 29, pp. 187-207, 2008.
- [11] R. A. Garcia, "Amélioration de la stabilité dimensionnelle des panneaux de fibres de bois MDF par traitements physico-chimiques," Thèse de doctorat, Université Laval, 2005, pp. 206.
- [12] V. Repellin, "Optimisation des paramètres durée et température d'un traitement thermique du bois. Modifications des propriétés d'usage du bois en relation avec les modifications physico-chimiques et ultrastructurales occasionnées par le traitement

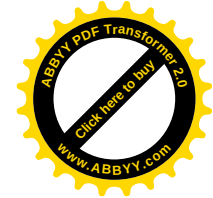
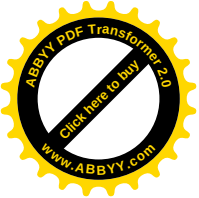


- thermique," Thèse de doctorat Université Jean Monnet de Saint-Etienne, 2006, pp. 262.
- [13] M. R. Moha Taourirte, Nathalie Issartel, Henry Sautereau , and N. S. Jean-François Gérard "Short palm tree fibers – Thermoset matrices composites," *Composites: Part A*, vol. 37, pp. 1413-1422, 2006.
- [14] A. Chehma and H. Longo, "Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail," *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, pp. 59-64, 2001.
- [15] Amina.Djoudi, Mohammed Mouldi.Khenfer, and A. Bali, "Etude d'un nouveau composite en plâtre renforce avec les fibres végétale du palmier dattier," presented at 1st International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, Oran (Algeria), 2009.
- [16] G Kestur Satyanarayana, P Luiz .Ramos, and F. Wypych, "Comparative study of Brazilian Natural fibers and their composites with others." Jardim das Americas: Federal university of Parana.
- [17] J. L. Shi, "La relation entre les propriétés des panneaux de fibres de densité Moyenne et les caractéristiques du bois," in *Faculté des études supérieures*. Québec: Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 193.
- [18] Philippe Morel, Laurent Poncet, and L.-M. Rivière, *Les supports de culture horticoles*, Edition Guae ed, 2000.
- [19] D.Puglia and J.M.Kenny, "Applications of natural fibre composites," in *Material Engineering Centre*: University of Perugia.
- [20] R. E. Herrera, "Panneaux en gypse et particules de bois renforcés avec du ciment portland," Thèse de doctorat, Université Laval, 2009, pp. 140.
- [21] James Giancaspro, Christos Papakonstantinou, and P. Balaguru, "Fire Resistance of Inorganic Sawdust Biocomposite," *Composites Science and Technology*, 2008.
- [22] G. Paccaud, "Le chanvre, un matériau durable pour la construction," Unité de développement durable du Canton de Vaud, 2008, pp. 30.
- [23] Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Les panneaux à base de bois*, vol. 116: Food & Agriculture Org, 1993.



Chapitre II

Caractérisation des matériaux naturels



Le but de ce chapitre est de présenter les différents essais qu'on peut effectuer sur les matériaux naturels, il s'agit du séchage, de caractérisation mécanique, thermique, acoustique, le comportement des matériaux naturels au feu. Ces caractérisations permettent d'évaluer les performances de ces matériaux. La première partie est consacrée à l'eau dans le bois, les propriétés physico-chimiques qui affectent les propriétés thermiques et mécaniques du bois, les procédés de séchage et leurs avantages. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous allons présenter les différentes méthodes de caractérisation.

I. L'eau dans le bois

Le bois est un matériau poreux et hygroscopique, il est susceptible de perdre ou de reprendre de l'humidité en fonction de la température et surtout de l'humidité de l'air ambiant [1]. L'eau contenue dans le bois se présente généralement sous trois formes [2-4]:

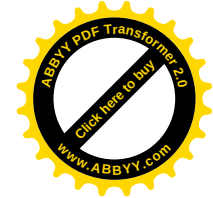
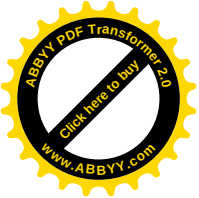
- L'eau liée, qui est fixée aux polymères de parois cellulaires du bois (cellulose, hémicellulose,). Cette fraction d'eau est responsable des variations dimensionnelles du bois comme le retrait/gonflement.
- L'eau libre qui remplit les vides cellulaires, ou entre les cellules, en particulier le lumen. L'eau libre peut être éliminée facilement et il n'intervient pas dans les variations dimensionnelles du matériau.
- La vapeur d'eau, mélangée avec l'air sec, qui occupe les vides cellulaires non saturés de l'eau libre.

I.1. Le point de saturation des fibres naturelles

Le point de saturation des fibres (PSF) est la teneur en eau pour laquelle le bois ne contient plus que l'eau liée (il n'y a pas d'eau libre dans les cavités cellulaires). Ce seuil est d'environ 30% d'eau par rapport à la masse. En dessous de cette valeur, les propriétés (mécaniques, dimensionnelles) du bois sont modifiées par les variations de l'humidité [5]. En outre, il y a un équilibre entre la teneur en eau du bois et l'humidité de l'air ambiant [6].

I.2. L'eau et les propriétés physico-chimiques du bois

Les propriétés mécaniques et thermiques du bois dépendent considérablement de l'essence (légère ou lourde), de sa composition chimique, de sa teneur en eau, de sa densité et de sa porosité. Autrement dit, les propriétés thermomécaniques du bois sont fortement



conditionnées par son état physico-chimique [2, 7-10]. Donc, dans cette partie on présente les différentes propriétés.

I.2.1. La teneur en humidité

La teneur en eau est définie comme la masse d'eau présente dans le bois rapporté à sa masse anhydre par la relation [8].

$$X(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{II.1})$$

Avec, M_s représente la masse anhydre (sèche), M_h est la masse initiale humide.

La masse anhydre est obtenue après un séchage en étuve à 103-105 °c jusqu'à stabilisation de la masse [8, 9].

I.2.2. La masse volumique

Certains bois sont légers (peuplier, épicéa,...) et d'autres sont très lourds (chêne,...). La densité varie non seulement d'une essence à l'autre, mais aussi au sein d'une même espèce [9]. Par ailleurs, elle varie en fonction de la teneur en eau. Elle s'exprime par la relation suivant [10].

$$\rho_x = \frac{M_x}{V_x} \quad (\text{II.2})$$

Où M_x et V_x sont la masse et le volume à l'humidité x .

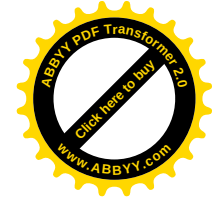
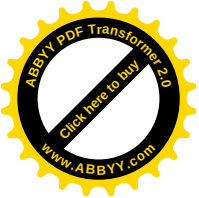
I.2.3. La porosité

Le « réseau cellulaire » qui est formé par les parois, les lumens et les ponctuations des différents éléments cellulaires fait du bois un matériau poreux [11]. En effet, la porosité est définie par le rapport entre le volume de pores (V_p) et le volume totale (V_t) de matériau, elle s'exprime par la relation (II.3) [6]. Plus la porosité est importante, plus le bois sera léger, et moins il sera résistant, dur et stable [9].

$$\Phi = \frac{V_p}{V_t} \quad (\text{II.3})$$

I.2.4. Composition chimique

Les parois cellulaires du bois sont formées par des polymères soit la cellulose (40-50 %), l'hémicellulose (5 - 20 %) et la lignine (20 - 30 %), et par les extractibles (plus de 2 %),



ces pourcentages pouvant changer selon l'espèce, les conditions climatiques, l'âge de l'arbre, etc. Ainsi, les polymères sont responsables des principales propriétés physique mécanique du bois [9, 10, 12].

I.3. Le séchage

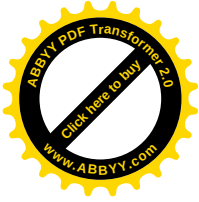
L'objectif de séchage consiste à réduire la teneur de l'humidité en limitant au minimum les pertes probables de qualité (fissure,..) causés par des défauts dans le bois crée au cours de séchage [13]. Les avantages du séchage peuvent être résumés dans les points suivants [3, 14].

- Assurer la stabilité dimensionnelle du bois pendant son utilisation,
- Améliorer son aptitude à l'usinage en améliorant la résistance mécanique,
- Réduire son poids ce qui conduit à la réduction du coût de transport,
- Diminuer les attaques des micro-organismes (la durabilité).

I.3.1. Les méthodes de séchage

Les processus principaux de séchage de bois sont les suivants [13]:

- Le séchage par déshumidification (la température entre 35 ° C et 75 ° C) avec pompe à chaleur ;
- Le séchage conventionnel (température entre 50 °C et 100° C) ;
- Le séchage à haute température supérieur à 100° C ;
- Le séchage sous vide.



II. Caractérisation mécanique du bois

II.1. Elasticité du bois

L'élasticité est la propriété de reprendre la forme de bois (ou leurs dimensions initiales) lorsque la charge causant la déformation est enlevée, ceci peut avoir lieu lorsque qu'on est en dessous de la limite proportionnelle ou élastique. La limite proportionnelle est un paramètre qui distingue le comportement élastique du comportement plastique [13]. Les propriétés élastiques de bois sont différentes dans les trois directions (car il est un matériau anisotrope) [10]. Par ailleurs, ils sont influencés par plusieurs facteurs, principalement : la densité, la teneur en eau et la température [13].

II.2. Influence de la densité

Les propriétés élastiques sont fortement dépendantes de la densité du bois. La relation entre les propriétés mécaniques et la densité se présente par la formule suivante [13]:

$$Y = aD^b \quad (\text{II.4})$$

Y: les propriétés élastiques, D: est la densité du bois, a et b sont des constante données pour chaque espèce de bois

II.3. Influence de la température et de la teneur en humidité

La température est un paramètre physique très important qui affecte le comportement mécanique du bois. Les modules d'élasticités E de plusieurs espèces diminuent lorsque la température augmente. La relation entre la température et le module d'élasticité se présente comme suit [13].

$$E_2 = E_1[1 - \alpha(T_2 - T_1)] \quad (\text{II.5})$$

Où E_1 et E_2 sont les modules correspondant aux températures T_1 et T_2 , α est le coefficient de dilatation thermique.

En outre, la teneur en eau du bois exerce une grande influence sur ses propriétés mécaniques; pour un bois séché à l'air, la perte de l'eau liée aux parois cellulaires résulte en une augmentation de ces propriétés mécaniques. Par contre, le contraire peut se produire lorsque le bois est trop sec [11].

II.4. Détermination expérimentale des propriétés mécaniques du bois

II.4.1. Propriétés élastiques

Les propriétés élastiques des matériaux sont généralement déterminées par des expériences normalisées, effectuées sur des machines spécifiques, on peut distinguer: l'essai de traction, de compression et de flexion. Ces derniers sont les techniques les plus utilisées pour la détermination des propriétés mécaniques du bois. Ils ont le même principe qui consiste à appliquer une charge progressive sur un échantillon et à tracer le diagramme contrainte-déformation. La courbe contrainte-déformation permet de définir le module d'élasticité E (module de Young), celui-ci n'est valable qu'en dessous de la limite proportionnelle [13].

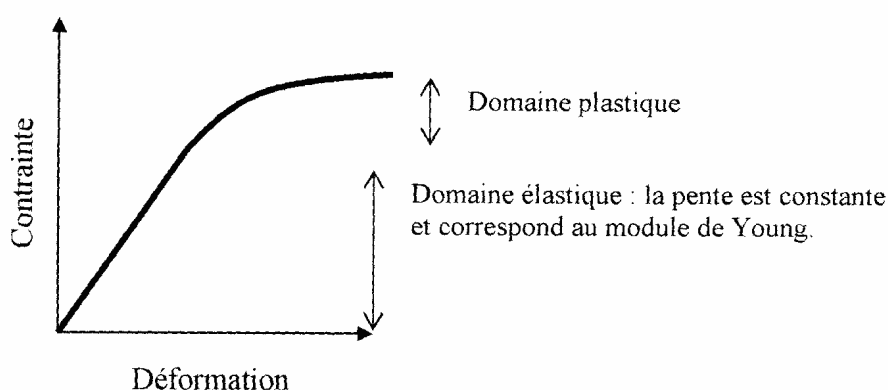
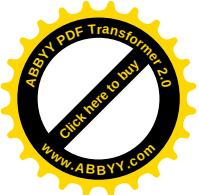


Figure.II.1.Courbe contrainte-déformation du matériau bois [13]

II.4.2. Propriétés viscoélastiques

II.4.2.1. L'analyse mécanique dynamique (DMA)

C'est une technique utilisée pour étudier le comportement mécanique des matériaux en fonction de la température et du temps, particulièrement les propriétés visco-élastiques. Le principe de cette méthode consiste à appliquer une force sinusoïdale (force oscillante à une fréquence spécifique) en cisaillement ou en compression sur l'échantillon du matériau à étudier, les propriétés mécaniques ou plutôt les résultats de DMA sont généralement présentés sous forme de module de stockage (E') qui représente le module d'élasticité, et de module de perte (E'') qui est équivalent à la réponse visqueux de l'échantillon, ainsi que de facteur de perte ($\tan \delta$) ou la capacité d'amortissement de matériau, ils sont comptés d'après



les signaux force - déplacement (les courbes force – déplacement) en utilisant des logiciels spécifiques [15, 16].

II.5. Caractérisation thermique

II.5.1. Conductivité thermique du bois

Les valeurs de la conductivité thermiques du bois sont largement inférieures à celles de la plupart des matériaux de construction utilisés à cause de sa structure poreuse. Dans le bois sec, les cavités et les espaces intercellulaires et intracellulaires sont remplis d'air, qui est un mauvais conducteur de chaleur [17].

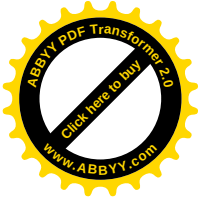
La conductivité thermique du bois dépend directement de sa densité (Le bois avec une masse volumique élevée conduit mieux la chaleur que le bois de faible masse volumique), du taux d'humidité (La teneur en humidité augmente la conductivité thermique car l'eau en comparaison avec l'air conduit mieux la chaleur) et de la direction considérée, soit parallèlement aux fibres (direction L), soit perpendiculairement à celles –ci (direction R et T). La conductivité thermique du bois est affectée aussi par la température; plus la température est élevée, plus la conductivité thermique est grande [9, 17].

II.5.2. Les méthodes de mesure en régime permanent

Les techniques de mesure en régime permanent sont utilisées habituellement, pour les matériaux isolants qui ont une faible conductivité thermique comme le bois. La méthode la plus utilisée est la méthode de la plaque chaude gardée [18, 19].

Le principe de cette méthode consiste à mesurer le gradient de température d'un échantillon soumis à un flux thermique constant et connu.

D'autres méthodes en régime variable ont été développées, on résume les principes de ces méthodes dans les paragraphes suivants :



II.5.3. Les méthodes de mesure en régime variable

Le principe général consiste à appliquer un flux thermique variable avec le temps à un échantillon et à mesurer une ou plusieurs températures en fonction du temps. On peut les classer en trois catégories:

- **Méthodes en régime quasi établi:**

Dans ces méthodes, on mesure simultanément le flux thermique qui est généralement constant et la température (variable avec le temps) d'échantillon. Parmi ces méthodes, on peut citer : la méthode des sondes et la méthode de fil chaud [20].

- **Méthodes en régime transitoire:**

Les méthodes en régime transitoire consistent à appliquer à l'échantillon un flux thermique variable rapidement avec le temps. La méthode la plus répandue est la méthode flash, elle est caractérisée par l'application d'une pulsion laser de durée courte sur l'une des faces de l'échantillon, et les propriétés thermiques peuvent être calculées en mesurant la température de l'autre face d'échantillon [21].

- **Méthodes en régime périodique établi:**

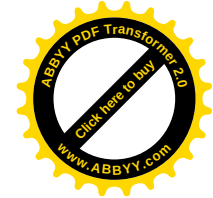
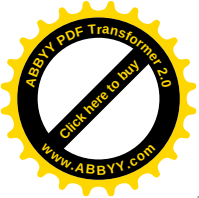
Le principe de ces méthodes est basé sur l'application d'une excitation périodique à un échantillon, puis la mesure de la température en plusieurs points qui permet d'obtenir le déphasage entre deux mesures, ou entre une mesure et la source. On distingue par exemple la méthode photo-thermique, la méthode photo-acoustique,...[22].

II.6. Caractérisation acoustique

Lorsqu'une onde sonore frappe la surface d'un matériau, une partie de l'énergie est absorbée par le matériau, une partie est réfléchi, et l'autre partie est transmise à travers la matière (pénètre la surface) [23]. La détermination expérimentale des propriétés acoustiques (le coefficient d'absorption, le coefficient de transmission et de réflexion) peut être réalisée par les méthodes suivantes [24].

II.6.1. Méthode des ondes stationnaire (mesure au tube de Kundt)

Le principe de cette méthode consiste à appliquer une onde sonore à basse fréquence (par haut-parleur placé à l'entrée du tube cylindrique d'axe ox) à l'échantillon de matériau à étudier (placé à l'extrémité de tube), et à faire plusieurs mesures de pressions acoustiques



dans plusieurs points d'abscisse x de tube. Les pressions sont mesurées par des sondes microphoniques montées sur la paroi du tube.

Une autre méthode est utilisée pour mesurer le coefficient d'absorption, dite la mesure en chambre réverbérante et le principe de cette méthode est détaillé dans la littérature [24].

II.7. Caractérisation du comportement des matériaux naturels au feu

II.7.1. La combustion du bois

La réaction de combustion est le résultat de la combinaison du carbone et de l'hydrogène avec l'oxygène donnant du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O) [17].

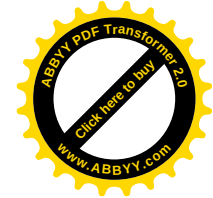
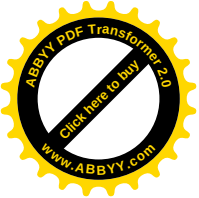
II.7.2. L'effet de la température sur la dégradation thermique du bois

La dégradation thermique du bois en fonction de l'accroissement de température fonctionne de manière suivante [17]:

- Pour des températures en dessous de 100°C : il y a une perte d'eau libre par séchage.
- Dès 100°C à 150°C : le début de la déshydratation des parois cellulaires du bois.
- Dès 150°C à 200°C : l'ignition du bois peut commencer et commence le dégagement des gazes, principalement du CO_2 (70%) et du CO (30%).
- Près des 275°C : on commence à observer un dégagement rapide des gaz. On reconnaît cette période sous le nom de « combustion vivante » à cause du dégagement accéléré des gaz qui produit une grande quantité de flammes à la surface du bois et de la formation de charbon végétal.
- À la température de 400°C : il y a une perte rapide de la masse du bois (dégagement de la fumée).
- Puis de 800°C à 1200°C : on observe la combustion totale du charbon végétal.

II.7.3. Propriétés physiques du bois qui affectent la combustion

Selon la littérature [17] les deux facteurs: la densité et la teneur en eau influent la combustion du bois:



- **Masse volumique**

Les bois plus légers et poreux brûlent plus rapidement que les bois plus lourds, parce qu'ils dégagent plus facilement les gaz de combustion. Ainsi, les bois avec une masse volumique plus élevée ont une plus grande résistance à la combustion.

- **La teneur en humidité**

Le bois qui a une teneur en humidité élevée a besoin de plus de chaleur pour commencer à brûler car une partie de la chaleur est utilisée pour la vaporisation de l'eau.

Les critères principaux pour caractériser le comportement des matériaux au feu sont les suivants [17]:

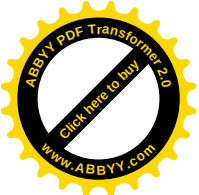
- La résistance des matériaux au feu : c'est une mesure du temps auquel un matériau résiste sous l'action du feu (stabilité au feu).
- l'inflammabilité des matériaux : Hautement inflammable, modérément inflammable et non inflammable.
- La propagation de la flamme,
- La production de fumée, de vapeur, de chaleur, des produits toxiques,

Selon les critères précédents, on distingue les techniques de caractérisation suivantes [25, 26]: tests de résistance au feu, test de propagation de flamme, tests pour déterminer l'inflammabilité, le taux de génération de fumé et de chaleur, les analyses thermiques. Dans les paragraphes suivants, on résume brièvement le principe de quelques tests:

II.7.4. Tests de résistance au feu

La résistance au feu décrit la capacité d'un matériau pour supporter le feu et d'empêcher la diffusion de ce dernier. La méthode la plus répandue pour déterminer la résistance au feu des matériaux, surtout les matériaux et les composites utilisés dans les bâtiments, est la méthode de four. Le principe de mesure est le suivant : un grand échantillon placé dans un côté ouvert d'un four est soumis à un chauffage (par le feu qui est maintenu à l'intérieur de four), puis la température de l'échantillon est contrôlée en fonction du temps en utilisant un thermocouple [25].

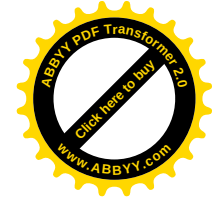
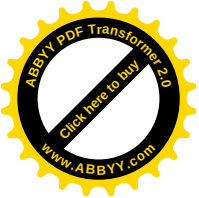
II.7.5. Test de propagation de la flamme



Cet essai est utilisé pour les matériaux du bâtiment. Son principe consiste à soumettre l'échantillon à une source de chaleur radiante et à mesurer le taux de propagation de la flamme sur la surface du matériau [27].

II.7.6. L'analyse thermo- gravimétrique

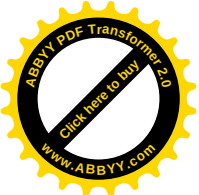
Le principe de l'analyse thermogravimétrique (TGA: thermogravimetric analysis) consiste à mesurer le changement de masse de l'échantillon pendant qu'il est soumis à une température élevée dans une atmosphère déterminée. Même si les tests de TGA ne sont pas des tests d'exposition directe au feu, ils peuvent partiellement simuler la dégradation thermique (la décomposition de matériau) produite pendant un incendie car ils mesurent la perte de masse (sous forme de vapeur et/ou de fumée) des matériaux sous l'influence de températures élevées. Ce type d'analyse permet aussi de déterminer la quantité d'eau liée dans un échantillon [17, 26].



III. Conclusion

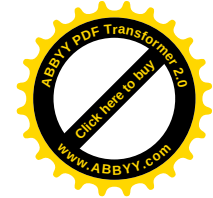
Pour utiliser un matériau, on doit d'abord connaître ses caractéristiques, ce qui permet de comprendre, voir de prédire, son comportement. Dans ce contexte, nous avons présenté des différents essais qui peuvent être réalisé sur les matériaux de bois pour analyser leurs propriétés (thermique, mécanique, acoustique,...) en vue de l'utiliser dans certaines applications. Nous avons aussi présenté la relation entre l'eau et les différentes propriétés physico-chimiques et thermomécaniques du bois. Parmi les paramètres qui affectent les propriétés thermique et mécanique du bois, on distingue les facteurs suivants: l'humidité du bois, sa densité et sa composition chimique.

Il est important, à ce stade, de rappeler que ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet global qui vise la conception et le développement de nouveaux matériaux composites principalement adaptés à l'isolation thermique dans différents secteurs, notamment dans le domaine du bâtiment. Les matériaux naturels visés sont renouvelables et abondants en Algérie. Il s'agit du bois de palmier dattier comme renfort et de plusieurs matrices potentielles comme le ciment, le gypse, la bentonite, la kaolinite et la dolomite ainsi que quelques polymères. Comme première étape de ce projet, nous allons essayer de réaliser une synthèse bibliographique sur le bois de palmier, ses applications, ses propriétés et les études effectuées dans la littérature. Cette partie fera l'objet du chapitre suivant. A l'issus de cette synthèse, un plan de travail pour la suite du projet sera proposé.

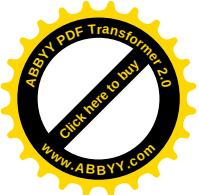


Références

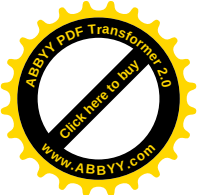
- [1] A. GOVIN, "Aspects physico-chimiques de l'interaction bois-ciment- Modification de l'hydratation du ciment par le bois," Thèse de doctorat, Université Jean Monnet, 2004, pp. 216.
- [2] S. Merakeb, "Modélisation des structures en bois en environnement variable," in *Faculté des sciences et techniques*: Thèse de doctorat, Université Limoges, 2006, pp. 162.
- [3] M. Nabhani, "Application d'un modèle de transfert de masse et de chaleur au séchage à haute température: Détermination expérimentale des paramètres du modèle et sa validation," Thèse de doctorat, Université Laval, 2007, pp. 223.
- [4] M. G. Pontin, "Propriétés physico-mécaniques de trois bois tropicaux au-dessous et au-dessus de la saturation des membranes," Thèse de doctorat, Université Laval, 2005, pp. 106.
- [5] P. Chassagne, "Contribution à la prédiction des conséquences mécaniques des phénomènes thermohydriques couplés: Application au bois," in *Thèse de doctorat, L'institut National des sciences Appliquées de Lyon*, 2006, pp. 163.
- [6] M. N. Labbé, "Mise au point d'une nouvelle méthode de dosage de l'eau dans le bois et caractérisation des composés organiques du pin maritime par résonance magnétique nucléaire domaine temps," Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2002, pp. 233.
- [7] M. Meite, A. Laanaa , A. Famiri , A. Yeznasni, M. Chergui , M. El Ghorba, and M. Ziani, "Etude de l'influence des propriétés physiques sur le comportement mécanique des bois de pin maritime et de pin d'alep -en vue de l'application à l'énergie éolienne," *Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda*, pp. 61-65, 2007.
- [8] R. Rémond, "Approche déterministe du séchage des avivés de résineux de fortes épaisseurs pour proposer des conduites industrielles adaptées," Thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Centre de Nancy, 2004, pp. 219.
- [9] M. Tawfik, "Etude de matériaux minéraux renforcés par des fibres organiques en vue de leur utilisation dans le renforcement et la réparation des ouvrages," Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005, pp. 200.
- [10] V. Repellin, "Optimisation des paramètres durée et température d'un traitement thermique du bois. Modification des propriétés d'usage du bois en relation avec les modifications physico-chimiques et ultrastructurales occasionnées par le traitement



- thermique," Thèse de doctorat, Université Jean Monnet de Saint-Etienne, 2006, pp. 262.
- [11] G. Almeida, "Influence de la structure du bois sur ses propriétés physico-mécaniques à des teneurs en humidité élevées,," Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 232.
 - [12] R. A. Garcia, "Amélioration de la stabilité dimensionnelle des panneaux de fibre de bois MDF par traitements physico-chimiques," Thèse de doctorat, Université Laval, 2005, pp. 206.
 - [13] M. Moutee, "Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage," Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 194.
 - [14] A. M. Latulippe, "Caractérisation des composés organiques volatils émis lors du séchage de bois," Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 148.
 - [15] V. Placet, "Characterization of the thermo-mechanical behaviour of Hemp fibres intended for the manufacturing of high performance composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 40, pp. 1111-1118, 2009.
 - [16] T. L. B. Wielage, H. Utschick , F. Soergel, "Processing of natural-fibre reinforced polymers and the resulting dynamic-mechanical properties," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 139, pp. 140-146, 2003.
 - [17] R. E. Herrera, "Panneaux en gypse et particules de bois renforcés avec du ciment portland," Thèse de doctorat, Université Laval, 2009, pp. 140.
 - [18] J. H. W zobel, J Fricke, "Measurement of thermal diffusivity with a garde hot- plate device using a dynamic methode," *Meas.Sci.Technol*, vol. 5, pp. 842-846, 1994.
 - [19] B. M. Suleiman, J. Larfeldt, B. Leckner, and M. Gustavsson, "Thermal conductivity and diffusivity of wood," *Wood Science and Technology*, vol. 33, pp. 465-473, 1999.
 - [20] P. Meukam, "caractérisation de matériaux locaux en vue de l'isolation thermique de bâtiments," Thèse de doctorat, Université Cergy-Pontoise, Yaoundé I, 2004, pp. 157.
 - [21] T. H. T. H. S. Ishihara, "Thermal constants of wood during the heating process mesured with the laser flash method," *J Wood Sci*, vol. 44, pp. 425-431, 1998.
 - [22] G. Leon, J. Cruz-de-Leon, and L. Villasenor, "Thermal characterization of pine wood by photoacoustic and photothermal techniques," *Holz als Roh-und Werkstoff*, pp. 241-246, 2000.
 - [23] Jiang Ze-hui, ZHAO Rong-jun, and F. Ben-hua, "Sound absorption property of wood for five eucalypt species," *Journal of Forestry Research*, vol. 15, pp. 207-210, 2004.
 - [24] G. T. Parviz Navi, *Propriétés acoustiques des matériaux: Propagation des ondes planes harmoniques*. Lausanne, 2006.

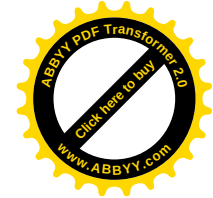


- [25] Y. A. Zhao-Fen Jin, Yoshiyuki Yamaguchi, Minoru Harada, "Fire resistance test for protection materials with high water content," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 43, pp. 4395-4404, 2000.
- [26] R. Gosselin, "Injection de mousses composites bois/plastiques d'origine post-consommation," Thèse de doctorat, Université Laval, 2005, pp. 141.
- [27] M. M. Hirschler, "Survey of American test methods associated with fire performance of materials or products," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 54, pp. 333 -343, 1996.

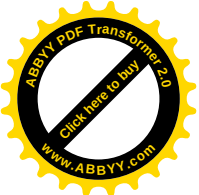


Références

- [1] L. Y. Mwaikambo, "Review of the history, properties and application of plant fibres," *African Journal of Science and Technology (AJST)*, vol. 7, pp. 120 - 133, 2006.
- [2] A. Kriker , G. Debicki , A. Bali , M.M. Khenfer , and M. Chabannet, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 554–564, 2005.
- [3] Parviz Navi and F. Heger, *Comportement thermo-hydrromécanique du bois: applications technologiques et dans les structures*: PPUR presses polytechniques, 2005.
- [4] R. Pedieu, "Valorisation des résidus d'écorce de bouleau blanc(betula papyrifera) sous forme de fabrication de panneaux," Thèse de doctorat, Université Laval, 2008, pp. 255.
- [5] M. Moutee, "Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage," Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 194.
- [6] J. Natterer, *Construction en bois: matériau, technologie et dimensionnement*: presses polytechniques, 2005.
- [7] M. C. N. Yemele, "Développement de panneaux de particules à base d'écorce d'épinette noire et de peuplier faux- tremble," Thèse de doctorat, Université Laval, 2008, pp. 174.
- [8] A.K. Bledzki and J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres," *Prog. Polym. Sci*, vol. 24, pp. 221-274, 1999.
- [9] D. Sedan, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite," Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2007, pp. 137.
- [10] Maya Jacob John and R. D. Anandjiwala, "Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites," *Polymer composites*, vol. 29, pp. 187-207, 2008.
- [11] R. A. Garcia, "Amélioration de la stabilité dimensionnelle des panneaux de fibres de bois MDF par traitements physico-chimiques," Thèse de doctorat, Université Laval, 2005, pp. 206.
- [12] V. Repellin, "Optimisation des paramètres durée et température d'un traitement thermique du bois. Modifications des propriétés d'usage du bois en relation avec les modifications physico-chimiques et ultrastructurales occasionnées par le traitement

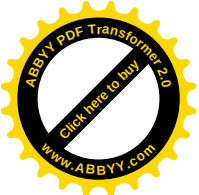


- thermique," Thèse de doctorat Université Jean Monnet de Saint-Etienne, 2006, pp. 262.
- [13] M. R. Moha Taourirte, Nathalie Issartel, Henry Sautereau , and N. S. Jean-François Gérard "Short palm tree fibers – Thermoset matrices composites," *Composites: Part A*, vol. 37, pp. 1413-1422, 2006.
- [14] A. Chehma and H. Longo, "Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail," *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, pp. 59-64, 2001.
- [15] Amina.Djoudi, Mohammed Mouldi.Khenfer, and A. Bali, "Etude d'un nouveau composite en plâtre renforce avec les fibres végétale du palmier dattier," presented at 1st International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, Oran (Algeria), 2009.
- [16] G Kestur Satyanarayana, P Luiz .Ramos, and F. Wypych, "Comparative study of Brazilian Natural fibers and their composites with others." Jardim das Americas: Federal university of Parana.
- [17] J. L. Shi, "La relation entre les propriétés des panneaux de fibres de densité Moyenne et les caractéristiques du bois," in *Faculté des études supérieures*. Québec: Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 193.
- [18] Philippe Morel, Laurent Poncet, and L.-M. Rivière, *Les supports de culture horticoles*, Edition Guae ed, 2000.
- [19] D.Puglia and J.M.Kenny, "Applications of natural fibre composites," in *Material Engineering Centre*: University of Perugia.
- [20] R. E. Herrera, "Panneaux en gypse et particules de bois renforcés avec du ciment portland," Thèse de doctorat, Université Laval, 2009, pp. 140.
- [21] James Giancaspro, Christos Papakonstantinou, and P. Balaguru, "Fire Resistance of Inorganic Sawdust Biocomposite," *Composites Science and Technology*, 2008.
- [22] G. Paccaud, "Le chanvre, un matériau durable pour la construction," Unité de développement durable du Canton de Vaud, 2008, pp. 30.
- [23] Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Les panneaux à base de bois*, vol. 116: Food & Agriculture Org, 1993.



Chapitre III

Etude du palmier dattier:Revue bibliographique



I. Généralité sur le palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) est l'un des arbres fruitiers le plus anciennement cultivé dans le monde [1, 2], il est rustique s'adaptant aux régions les plus arides du monde et constitue la principale source de vie de la population saharienne [3]. Cette espèce se trouve principalement dans la région afro-asiatique [1], est une composante essentielle de l'écosystème oasien; grâce à son adaptation aux conditions climatiques, la haute valeur nutritive de ses fruits et les multiples utilisations de ses produits [4]. Le Phoenix est une plante dioïque, on en trouve donc deux organismes avec des palmiers mâles et femelles [1, 4].

Beaucoup d'auteurs considèrent le palmier dattier comme source de matières premières pour des applications industrielles [1, 5-8]. C'est dans cette logique que cette étude s'inscrit. On distingue dans la littérature cinq parties du bois de palmier, il s'agit de folioles, du rachis, du bois de tronc, de pétioles et de la grappe [1, 9].

Dans ce chapitre, on présente une revue bibliographique sur le palmier dattier. La première partie est consacrée à une étude morphologique du palmier, les sous produits, les fibres et les variétés de palmier. Dans la deuxième partie, on parle des travaux réalisés dans la littérature, sur le palmier dattier.

I.1. Etude morphologique du palmier dattier

Le palmier dattier appartient à la classe des monocotylédones (une feuille embryonnaire dans la graine). Les monocotylédones ont une organisation différente, ils n'ont pas de cambium (une couche mince située entre le bois et l'écorce), alors que le bois de palmier présentant une structure et des propriétés bien différentes de celle des autres arbres [10].

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 [2].

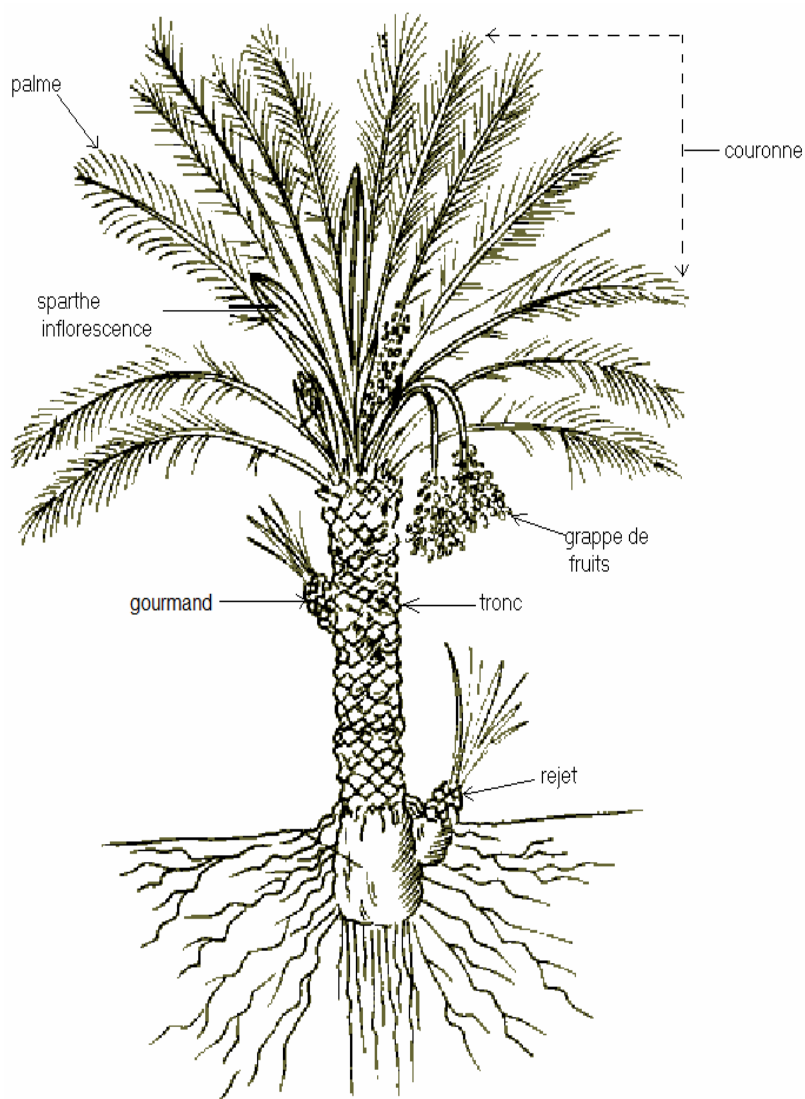


Figure.III.1 : Schéma de palmier dattier

I.2. Parties de palmier dattier

Selon la littérature [2], on distingue les parties de palmier dattier suivantes:

- **Le tronc**

Le palmier dattier a un tronc unique colonnaire sans branche appelé stipe. Le stipe se termine par un bourgeon terminal unique produisant des feuilles appelées palmes (frondes), il est généralement cylindrique. L'enveloppe extérieure, l'écorce, n'est qu'une expansion de la base des pétioles des feuilles [11]. Les fibres des pétioles ne forment point un tissu comme dans le bois ordinaire. Ce tissu présent des couches assez semblables à des toiles d'araignées (ils sont placés sans ordre, les unes à côté des autres). Le tronc n'est composée que des fibres

pétiolaires superposées les unes sur les autres de l'intérieur à l'extérieur [12]. Ceci explique pourquoi le bois est plus dur à l'extérieur qu'à l'intérieur [13].

- **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 ».

- **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 [14].

Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir de bourgeon et perd un nombre similaire de palmes par dessèchement [14, 15].

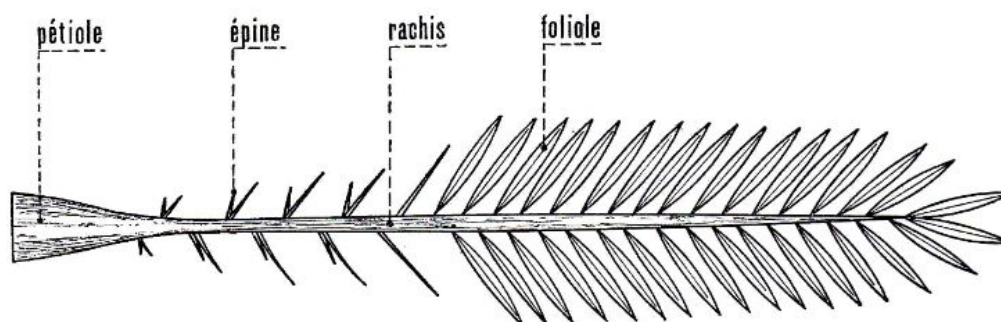
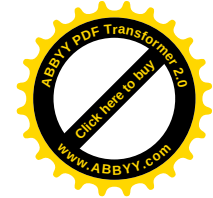


Figure.III.2: Schéma d'une palme de palmier dattier [2].

I.3. Fibres de palmier dattier

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant quatre types de fibre [16]:

- 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 kornaf, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le liffe).

I.4. Sous-produits de palmier dattier

I.4.1. Sous-produits de palmier dattier et leurs applications

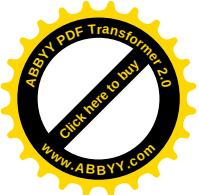
En plus de sa production de dattes pour l'alimentation humaine, le palmier dattier offre une large gamme de sous produits exploités par la production saharienne, à savoir [3, 17]:

- le vinaigre, l'alcool et les levures, par fermentation microbiologiques des dates communes;
- farine de dattes utilisées dans la panification;
- jus de dattes, par extraction, utilisé comme sucrerie;
- tronc d'arbre, utilisé dans l'ébénisterie traditionnelle, bois de chauffage et charpentes de bâtiments;
- palmes sèches, utilisées comme clôtures, brises vent, dans la confection de couffins, de chapeau; etc., ils peuvent même servir en industrie de papier;
- les régimes de dattes, comme balais traditionnels, et comme combustibles;
- le liffe pour la confection des semelles de sandals;
- le lacmi, boisson très recherchée par la population locale, représentant la sève qui s'écoule du stipe.

I.4.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et de leurs sous produits

Selon la littérature [9, 16-18], 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 1 130 000 tonnes.

En Algérie, le nombre de palmier dattier est plus de 10 millions arbres [1, 3, 9], avec plus de 800 variétés [16]. Le tonnage de la partie consommable des palmes sèches est environ de $135 \cdot 10^3$ tonnes de palmes sèches / an, les pédicelles de dattes est environ de $5 \cdot 10^3$ tonnes de pédicelles / an, avec 67500 tonnes de rebuts de dattes [3, 18].

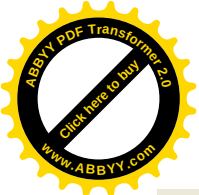


I.5. Variétés de palmier dattier en Algérie

On distingue dans la littérature plusieurs variétés de palmier dattier; les variétés les plus connues sont: Deglet Nour, El Ghers, Mech Degla, Degla Baida [1, 2, 16]. Les autres variétés sont présentées dans le tableau III.1.

La région de Tolga à Biskra se présente comme l'une des plus importantes régions phoenicicoles en Algérie. Elle est connue mondialement, notamment par la variété Deglette Nour [19].

Variétés	Nombre de palmiers	Localisation
El Ghers	2.500.000	Oued Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, M'zab, El golia, Biskra (Tolga)
Deglet Nour	1.500.000	Oued Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, M'zab, El golia, Biskra (Tolga)
Mech Degla	1.500.000	Oued Righ, Zibens, Oued souf, Biskra (tolga,)
Tilemson	500.000	Touat, El Boléa, Gourara, Tidikelt
Tin-Nacer	400.000	Touat, El golia, Tidikelt
Degla Beida	300.000	Oued Righ, Zibens, Oued souf
Tazerzait	100.000	M'zab, Tidikelt, Saoura.
Tegaza	70.000	Tidikelt, Touat, El golia, Hoggar
Temjouhart	50.000	El golia, Gourara, M'zab



Takerboucht	42.000	Tidikelt, Touat
Tafezouine	35.000	M'zab, Oued souf, Oued Righ
Tanteboucht	10.000	Oued Righ, Ouargla, Tidikelt
Timedouel	8.000	M'zab, El golia

Tableau III.1: Différentes variétés de palmier dattier en Algérie [2].

II. Synthèse des travaux réalisés sur le bois de palmier

Le bois de palmier dattier a déjà fait l'objet de nombreuses études permettant de caractériser ses propriétés mécaniques, thermiques et de chercher la possibilité de l'incorporation dans les matrices cimentaires ou argileuses afin d'obtenir des composites adaptés aux applications de construction et de l'isolation. La majorité de ces travaux ont porté sur la caractérisation mécanique.

H.H. Abdel-Rahman et al. [20] déterminent les propriétés mécaniques des tiges de palmiers de palmier dattier (rachis). Les résultats des essais montrent que la résistance à la traction de la paroi de tige varie entre 116 à 208 N/mm². Tandis que celle de coeur est près de moitié de ces valeurs. Ainsi que, le module d'élasticité des tiges se trouve entre 10 à 30 KN/mm².

Ahmad Alawar et al. [21] déterminent les propriétés mécaniques, de fibres de surface du tronc de palmier dattier, avant et après le traitement chimique avec différentes concentrations de NaOH. Les résultats sont présentés dans la Figure.III.3. L'amélioration de la résistance à la traction du palmier dattier a été observée lorsque le traitement chimique a été appliqué. La résistance maximale a été observée à la valeur de 1% NaOH, puis il y a une diminution de résistance lorsque la concentration de NaOH augmente.

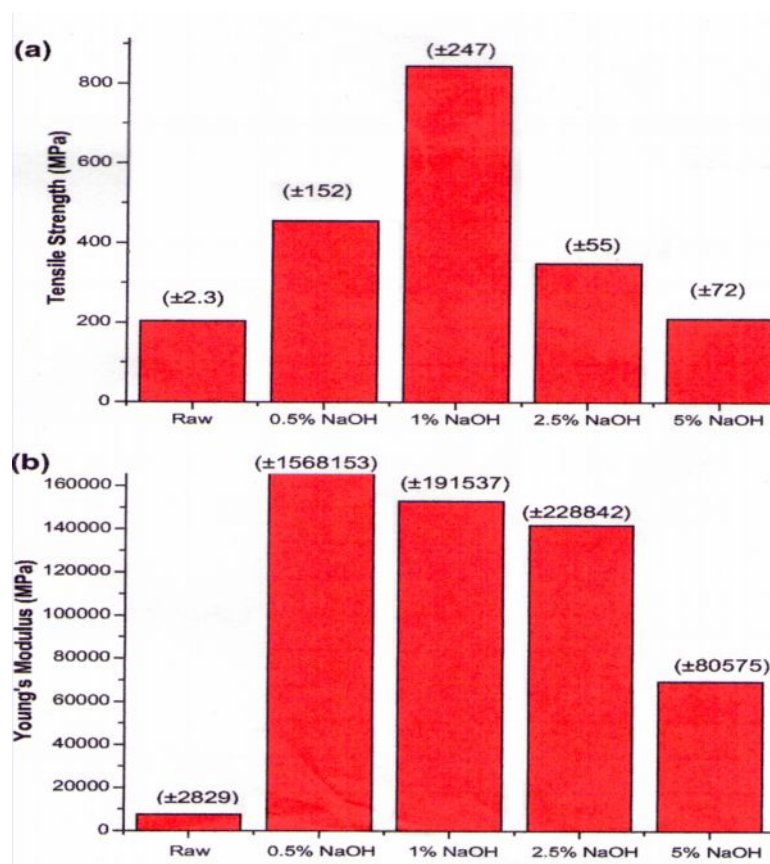


Figure.III.3. Les variations des propriétés mécaniques de palmier dattier avec différentes concentrations de NaOH [21].

Les auteurs de [1] ont déterminés les propriétés mécaniques de quatre types de fibres de surface de palmier dattier. Les résultats sont présentés dans le tableau III.2

Variété	sec			humides		
	Résistance à traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Module d'élasticité (GPa)	Résistance à traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Module d'élasticité (GPa)
Dokar	290±20	11±2	5.2±3	300±20	12±2	3.55±2
Elgers	88.75±20	11.1±2.5	3.5±1.2	90.10±18	12±3	3.10±1.5
Deglet-Nour	72.34±18	8.7±2.2	3.15±1.5	74.34±1.5	9.5±2.5	2.3±2
Degla-Bida	71.15±16	7.5±2.3	2.5±1	73.19±13	8.5±2.7	2.10±1

Tableau.III.2: Les propriétés mécaniques de quelques variétés de bois de palmier.

D'après le tableau III.2, les fibres de Dokhar sont les plus résistantes et les plus allongeables. En outre, l'humidité augmente légèrement la résistance et l'allongement à la rupture des fibres. Par contre à l'état sec, les fibres ont un module d'élasticité légèrement supérieur à celui de l'état humide.

Les fibres de surface de dokhar ont une structure poreuse capable d'absorber une grande quantité de l'eau. La porosité moyenne a été trouvée d'environ 35% [1].

Par ailleurs, le traitement thermique (analyse thermogravimétrique TGA) qui a été fait selon la littérature [21] montre que les fibres de surface de palmier dattier avec le traitement de soude (NaOH) ont une meilleure résistance à la dégradation thermique, plus de 260°C.

Avec l'évolution des matériaux composites, dans quelques études, les chercheurs ont pensé à l'incorporation des fibres de palmier dattier comme matériau de renfort dans les matrices inorganiques comme le plâtre et le ciment [1, 22] afin d'améliorer la résistance à la traction, de diminuer la fragilité, et d'améliorer les propriétés thermique du matériau.

Selon la littérature [22] l'incorporation des fibres de palmier dattier dans le plâtre a été proposé. L'étude de plâtre renforcé avec différents pourcentages de fibres du palmier montre

que l'augmentation du pourcentage de fibres fait accroître le module d'élasticité (voir la figure.III.5) et décroître la densité de matériau (voir la figure.III.4).

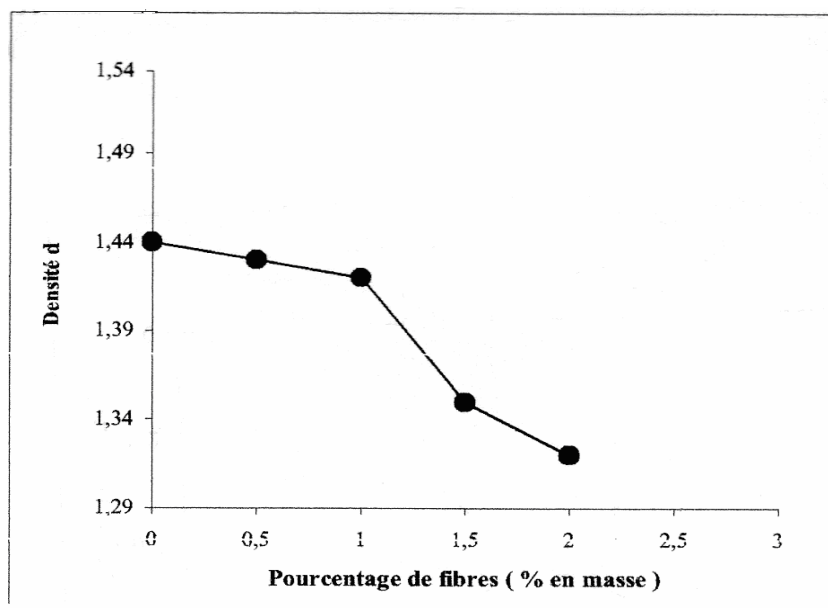


Figure.III.4. Les variations de densité en fonction de pourcentage de fibres [22].

Selon la figure III.4, la diminution de densité avec l'augmentation du dosage en fibres peut être expliqué par l'augmentation du volume de vide créée par l'incorporation des fibres d'où l'obtention d'un composite moins dense.

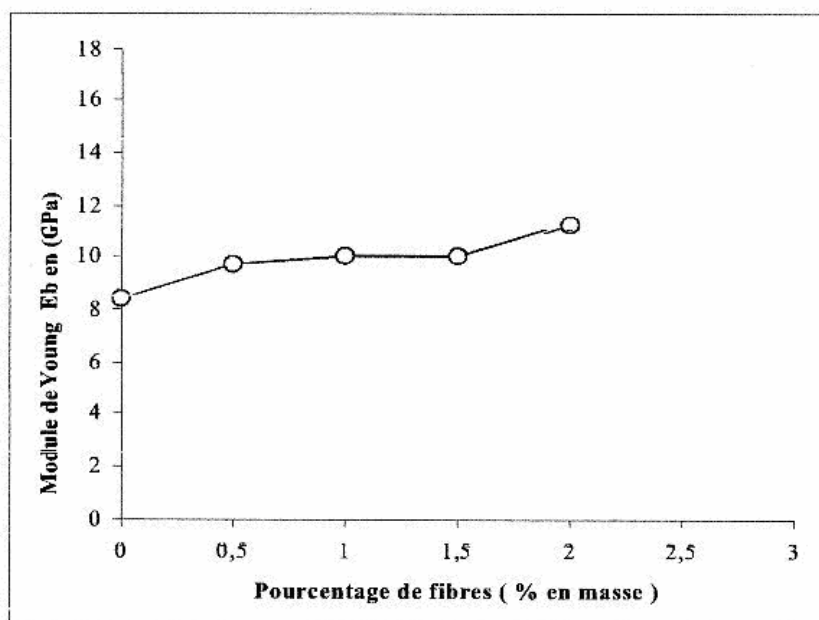


Figure.III.5. Les variations de module d'élasticité en fonction de pourcentage de fibres [22].

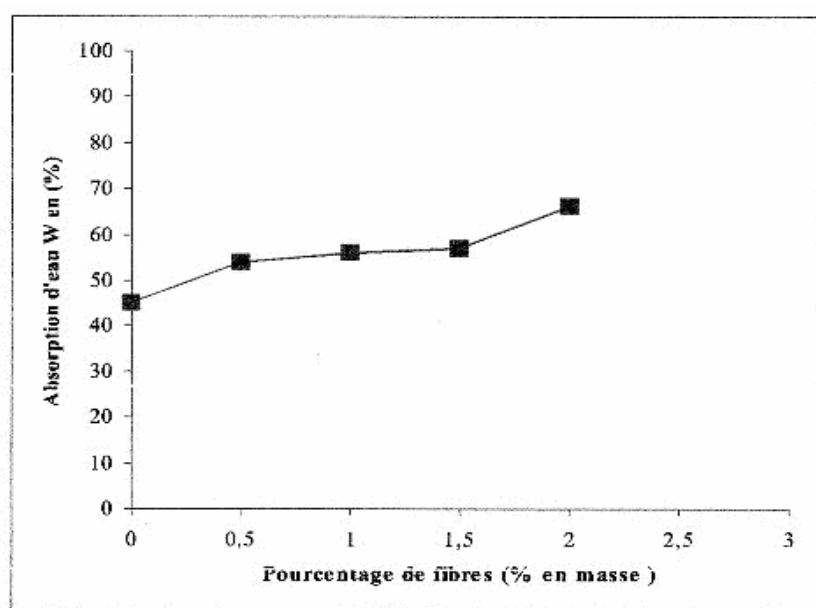
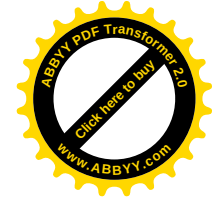
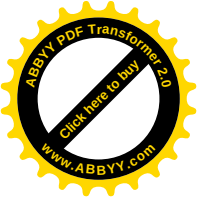


Figure III.6. Les variations d'absorption d'eau en fonction de pourcentage de fibres [22].

D'après la figure III.6, L'absorption de l'eau augmente avec l'augmentation des fibres, cela peut être dû aux fibres qui sont hydrophiles, ont une capacité d'absorption importante d'eau.

III. Conclusion



Dans ce chapitre, nous avons présenté une description de palmier dattier, nous avons défini leurs différentes parties. D'après les travaux qui ont été réalisés sur le bois de palmier dattier, on conclure ces points:

-L'Algérie est riche en bois de palmier dattier qui peut être utilisé dans des produits locaux de matériaux de construction.

-Le bois de palmier dattier ayant des propriétés mécanique et thermique significatif et ces propriétés varient selon la variété de palmier. En plus, il a une structure poreuse et il capable d'absorber une grande quantité de l'eau.

-L'incorporation de fibres de palmier dans les matrices (comme le plâtre) peut améliorer les propriétés mécaniques du matériau.

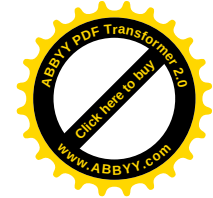
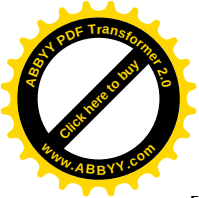
En effet, le palmier dattier avec ses différentes variétés est plus abondant dans plusieurs régions en Algérie et provenant d'une source renouvelable ce qui permet de la mise en œuvre dans plusieurs domaines (surtout le domaine des bâtiments).

Tel qu'il a été prévu à la fin du deuxième chapitre et en se basant sur les études de la littérature présentées dans ce chapitre, il parait nécessaire de proposer un plan de travail pour réaliser ce projet :

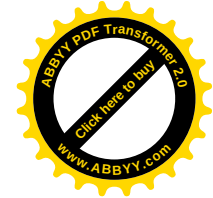
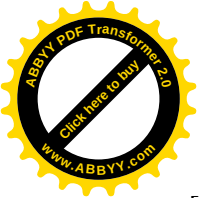
- 1) Réaliser une étude complète de la cinétique du séchage du bois de palmier ;
- 2) Etude du comportement thermophysique du bois de palmier ;
- 3) Une étude de la morphologie et du taux de porosité de ce type de bois ;
- 4) Caractériser le comportement mécanique (traction, compression, flexion) et acoustique du matériau ;
- 5) Elaboration des matériaux composites à base du bois de palmier et d'autres matériaux locaux pour profiter des propriétés de chaque composant afin de construire un isolant qui sera mieux adapté à l'isolation thermique ;
- 6) Caractérisation complète de ces matériaux : thermophysique, acoustique, mécanique, résistance au feu, absorption de l'eau,...

Les deux premières étapes feront l'objet du chapitre suivant.

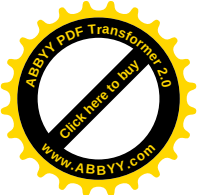
Références



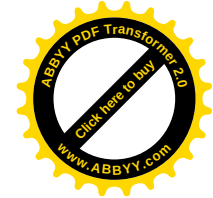
- [1] A. Kriker , G. Debicki , A. Bali , M.M. Khenfer , and M. Chabannet, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate," vol. 27, pp. 554-564, 2005.
- [2] Ahmed Bessas, BENMOUSSA Larbi, and K. Mohamed, "Dosage biochimique des composés phenoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien," in *Département de biologie*. Sidi Bel Abbes: Université Djillali Liabes, 2008, pp. 81.
- [3] A. Chehma and H. Longo, "Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail," *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse* , pp. 59-64, 2001.
- [4] K. Bousdira, "Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleure gestion et une valorisation de la biomasse: caractérisation morphologique et biochimique des dattes des cultivars les plus connus de la région de Mzab, classification et évaluation de la qualité," Thèse de magistère, Université de Boumerdes, 2006, pp. 186.
- [5] RHOUMA Soumaya , DAKHLAOUI-DKHIL Sonia , ALI OULD MOHAMED SALEM , ZEHDIA-AZOUZI Salwa, RHOUMA Abdelmajid, MARRAKCHI Mohamed, and T. Mok, "Genetic diversity and phylogenetic relationships in date-palms (*Phoenix dactylifera* L.) as assessed by random amplified microsatellite polymorphism markers (RAMPOs)," *Scientia horticulturae*, vol. 117, pp. 53-57, 2008.
- [6] M. S. Abdel-Azim, "Development of Prototype Structure for Low-Cost and Energy-Efficient House by Utilizing Palm Tree Fronds," *Building and Environment*, vol. 32, pp. 375-380, 1997.
- [7] Khristova.P, Kordsachia.O, and a. Khider.T, "Alkaline pulping with additives of date palm rachis and leaves from sudan," *Bioresource Technology*, vol. 96, pp. 79-85, 2005.
- [8] R. Khiari, M.F. Mhenni, M.N. Belgacem, and E. Mauret, "Chemical composition and pulping of date palm rachis and *Posidonia oceanica* – A comparison with other wood and non-wood fibre sources," *Bioresource Technology*, vol. 101, pp. 775-780, 2010.
- [9] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, and M. Fois, "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 491–497, 2011.
- [10] Marie-Christine TROUY-TRIBOULOT and P. TRIBOULOT, "Matériau bois: Structure et caractéristiques," *Techniques Ingénieur. Construction*, vol. CB1, pp. C925.1-C925.26, 2001.



- [11] P. Flourens, "Recueil des loges historiques lus dans les séances publiques de l'Académie des Sciences.Série 2."
- [12] H. L, *nouveaux éléments de botanique à l'usage des élèves qui suivent les cours du jardin des plantes et de l'Ecole de Médecine de Paris:Bibliothèque de catalogue*, 1809.
- [13] M. Keramat Jahromi, A. Jafari, S. S. Mohtasebi, and S. Rafiee, "Engineering Properties of Date Palm Trunk Applicable in Designing a Climber Machine," *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 08 002*, vol. x, 2008.
- [14] G. Peyron, "Cultiver le palmier-dattier," E. Quae, Ed., 2000, pp. 112.
- [15] P. Munier, "Le palmier-dattier," M. Larose, Ed.: Maisonneuve & Larose, 1973, pp. 221.
- [16] K. Abdelouahed, "Caractérisation des Fibres de Palmier Dattier Et Propriétés des Bétons et Mortiers Renforcés par ces Fibres en Climat Chaud et Sec," Thèse de doctorat, ENP Alger, 2005, pp. 154.
- [17] A.Rougeulle, "Des étuves à dattes à bahrain et en oman: Le problème de l'appaiton des techniques de transformation de la datte,," *PAIEORIENT*, vol. 8, 1982.
- [18] A. Chehma, HF. Longo, and 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.
- [19] C. F. Benziouche Salah Eddine, "La Conduite du Palmier Dattier Dans les Palmeraies des Zibans (Algérie) Quelques éléments d'analyse," *European Journal of Scientific Research*, vol. 42, pp. 644-660, 2010.
- [20] R. A.-J. H.H. Abdel-Rahman, F.Ahmad, I. Alam, "Physical, mechanical and durability characteristics of date palm frond stalks as reinforcemet in structural concrete," *international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, vol. 10, pp. 175-181, 1988.
- [21] Ahmad Alawar, Ahmad M. Hamed, and K. Al-Kaabi, "Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement," *Composites: Part B 40*, pp. 601–606, 2009.
- [22] Amina.Djoudi, Mohammed Mouldi.Khenfer, and A. Bali, "Etude d'un nouveau composite en plâtre renforce avec les fibres végétales du palmier dattier," *SBEIDCO - 1st International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) – October 12-14, 2009*.



Etude préliminaire du bois de palmier dattier



Dans le cadre de cette étude qui est consacrée à l'étude préliminaire du bois de palmier dattier, ce chapitre est composé de deux parties. La première partie est dédiée au processus de séchage. Nous présentons dans cette partie, la cinétique de séchage, le protocole expérimental et les résultats obtenus au cours de ce procédé. Dans la deuxième partie, on s'intéresse aux mesures expérimentales des propriétés thermophysiques du bois de palmier et à la présentation des résultats obtenus. Afin de montrer les performances thermiques de notre matériau étudié, nous allons également comparer ses propriétés à celles d'autres matériaux connus dans la littérature.

I. Cinétique de séchage

I.1. Matériau utilisé

Dans cette étude de séchage, deux parties du palmier ont été étudiées: le pétiole et le rachis. Les échantillons appartenant à trois variétés de palmiers dattiers: El -Ghers, Deglet-Nour et Mech-Degla.

Variétés	Parties	éch.	l (mm)	L (mm)	e (mm)	m (g)	ρ (kg.m ⁻³)
El-Ghers	pétiole	1	44.83	89.25	5.58	18.2780	818.5
		2	45.51	120.47	5.50	26.6100	882.4
		3	43.83	119.75	5.01	21.8540	831.1
	rachis	4	21.22	93.81	3.81	7.4660	984.4
		5	21.67	103.54	3.62	7.0285	865.3
		6	21.46	120.04	3.75	6.8665	710.8
Mech-Degla	pétiole	7	45.23	63.92	5.55	13.7430	856.5
		8	45.17	54.35	5.71	12.4140	885.5
		9	43.83	67.97	5.45	14.3490	883.7
	rachis	10	29.47	99.85	4.43	12.3790	949.6
		11	29.78	119.80	3.93	13.1900	940.7
		12	29.13	120.47	4.38	15.5200	1010
Deglet-Nour	pétiole	13	45.64	121.02	5.75	31.7640	1000
		14	42.01	121.05	5.01	27.4340	1077
		15	45.82	121.45	5.42	26.2970	871.9
	rachis	16	45.00	45.03	4.63	8.4289	898.4
		17	44.75	44.99	4.29	8.3183	963.1
		18	27.77	119.39	4.15	13.4980	981.0

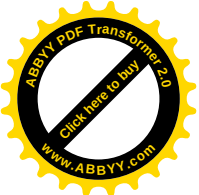


Tableau. IV.1: Les dimensions, les masses volumiques et les masses initiales des échantillons de palmier.

Les dimensions (la largeur l , la longueur L et l'épaisseur e), les valeurs de la masse et de la masse volumique des échantillons avant le séchage sont présentés dans le tableau IV.1.

I.2. Protocole expérimental

Le processus de séchage a été réalisé, au sein du laboratoire LPEA et en collaboration avec le laboratoire pédagogique de chimie, dans un four électrique à des températures suivantes: 30°C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C jusqu'à la stabilisation de la masse des échantillons. Le temps de séchage pour chaque essai est 24 heures. Le suivi de la masse est effectué par pesée sur une balance électronique du laboratoire pédagogique de physique avec une erreur de 0.1 mg. Ainsi, l'évolution du volume des échantillons est suivie en mesurant leurs dimensions (la longueur L , la largeur l , l'épaisseur e , en mm) en utilisant un pied à coulisse numérique avec une précision de 0.02mm.

I.3. Résultats et discussion

I.3.1. Résultats

Les courbes de séchage des différentes variétés de palmier sont présentées dans les figures IV.1-6. Dans ces figures, on présente l'évolution de la masse et de perte de masse des échantillons en fonction de la température. La perte de masse, la quantité d'eau extraite du produit étudié, est calculée en utilisant la relation suivante pour chaque essai:

$$\Delta m(\%) = \frac{m_{avant} - m_{après}}{m_{avant}} \times 100 \quad (IV.1)$$

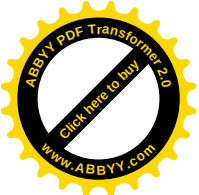
Où m_{avant} : la masse avant le séchage, $m_{après}$: la masse après le séchage.

Les valeurs de la masse volumique des différents échantillons sont obtenues par pesée et en mesurant les dimensions de chaque échantillon et en utilisant la relation suivante:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (IV.2)$$

M , est la masse de l'échantillon (en kg). V , est le volume de l'échantillon (en m^3) et donné par:

$$V(m^3) = L \times l \times e \quad (IV.3)$$



Les variations de la masse volumique en fonction de la température sont présentées dans le tableau IV.



Variétés	Parties	$\rho(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$							
		Ech.	Avant le séchage	30°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
El-Ghers	pétiole	1	818.7±5.9	795.5±5.7	758.9±5.6	732.1±6.7	542.6±5.9	536.8±5.8	534.1±5.8
		2	882.4±6.5	845.1±6.2	836.7±6.2	664.7±6.1	480.9±4.5	466.5±4.7	433.1±4.5
		3	831.1±6.7	649.7±5.3	590.7±5.5	454.9±5	439.2±4.9	438.7±5	436.3±5
	rachis	4	984.4±10.0	980.4±10.6	933.6±10.8	797.8±11	714±10.8	713.9±10.8	708.4±11
		5	865.3±9.7	847.4±9.7	787.1±9	773.6±10.6	561.6±8	561.5±8	559.9±8
		6	710.8±7.7	661.4±7.6	659.3±7.6	400.1±4.7	399.7±4.9	391.9±4.8	390.6±4.8
Mech-Degla	pétiole	7	856.5±6.2	851.1±6.3	823.4±7	732.1±9	654.6±8	643.3±8	641.4±8
		8	885.5±6.3	875.1±6	865.2±6	752.5±6.5	685.8±7.9	657.5±7.7	657.1±7.7
		9	883.7±8.6	850.0±7.2	837.6±7.9	724.2±8.7	642.1±9	624.8±9	619.5±9
	rachis	10	949.6±6.5	933.2±6.4	894.7±6.6	861.9±7.0	737±7.9	724.6±7.7	714.7±11
		11	940.7±8.6	934.3±8.7	927.9±9	748.1±12.7	741.6±11	730.5±11	730.4±9.8
		12	1010±9.6	940.4±9.8	931.9±10.6	869.5±11.7	844.9±12.7	830.2±12.7	824.6±12.8
Deglet-Nour	pétiole	13	1000±9.33	987.9±9.4	967.7±9.8	778.3±14	776.1±7.2	765.4±14	763.5±14.5
		14	1077±6.5	857.7±6.6	851.0±5.8	696.3±5.7	694.9±4.9	690.2±4.8	689.5±5
		15	871.9±7	869.5±6.8	793.9±6.9	631.7±7.1	469.0±9.3	466.6±9.1	463.6±9.2
	rachis	16	898.4±9	736.3±9.4	718.6±10	559.6±11	521.8±9.9	521.8±9.9	521.7±9.6
		17	963.1±7.8	961.7±7	961.4±7	902.2±7.7	697.3±7.8	690.8±7.8	690.5±7.8
		18	981±9.5	979.7±9.7	967.2±10	902.1±12	812.4±12.8	807.2±12.9	807.0±12.9

Tableau. IV. 2: Les variations de la masse volumique des échantillons de palmier lors le séchage.

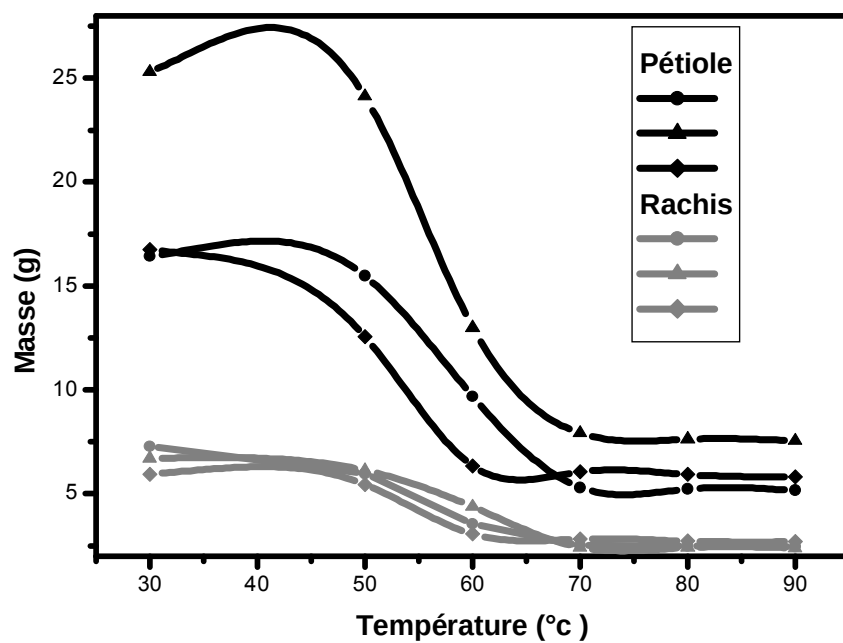


Figure.IV.1: L'évolution de la masse des échantillons d'El-Ghers en fonction de la température.

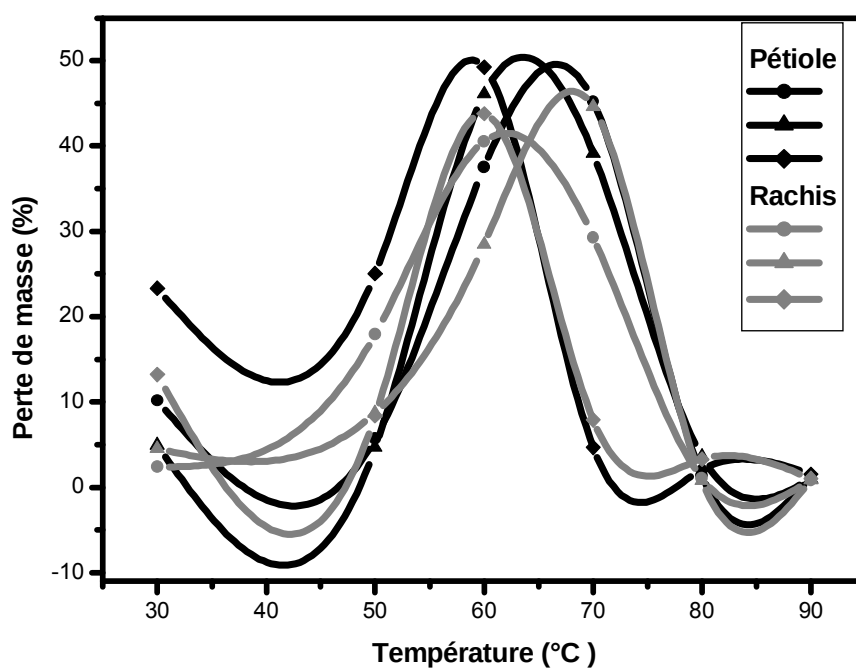


Figure.IV.2: Les variations de la perte de masse des échantillons d'El- Ghers en fonction de la température.

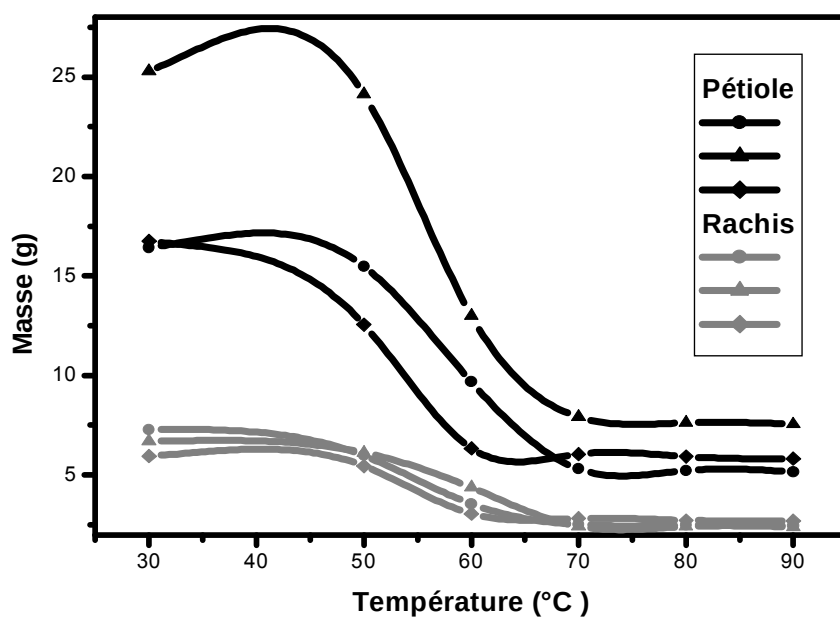


Figure.IV.3: L'évolution de la masse des échantillons de Deglet- Nour en fonction de la température.

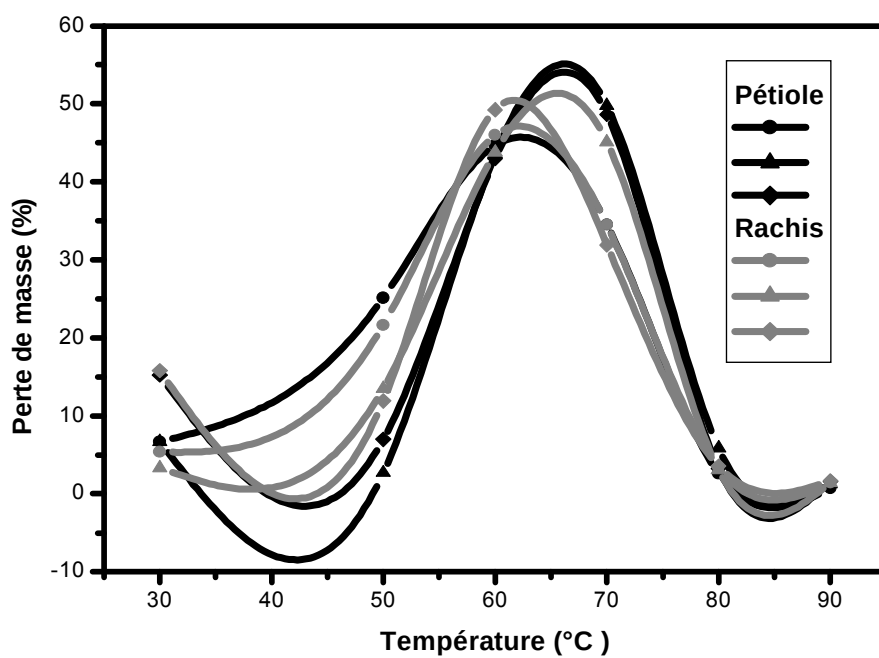


Figure.IV.4: Les variations de la perte de masse des échantillons de Deglet-Nour en fonction de la température.

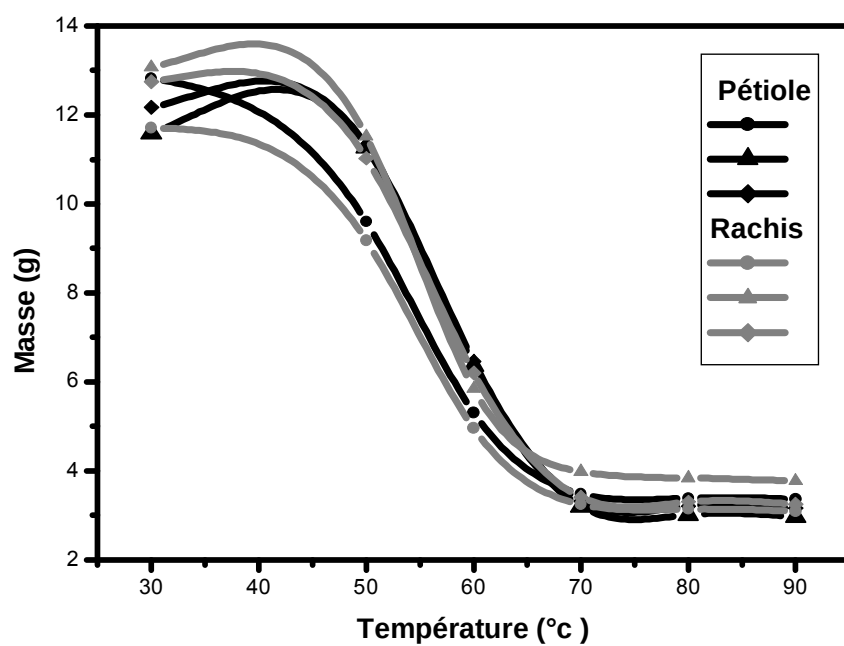


Figure.IV.5: L'évolution de la masse des échantillons de Mech-Degla en fonction de la température.

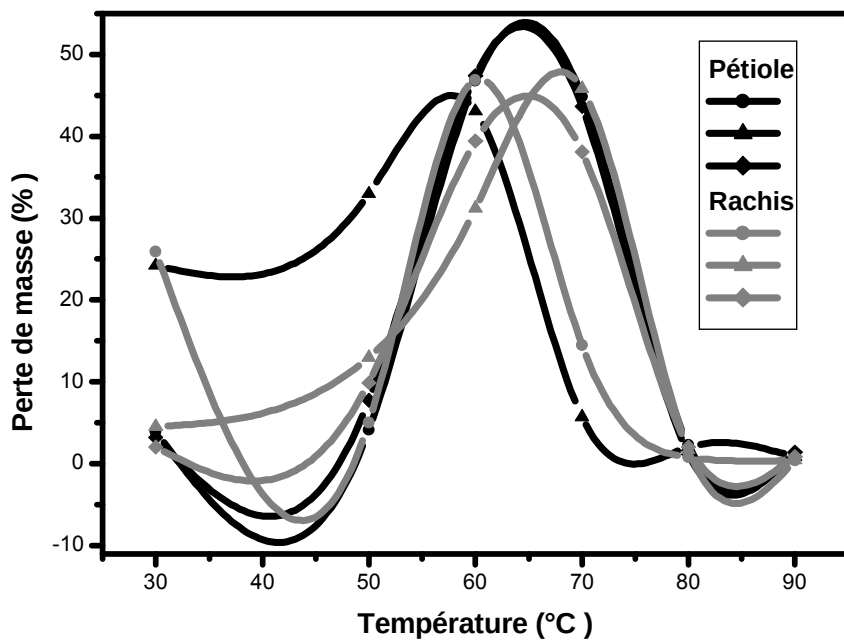
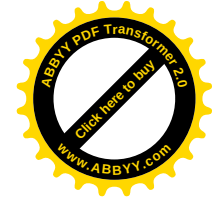


Figure.IV.6: Les variations de la perte de masse des échantillons de Mech-Degla en fonction de la température.



I.1.3.2. Discussion

Les courbes de variation de la masse en fonction de la température montrent clairement que la masse diminue lorsque la température augmente à cause des pertes en eau.

Pour la variété d'El- Ghers, la stabilité de la masse commence à la température 70°C pour quelques échantillons. Les autres échantillons stabilisent à partir de 60°C.

Tous les échantillons des variétés de Mech Degla et de Deglet Nour commencent à se stabiliser à partir de la température de 70°C.

Dans les figures (IV.2-IV.4-IV.6), on observe que la perte de masse est maximale à la température de 60°C pour certains échantillons et à la température de 70°C pour d'autres échantillons. Puis, elle diminue avec l'augmentation de la température. Cette observation est similaire pour toutes les variétés: El-Ghers, Mech Degla, Deglet Nour,

Le pourcentage de la perte de masse maximale pour chaque variété est présenté dans le tableau IV.3. En effet, à une température de 70°C (ou 60°C), le séchage parvient à éliminer la grande quantité de la teneur en eau libre du bois.

Dès 80°C à 90°C, la perte de masse est très faible, sa variation est peu significative; elle est inférieure à 1% à la température de 90°C pour un grand nombre d'échantillons (voir le tableau IV.3). On peut dire que les échantillons de différentes variétés atteignent la teneur en eau minimale à la température de 90°C.

On observe des variations de pertes de masse entre les échantillons de même partie et entre les parties (pétiole, rachis) de même variété. Ainsi que, on observe des variations de la perte de masse entre les variétés.

Ces différences de la perte de masse (ou de stabilisation de masse) entre les variétés ou les échantillons de même variété peuvent être interprétés par les variations de taux de l'humidité et des épaisseurs des échantillons.

Variétés		Perte de masse maximale (%) (60°C ou 70°C)	Perte de masse minimale (%) (90°C)
El-Ghers	pétiole	45.22	1.27
		46.09	0.97
		49.4	1.55
	rachis	40.54	0.85
		44.51	0.90
		43.79	1.04
Mech-Degla	pétiole	44.67	0.71
		49.77	1.26
		48.64	1.62
	rachis	45.98	1.43
		45.10	1.46
		49.26	1.68
Deglet Nour	pétiole	46.81	1.19
		43.07	0.82
		47.44	1.47
	rachis	46.86	0.42
		45.86	0.45
		38.10	0.93

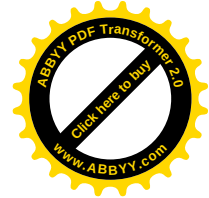
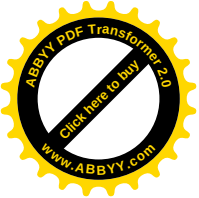
Tableau IV.3: Les pertes de masse maximale et minimale des échantillons.

Le tableau IV.2 montre que la masse volumique de tous les échantillons diminue en fonction de la température sous l'influence de la perte de l'eau.

En plus, les variations d'humidité entraînent un changement du volume (des variations dimensionnelles).

Dans le tableau IV.4, on présente les propriétés du produit final; à la fin de séchage.

En comparaison les résultats de tableaux IV.1, avec les résultats de tableaux IV.4, la masse et les dimensions des échantillons diminuent jusqu'à des valeurs minimales à la fin de séchage.



Variétés	Parties	Ech.	<i>l</i> (mm)	L(mm)	e(mm)	m(g)
El-Ghers	pétiole	1	31.31	83.38	3.70	5.1595
		2	32.01	118.64	3.88	7.5513
		3	32.43	118.08	3.46	5.8313
	rachis	4	14.10	91.72	2.61	2.46505
		5	15.69	100.70	2.70	2.3885
		6	17.87	118.74	3.26	2.7018
Mech-Degla	pétiole	7	26.99	119.97	3.35	3.3639
		8	28.92	118.86	3.04	2.9719
		9	30.42	120.36	3.71	3.1564
	rachis	10	29.49	44.15	2.88	3.0915
		11	43.20	44.20	2.67	3.2496
		12	18.06	118.87	2.50	3.7725
Deglet-Nour	pétiole	13	26.23	63.07	3.17	8.2823
		14	25.57	51.87	3.41	7.2658
		15	17.18	62.00	2.22	6.7656
	rachis	16	16.38	98.73	2.55	2.6598
		17	16.38	118.60	2.29	2.5175
		18	16.88	118.36	2.29	4.3314

Tableau.IV.4: Les dimensions et les masses des échantillons à la fin de séchage.

II. Caractérisation thermophysique du bois de palmier

II.1. Mesure des propriétés thermophysiques

II.1.1. Préparation des matériaux étudiés

Dans cette étude, deux parties du palmier dattier ont été étudiées ; le pétiole et la grappe. Les échantillons de bois de palmier ont été découpés dans six arbres différents provenant de l'oasis de Biskra en Algérie et appartenant à quatre variétés de palmiers dattiers: Deglet-Nour, Mech-deglet, Elghers et Dhokar. La figure IV.7 présente les différentes parties du palmier étudiées (pétiole, grappe).

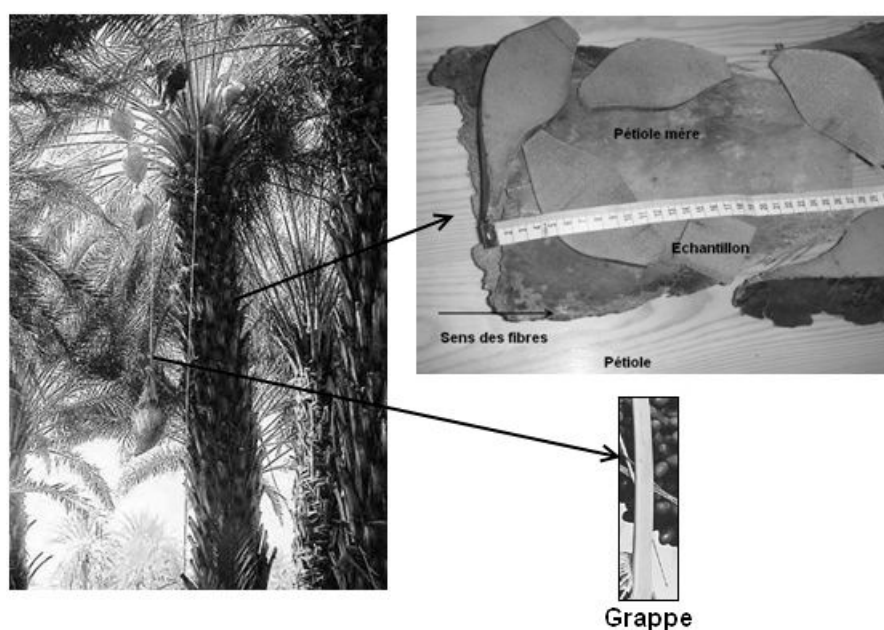


Figure.IV.7 : Palmier dattier (à gauche) ; Différentes parties du palmier étudiées (à droite).

Les échantillons utilisés sont découpés et rabotés sous forme d'un pavé parallélépipédique d'environ 5mm d'épaisseur et de 44mm de côté. Pour certains échantillons, deux configurations ont été étudiées: dans la première, les fibres sont parallèles avec l'axe des deux grandes faces de l'échantillon (parallèles au flux thermique). Dans la deuxième configuration, les fibres sont perpendiculaires à l'axe et au flux thermique (voir la figure IV.8). Pour les autres échantillons, seule la deuxième configuration a été étudiée.

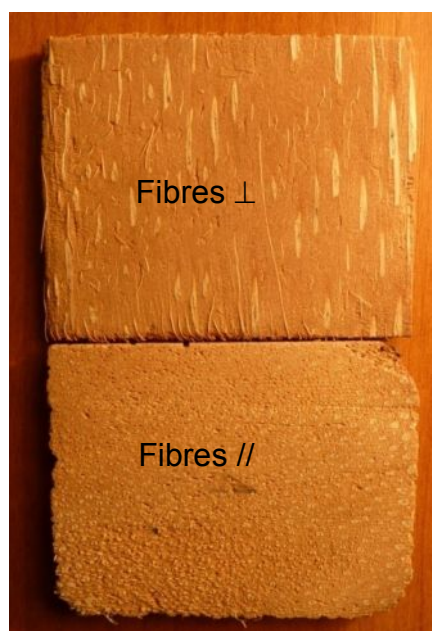


Figure. IV. 8: Deux échantillons type avec orientations // et $\perp$ des fibres.

II.1. 2. Méthode de mesure

Les mesures des propriétés thermophysiques des échantillons ont été réalisées par le Docteur B.AGOUDJIL au sein du laboratoire CERTES de l'université paris 12 en France. Ma contribution personnelle réside dans l'utilisation d'un logiciel spécifique pour identifier la conductivité thermique (k), la diffusivité thermique (a) et dans l'analyse des résultats obtenues.

Le banc de mesure DICO du laboratoire CERTES permettant la mesure simultanée de la conductivité thermique (k) et la diffusivité thermique (a), a été utilisé [1]. Le schéma du dispositif expérimental est présenté sur la figure IV.9.

Le principe de la mesure est basé sur l'excitation thermique périodique d'un bloc comprenant un échantillon pris entre deux plaques métalliques. Une mesure de la température est effectuée sur les plaques avant et arrière à l'aide de thermocouples de type K. Les thermocouples sont positionnés au milieu de chacune des deux plaques métalliques. A partir de ces deux mesures, la fonction de transfert thermique du matériau est calculée.

Les paramètres, la conductivité thermique (k) et la diffusivité thermique (a), sont identifiés par la méthode inverse en utilisant le logiciel sous Matlab.

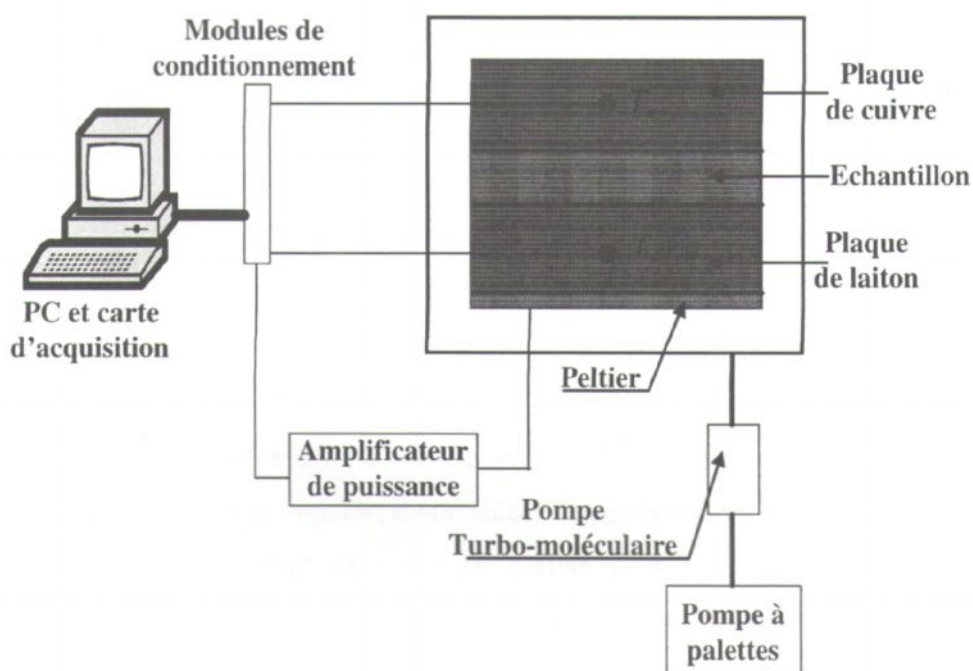


Figure.IV.9. Dispositif expérimental de mesure de propriétés thermo physiques (DICO).

II.1.3. Résultats et discussion

II.1.3.1. Résultats

Les valeurs de la masse volumique et des propriétés thermiques (la conductivité thermique (k), la diffusivité thermique (a)) identifiées de différents échantillons sont présentées dans le tableau IV.5 avec les incertitudes statistiques associées. Les incertitudes des propriétés thermiques sont obtenues directement par Matlab lors de l'identification.

Les valeurs de la masse volumique des différents échantillons sont obtenues après l'étude des propriétés thermiques en pesant et en mesurant les dimensions de chaque échantillon.

Partie du palmier	Variété de palmier	Sens des fibres	Réf.	e (mm)	ρ (kg.m ⁻³)	K (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	a ($\times 10^{-7}$ m ² .s ⁻¹)
Pétiole 'P'	Deglet-nour 1	//	PDN1 _{//}	4.6	254 $\pm$ 1	0.084 $\pm$ 0.003	3.31 $\pm$ 0.31
	Deglet-nour 1	$\perp$	PDN1	4.5	276 $\pm$ 2	0.083 $\pm$ 0.003	2.29 $\pm$ 0.20
	Deglet-nour 2	//	PDN2 _{//}	5	200 $\pm$ 2	0.084 $\pm$ 0.003	3.29 $\pm$ 0.27
	Deglet-nour 2	$\perp$	PDN2	4.45	195 $\pm$ 2	0.072 $\pm$ 0.003	2.85 $\pm$ 0.32
	Deglet-nour 3	$\perp$	PDN3	3.3	210 $\pm$ 1	0.066 $\pm$ 0.003	2.39 $\pm$ 0.31
	Deglet-nour 4	$\perp$	PDN4	3	173 $\pm$ 2	0.058 $\pm$ 0.004	2.87 $\pm$ 1.66
	Mech-deglet	$\perp$	PMD	4.4	187 $\pm$ 1	0.073 $\pm$ 0.003	3.13 $\pm$ 0.49
	Elghers	$\perp$	PG	4.2	206 $\pm$ 1	0.072 $\pm$ 0.002	2.76 $\pm$ 0.24
	Dhokar	$\perp$	PDH	4.5	245 $\pm$ 1	0.077 $\pm$ 0.003	2.52 $\pm$ 0.38
Grappe 'G'	Deglet-nour 3	$\perp$	GDN3	4.35	389 $\pm$ 4	0.085 $\pm$ 0.004	1.91 $\pm$ 0.21
	Mech-deglet	$\perp$	GMD	5	388 $\pm$ 3	0.084 $\pm$ 0.005	2.07 $\pm$ 0.30
	Elghers	$\perp$	GG	5	341 $\pm$ 3	0.074 $\pm$ 0.004	2.29 $\pm$ 0.30
Tronc 'T'	Deglet-nour 4	//	TDN4 _{//}	3	760 $\pm$ 8	0.168 $\pm$ 0.005	1.92 $\pm$ 0.42
	Deglet-nour 4	$\perp$	TDN4	3	760 $\pm$ 8	0.126 $\pm$ 0.010	1.77 $\pm$ 1.37
	Ftimi	//	TF _{//}	4.5	355 $\pm$ 4	0.144 $\pm$ 0.007	4.81 $\pm$ 1.36
	Ftimi	$\perp$	TF	4.5	355 $\pm$ 4	0.103 $\pm$ 0.005	2.53 $\pm$ 0.43
	Rtoub	$\perp$	TR	5.5	332 $\pm$ 3	0.102 $\pm$ 0.005	4.37 $\pm$ 1.90

Tableau IV.5: Liste des échantillons et propriétés mesurées; les données des échantillons de tronc 'T' et de PDN4 sont tirées de la littérature [2] pour la comparaison.

Dans le tableau IV.5, les échantillons PDN1 et PDN2 ont été découpés de deux palmes différentes d'un même palmier dattier. Les échantillons PDN3 proviennent d'autre arbre.

II.1.3.2. Discussion

Selon les résultats qui sont présentés dans le tableau IV.5, il y a des variations de masse volumique entre les échantillons pour une variété ou une partie donnée du

palmier. Cependant, les masses volumiques les plus faibles sont obtenues pour les échantillons de pétiole. Les masses volumiques des échantillons de la grappe sont proches de celles d'échantillons de tronc (Ftimi et Rtoub) et sont environ 1.5 fois plus importantes.

Généralement, la masse volumique de tronc (variété Deglet-Nour) est élevée en comparaison avec les autres parties que nous avons étudié (pétiole, grappe).

Pour mieux visualiser les résultats obtenus, on présente les valeurs expérimentales de conductivité thermique dans la figure IV.10.

Les parties renouvelables de l'arbre (pétiole et grappe) possèdent une conductivité thermique plus faible que le tronc du palmier. Compte tenu de la masse volumique élevée du tronc de palmier par rapport aux autres parties, il semble que le taux de porosité de la grappe et du pétiole est supérieur à celui du tronc. Donc, elles sont légères, comparées à ce dernier.

Des variations significatives de conductivité thermique sont observées pour des échantillons de pétiole provenant de la variété de palmier Deglet-nour (voir les barres noires figure IV.10). Ces différences sont supérieures à celles observées par comparaison avec des pétioles prélevés sur les autres variétés et même par comparaison avec les valeurs obtenues pour des échantillons de grappe.

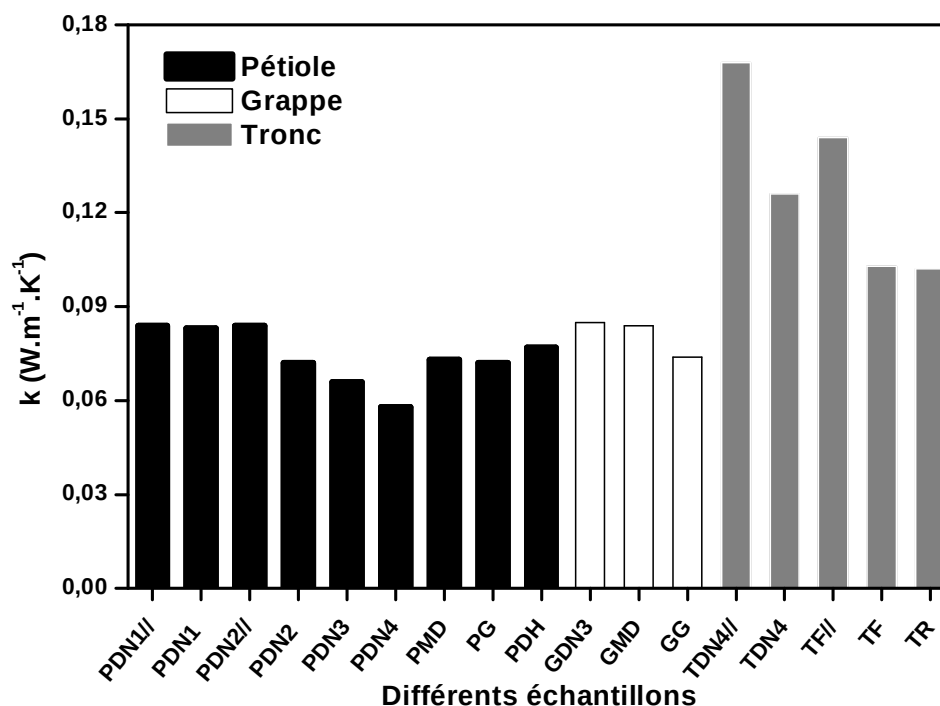
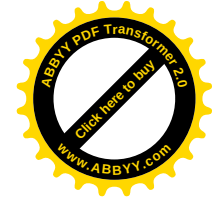


Figure.IV.10. Les conductivités thermiques de différentes parties de palmier dattier.



Pour les pétioles, l'effet de l'orientation des fibres sur la conductivité thermique est peu significatif en comparaison avec l'effet observé sur les échantillons de tronc. Ces variations de la conductivité thermique observées peuvent être expliquées par des différences de taux d'humidité des échantillons.

Une comparaison entre les propriétés de l'échantillon le moins isolant (grappe) et les propriétés de quelques isolants naturels a été réalisée et présentée dans la figure IV.11. Les valeurs de la conductivité thermique et de la masse volumique sont normalisées aux valeurs moyennes obtenues pour les échantillons de la grappe (la valeur de référence égale à 1).

La figure IV.11 montre que les parties renouvelables du palmier dattier présentent une conductivité thermique proche de celle du sisal, mais cette valeur est supérieure à celle d'autres isolants (comme le liège). D'autre part, elle est inférieure à la conductivité thermique de chanvre et de Banane.

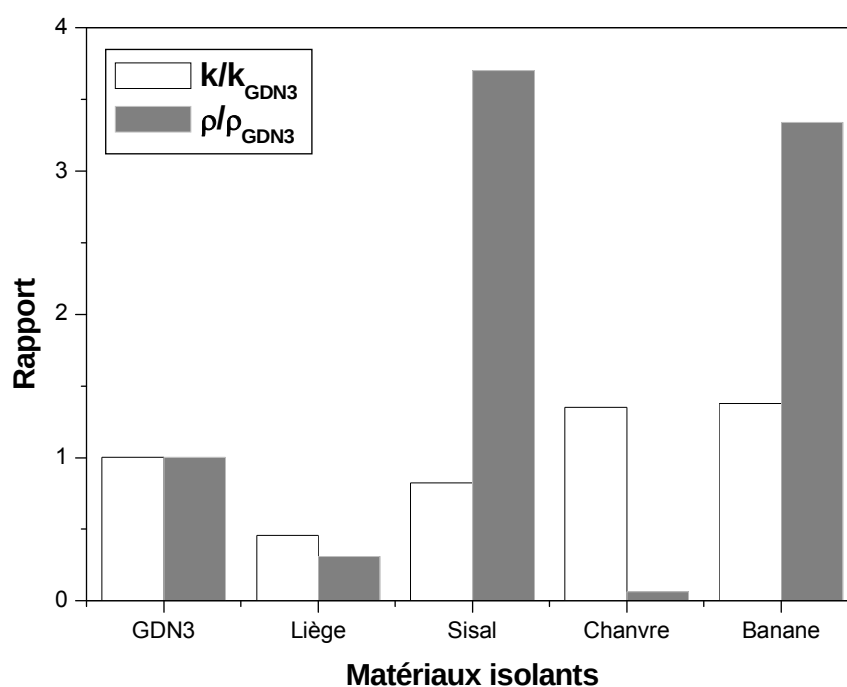
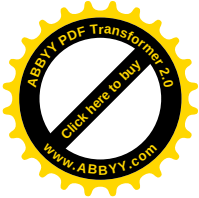
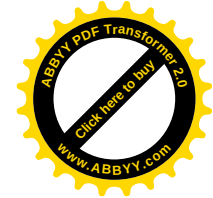
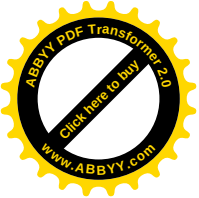


Figure.IV.11. Comparaison entre la conductivité thermique et la masse volumique de plusieurs matériaux isolants: les propriétés de sisal, chanvre, liège et de banane sont tirées de la littérature [3, 4,5].



La masse volumique de la grappe est plus inférieure à celle de banane et de sisal mais elle n'est pas loin de la masse volumique d'autres isolants tels que le liège, le chanvre.

Selon cette comparaison (la figure IV.11), on peut constater que la grappe a des bonnes propriétés d'isolation thermique (conductivité thermique faible, légèreté).

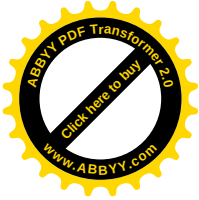
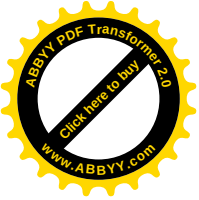


III.4. Conclusion

Ce chapitre présente les résultats des essais de séchage et d'une étude expérimentale du comportement thermophysique du bois de palmier.

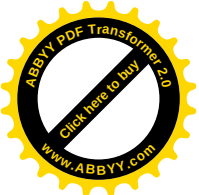
Les résultats de séchage montrent que pour une température de 90 °C, les échantillons peuvent atteindre la teneur en eau minimale où la variation de l'humidité de ces échantillons avec l'environnement n'est pas significative. Ils tendent vers l'équilibre avec l'air ambiant. La stabilité de masse de matériau est l'un des propriétés d'usage dans le domaine de l'isolation thermique, en plus des propriétés thermiques, mécaniques,...etc.

Les résultats des propriétés thermophysiques ont montré que les parties renouvelables de palmier dattier (pétiole, grappe) sont les plus isolantes et les plus légères, comparées avec le bois du tronc. L'effet de l'orientation des fibres sur la conductivité thermique n'est pas considérable. En outre, la comparaison de la conductivité thermique et de la masse volumique du matériau étudié à plusieurs isolants naturels a permis de mettre en évidence les performances du bois de palmier dans le domaine de l'isolation thermique.

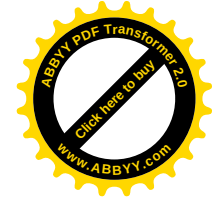
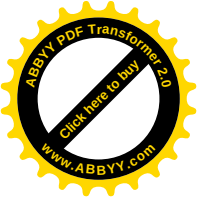


Références

- [1] A. Boudenne, L. Ibos, E. Gehin, and Y. Candau, "A simultaneous characterization of thermal conductivity and diffusivity of polymer material by a periodic method," *Jornal of physics D: Applied Physics*, vol. 37, pp. 132-139, 2004.
- [2] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, M. Tlijani, L. Ibos, and R. B. Younes, "Experimental investigation on thermal properties of date palm fibres and their use as insulating materials," *Global Conference on Global Warming*, pp. 216-222, Istanbul, 5- 9 juillet 2009.
- [3] G. Kalaprasad, P. Pradeep, G. Mathew, C. Pavithran, and 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*, vol. 60, pp. 2967-2977, 2000.
- [4] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*: USA: John Wiley & Sons, 2007.
- [5] T. Behzad and M. Sain, "Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites," *Polymer Engineering and Science*, vol. 47, pp. 977-983, 2007.



Conclusion générale et perspectives



Ce travail présente les résultats préliminaires d'une étude expérimentale du comportement thermophysique du bois de palmier (*Phoenix dactylifera* L.). L'étude présentée dans ce document représente une première étape d'un projet global qui vise la conception et le développement de nouveaux matériaux composites principalement adaptés à l'isolation thermique dans le domaine du bâtiment.

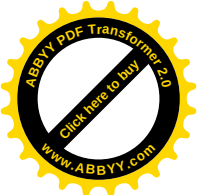
Comme l'étude bibliographique l'a montré, la structure et la composition chimique des matériaux naturels affecte leurs propriétés physiques (comme les propriétés mécaniques, thermique,...). En outre, les différents constituants des matériaux naturels (bois, fibres, liège de certaines arbres,...) peuvent être exploités dans plusieurs applications industriels; l'automobile, géotextile, les matériaux de construction et d'isolation thermique. Par ailleurs, des études antérieures montrent que le bois du palmier dattier est un matériau utilisable dans le domaine industriel et dans le domaine du bâtiment.

La cinétique du séchage a permis conclure que:

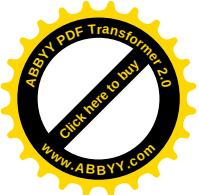
- Le séchage élimine une grande quantité d'eau du bois de palmier à une température d'environ de 60°C ou 70 °C, selon la variété de bois, pendant 24 heures.
- A une température de 90°C, le bois s'équilibre avec l'environnement où la perte d'eau est peu importante et la stabilité des masses des échantillons est obtenue.

Les résultats de ce travail expérimental ont montré aussi que les parties renouvelables du palmier dattier (pétiole et grappe) sont les plus isolantes et les plus légères. L'effet de l'orientation des fibres sur la conductivité thermique n'est pas significatif. Par ailleurs, la comparaison de la conductivité thermique et de la masse volumique du matériau étudié à plusieurs isolants naturels permet de mettre en évidence les performances du bois de palmier dans le domaine de l'isolation thermique.

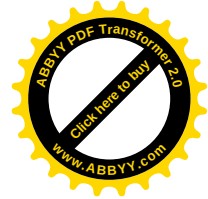
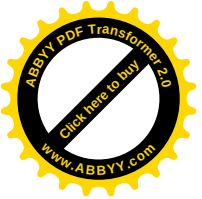
Néanmoins, il est apparu qu'une étude de l'influence de l'humidité sur les propriétés thermophysiques du bois de palmier est nécessaire. Ceci doit être complété par :



- 1) Une étude de la morphologie et du taux de porosité de ce type de bois,
- 2) Caractériser le comportement mécanique (traction, compression, flexion) et acoustique du matériau,
- 3) Elaboration des matériaux composites à base du bois de palmier et d'autres matériaux locaux pour profiter des propriétés de chaque composant afin de construire un isolant qui sera mieux adapté à l'isolation thermique.



Annexes



Annexe 1

Tableau 1: L'évolution des dimensions des échantillons en fonction de la température.

variétés	parties	éch.	Avant le séchage			30°C			50°C			60°C			70°C			80°C			90°C		
Ghers	pétiole	1	44,83	89,25	5,58	44,73	83,91	5,5	44,4	83,86	5,48	35,92	83,63	4,4	31,52	83,52	3,71	31,43	83,49	3,71	31,31	83,38	3,7
		2	45,51	120,47	5,5	45,38	120,35	5,48	44,53	119,64	5,41	37,27	119,53	4,39	34,21	119,08	4,29	31,96	118,67	4,31	32,01	118,64	3,88
		3	43,83	119,75	5,01	43,79	119,7	4,92	41,68	119,4	4,27	32,99	119,08	3,55	32,72	118,89	3,54	32,47	118,67	3,5	32,43	118,08	3,49
	rachis	4	21,22	93,81	3,81	21,13	93,54	3,76	19,9	93,24	3,45	16,44	93,11	2,91	14,11	92,37	2,7	14,07	92,35	2,68	14,1	91,72	2,61
		5	21,46	120,04	3,75	21,14	119,98	3,55	19,87	118,99	3,5	18,8	118,86	3,43	17,91	118,78	3,32	17,88	118,76	3,28	17,87	118,74	3,26
		6	21,67	103,54	3,62	21,61	103,49	3,54	21,53	103,28	3,5	18,58	102,97	2,96	15,73	100,77	2,73	15,72	100,76	2,71	15,69	100,7	2,7
Deglet-N	pétiole	7	42,01	121,05	5,01	41,76	120,91	4,8	30,64	122,84	4,35	29,5	120,66	3,2	28,94	119,94	3,1	28,93	119,89	3,06	28,92	119,86	3,04
		8	45,82	121,45	5,42	45,69	121,07	5,29	44,93	121,13	5,43	36,64	120,8	4,41	31,79	120,75	3,86	31,74	120,73	3,84	30,42	120,36	3,71
		9	45,64	121,02	5,75	45,55	120,84	5,61	44,95	120,81	5,56	37,59	121,09	4,39	27,05	120,9	3,38	27	119,99	3,38	26,99	119,97	3,35
	rachis	10	44,75	44,99	4,29	44,69	44,95	4,11	42,9	44,91	3,73	36,2	44,51	3,27	29,52	44,18	2,83	29,5	44,16	2,81	29,49	44,15	2,88
		11	45	45,03	4,63	44,92	44,95	4,2	44,89	44,94	4,09	44,75	44,45	2,83	43,22	44,22	2,7	43,21	44,2	2,68	43,2	44,2	2,67
		12	27,77	119,39	4,15	27,71	119,36	4,08	26,67	119,3	3,87	22,54	119,05	2,98	18,12	118,94	2,55	18,08	118,89	2,52	18,06	118,87	2,5
Mech-D	pétiole	13	45,23	63,92	5,55	45,1	63,63	5,25	40,56	63,74	4,51	35,88	63,19	3,2	26,3	63,12	3,2	26,25	63,09	3,18	26,23	63,07	3,17
		14	45,17	54,35	5,71	44,72	53,04	5,58	44,68	53	5,5	34,25	53	4,66	25,61	52,61	3,46	25,59	52,31	3,42	25,57	51,87	3,41
		15	43,83	67,97	5,45	43,16	62,69	5,29	42,64	62,49	5,07	34,82	62,45	4,1	25,33	62,15	3,28	25,32	62,04	2,25	25,29	62	2,22
	rachis	16	29,47	99,85	4,43	29,05	99,55	4,34	26,65	99,69	3,86	21,06	99,63	2,74	17,22	98,77	2,59	17,19	98,74	2,55	17,18	98,73	2,55
		17	29,13	120,47	4,38	28,53	120,3	4,05	26,92	119,85	3,83	22,96	118,49	2,47	16,92	118,41	2,35	16,9	118,38	2,31	16,88	118,35	2,29
		18	29,78	119,8	3,93	29,67	119,74	3,84	28,37	119,66	3,5	26,98	119,49	2,57	16,44	118,75	2,35	16,4	118,64	2,32	16,38	118,6	2,29

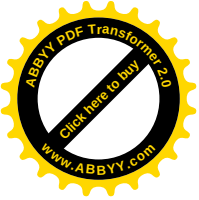
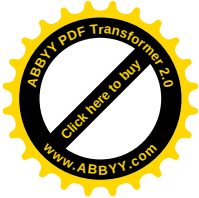
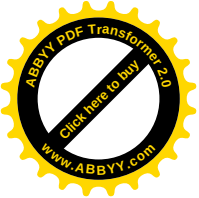


Tableau 2: L'évolution de la masse des échantillons en fonction de la température, la masse en g.

variétés	parties	éch.	Avant le séchage	30°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
Ghers	Pétiole	1	18.2782	16.4216	15.4848	9.6764	5.2999	5.2260	5.1595
		2	26.6095	25.2931	24.1163	13.0000	7.9133	7.6258	7.5513
		3	21.8543	16.7558	12.5539	6.3451	6.0482	5.9232	5.8313
	Rachis	4	7.4660	7.2861	5.9768	3.5538	2.5126	2.4863	2.4650
		5	7.0285	6.7092	6.1256	4.3810	2.4306	2.4103	2.3885
		6	6.8665	5.9560	5.4561	3.0667	2.8236	2.7302	2.7018
Deglet-N	Pétiole	7	13.7425	12.8225	9.6012	5.3118	3.4774	3.3880	3.3639
		8	12.4136	11.5821	11.2682	6.3662	3.1975	3.0101	2.9719
		9	14.3487	12.1669	11.3157	6.4571	3.3158	3.2086	3.1564
	Rachis	10	12.3787	11.7130	9.1752	4.9557	3.2466	3.1366	3.0915
		11	13.1900	12.7463	11.0261	6.1981	3.4026	3.2979	3.2496
		12	15.5197	13.0715	11.5164	5.8429	3.9783	3.8371	3.7725
Mech-D	Pétiole	13	31.7642	30.5070	29.2453	15.5532	8.5794	8.3821	8.2823
		14	27.4335	20.7894	13.9333	7.9319	7.4780	7.3260	7.2658
		15	26.2968	25.4444	23.4628	12.3307	6.9496	6.8666	6.7656
	Rachis	16	8.4289	6.2440	5.9293	3.1503	2.6930	2.6712	2.6598
		17	8.3183	7.9402	6.9090	4.7537	2.5736	2.5291	2.5175
		18	13.4980	13.2216	11.9093	7.2137	4.4651	4.3725	4.3314

Tableau 3: Les variations de la perte de masse en fonction de la température. La perte de masse en %.

variétés	parties	éch.	30°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
Ghers	Pétiole	1	10.15	5.70	37.51	45.22	1.39	1.27
		2	4.94	4.65	46.09	39.12	3.63	0.97
		3	23.32	25.07	49.25	4.67	2.06	1.55
	Rachis	4	2.40	17.96	40.54	29.29	1.04	0.85
		5	4.50	8.69	28.48	44.59	0.83	0.90
		6	13.26	8.39	43.79	7.92	3.30	1.04
Deglet-N	Pétiole	7	6.69	5.12	44.67	34.53	2.57	0.71
		8	6.69	2.71	43.50	49.77	5.86	1.26
		9	15.20	6.99	42.93	48.64	3.23	1.62
	Rachis	10	5.37	21.66	45.98	34.48	3.38	1.43
		11	3.36	13.49	43.79	45.10	3.07	1.46
		12	15.77	11.89	49.26	31.91	3.54	1.68
Mech-D	Pétiole	13	3.95	4.13	46.81	44.83	2.29	1.19
		14	24.21	32.97	43.07	5.72	2.03	0.82
		15	3.24	7.78	47.44	43.63	1.19	1.47
	Rachis	16	25.92	5.04	46.86	14.51	0.80	0.42
		17	4.54	12.98	31.19	45.86	1.72	0.45
		18	2.04	9.92	39.42	38.10	2.07	0.93



Annexe2

Calculs des incertitudes

(Avec la norme européenne $k = 2$)

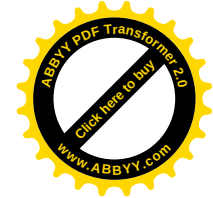
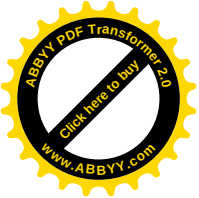
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{l \times L \times e}$$

$$\text{Pour la masse volumique : } u(\rho) = 2 \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{u^2(m)}{m^2} + \frac{u^2(L)}{L^2} + \frac{u^2(l)}{l^2} + \frac{u^2(e)}{e^2}}$$

L, l, e , sont la longueur, la largeur et l'épaisseur respectivement.

Avec les incertitudes absolues: $u(m) = 0.0001g$, $u(L) = u(l) = u(e) = 0.02mm$

Pour la conductivité et la diffusivité thermiques : On obtient leurs incertitudes directement par Matlab lors de l'Identification.



Abstract

The aim of this work is to propose a reflection both much applied but also fundamental on processes of thermal insulation in order to improve comfort conditions in building. The study has an investigative role of the various combinations of natural materials to obtain composites with optimal properties: (1) the materials used are renewable and abundant in nature, (2) ease of execution composites, (3) execution inexpensive, low coefficient of expansion, good mechanical strength and good resistance to thermal shock, thermal insulation, acoustic and fire resistant.

Résumé

L'objectif du travail est de proposer une réflexion à la fois très appliquée mais aussi fondamentale sur les procédés de l'isolation thermique dans le but d'améliorer les conditions de confort dans les bâtiments. L'étude porte sur l'investigation des différentes combinaisons de matériaux naturels afin d'obtenir des composites ayant des propriétés optimales : (1) les matériaux à utiliser sont des produits renouvelables et abondants dans la nature, (2) facilité de mise en œuvre des composites, (3) mise en œuvre peu coûteuse, faible coefficient de dilatation, bonne résistance mécanique et bonne résistance aux chocs thermiques, isolant thermique, acoustique et résistant au feu.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو اقتراح انعكاس على حد سواء جد تطبيقي لكن أيضا أساسي على عمليات العزل الحراري من أجل تحسين ظروف الراحة في المباني. الهدف من هذا العمل هو التحقيق في تركيبات مختلفة من المواد الطبيعية للحصول على مركبات ذات خصائص مثالية: (1) المواد المستعملة قابلة للتجدد و وفيرة في الطبيعة, (2) سهولة تنفيذ المركبات, (3) تنفيذ غير مكلف, انخفاض معامل التمدد, مقاومة ميكانيكية جيدة ومقاومة جيدة للصدمات الحرارية, العزل الحراري, الصوتي ومقاومة الحريق.