



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

ARIBI YACINE

Le : **mercredi 10 juillet 2019**

Etude de performance des fibres de palmiers dattiers utilisées dans un système de rafraîchissement de l'air chaud dans différentes conditions

Jury :

Mr	Ibrahim Nine	Dr	Université de Biskra	Président
Mr	Belhi Guerira	Dr	Université de Biskra	Encadreur
Mr	Mhamdi Djemouai	Dr	Université de Biskra	Examineur



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

ARIBI YACINE

Le : **mercredi 10 juillet 2019**

Etude de performance des fibres de palmiers dattiers utilisées dans un système de rafraîchissement de l'air chaud dans différentes conditions

Jury :

Mr	Ibrahim Nine	Dr	Université de Biskra	Président
Mr	Belhi Guerira	Dr	Université de Biskra	Encadreur
Mr	Mhamdi Djemouai	Dr	Université de Biskra	Examineur

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A ma source de bonheur

*Ma mère pour leur amour, leur bonté, leur sacrifice, leur
encouragements perpétuels, leur soutien.*

Puisse dieu prolonger leur vie dans le bonheur

Ma femme et Mes filles mariem et ranime hibat arahman et mes soeurs.

A toutes les personnes qui m'ont aidés dans mon travail et spécialement

Sellam Sadam houcine.

Tous mes amis de la promotion 2019.

ARIBI YACINE

Remerciements

Je veux remercier tout d'abord mon Dieu **Allah** tout puissant ;
Grâce à ces quelques lignes, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué au bon déroulement de ce travail ;

J'exprime toute ma profonde gratitude au Docteur **Belhi guérira**, mon directeur de mémoire, pour m'avoir fait confiance et puis pour sa patience, son suivi constant de ce travail et ses remarques et conseils précieux durant la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements au Doctorant **Sadam Houcine Sellam** pour son aide et ces conseils et également pour son soutien et ses encouragements indéfectibles.

Toute ma reconnaissance va au Professeur **Adel Benchabane** pour l'honneur qu'ils me font de bien vouloir accepter de participer au jury

Je suis extrêmement reconnaissant envers tout le group du hall mécanique de l'université de Biskra et de toute l'équipe de la faculté de science et de la technologie de me faire bénéficier de leurs expertises.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude à toute ma famille, mes frères et sœurs.

Enfin, j'aimerais aussi remercier mes chers amis, collègues et tous ceux et celles qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Tables des matières

Remerciements	
Tables des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur le bois et la structure du palmier dattier	
I.1. Introduction	4
I.2. Types des matériaux naturels.....	4
I.2.1. Plantes annuelles.....	4
I.2.2. Arbres.....	4
I.2.2.1. Tronc d'arbre.....	4
I.3 Le bois.....	5
I.3.1. Structure macroscopique du bois.....	6
- L'écorce	6
- Le Liber.....	6
- Le Cambium.....	6
- L'aubier.....	6
- Le Duramen.....	6
- La Moelle.....	6
I.3.2. Le plan ligneux des résineux et feuillus.....	7
I.4. Généralités sur le palmier dattier.....	8
I.4.1. Variétés de palmier dattier en Algérie.....	9
I.4.2. Etude morphologique du palmier dattier.....	10
I.4.3. Parties constituants du palmier dattier.....	11
I.4.3.1 Le tronc	11
I.4.3.2. La couronne.....	12

I.4.3.3. Palme.....	12
I.4.3.4. Fibres du palmier dattier.....	13
I.4.4. Sous-produits de palmier dattier et leurs applications.....	15
Chapitre II : Généralités sur la structure de fibre végétale	
II.1. Introduction	17
II.2. Les fibres naturelles.....	17
II.3. Classification des fibres naturelles	18
II.4. Fibres végétales.....	19
II.4.1. Définition de la fibre végétale	19
II. 4. 2. Structure de la fibre végétale.....	19
II.4.3. Morphologie de la fibre végétale.....	20
II. 4. 4. Composition chimique des fibres végétales.....	22
II. 4. 4. 1. Cellulose.....	22
II.4.4.2. Hémicelluloses	23
II. 4. 4. 3. Pectines.....	23
II. 4. 4. 4. Lignine.....	24
II. 4. 4. 5. Extractibles.....	24
II.4.5. Classification des fibres végétales.....	25
II.5. Synthèse des travaux réalisés sur le bois du palmier dattier.....	27

Chapitre III : Etude expérimentale et analyse de la performance des fibres

III.1.Introduction	34
III.2. L'objectif de travail	34
III.3. Dispositif expérimental.....	34
III.3.1. Description du banc d'expérimentation.....	34
III.3.2. Instruments de mesure utilisés.....	38
III.3.3. Facteurs climatiques mesurés.....	40
III.3.4. Description de l'expérimentation	41
III.4. Quelques Généralités sur l'air humide.....	42
III.4.1. Température sèche.....	43
III.4.2. Température humide.....	43
III.4.3. Température de rosée.....	43
III.4.4. Humidité absolue.....	43
III.4.5. Humidité relative.....	43
III.4.6.Enthalpie	44
III.4.7. Volume spécifique.....	44
III.4.8. Pression partielle.....	44
III.5.Diagramme de l'air humide.....	44
III.6. Analyse théorique de la performance thermique dans une interface des fibres végétales de palmier dattier (luffe).....	45

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction	50
IV.2. Climat de la ville de Biskra.....	50
IV.3. Résultats expérimentaux obtenus.....	50
IV.3.1. Effet des conditions ambiantes	51
IV.3.2. Effet de l'épaisseur de l'enceinte des fibres de palmier dattier.....	54
IV.3.3. Effet du débit massique de l'air	59
Conclusion générale	63
Références bibliographiques	65
Annexes	69

Liste des tableaux

Tab. I.1 : Différentes variétés de palmiers dattiers en Algérie	10
Tab. II.1 : Propriétés mécaniques des différentes fibres	18
Tab. II.2 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales.....	21
Tab. II.3 : Composition chimique de quelques plantes à fibres.....	25
Tab. II.4 : Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles	27
Tab. III.1 : Caractéristiques techniques des instruments de mesure.....	39
Tab. III.2 : Exemple d'un tableau des mesures.....	42
Tab. III.3 : Taux de renouvellement d'air (ACR) par heure pour différents Emplacements.....	47
Tab. III.4 : Groupes d'énergie d'un refroidisseur.....	47
Tab. IV.1 : Comparaison des performances du système de rafraîchissement à base. de fibres de palmier dattier.....	58

Liste des figures

Fig. I.1 : Structure de tronc d'arbre.....	5
Fig. I.2 : Structure d'un tronc présentant distinctement l'écorce et le bois	5
Fig. I.3 : Section transversale d'un tronc d'arbre.....	7
Fig. I.4 : Plan ligneux typique des résineux.....	8
Fig. I.5 : Plan ligneux typique des feuillus.....	8
Fig. I.6 : Schéma morphologique de palmier dattier.....	11
Fig. I.7 : le tronc de palmier dattier.....	12
Fig. I.8 : Le pétiole de palmier dattier.....	13
Fig. I.9 : Schéma d'une palme de palmier dattier.....	13
Fig. I.10 : Observation de la fibre de surface du tronc par (MEB).....	14
Fig. I.11 : Bois d'un pétiole du palmier dattier.....	14
Fig. I.12 : Observation de la fibre de Liffe du tronc par (MEB).....	15
Fig. II.1 : Structure du bois (observations multi échelles).....	19
Fig. II.2 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale.....	20
Fig. II.3 : Variation du diamètre le long de la fibre de lin.....	21
Fig. II.4 : Photographie en microscopie électronique à balayage d'une fibre de coton	22
Fig. II.5 : Représentation schématique de la hiérarchie de structure dans une fibre Cellulosique.....	23
Fig. II.6 : Exemple de défaut structural sur une fibre de lin.....	26
Fig. II.7 : Variation de la résistance moyenne en fonction de la longueur des fibres testée.....	28
Fig. II.8 : Variation du rendement du système de rafraichissement en fonction du temps.....	29
Fig. II.9 : La microstructure du bois du tronc (coupe transversale), avec différents grandissements (X10, X60 et X200).....	30
Fig. II.10 : La courbe de comportement de bois en traction.....	30
Fig. II.11 : Evolution de l'écart de température en fonction du temps.....	31
Fig. II.12 : Evolution de l'efficacité et de la chaleur échangée en fonction Ambiantes.....	31

Fig. III.1 : (a) Photographie du banc d'essais expérimental (b) Schéma du système de rafraîchissement par évaporation d'eau.....	35
Fig. III.2 : Ventilateur d'air réglable.....	35
Fig. III.3 : Fibres végétales de palmier dattier (luffe).....	36
Fig. III.4 : Enceinte d'évaporation à base de fibres végétales de palmier dattier.....	36
Fig. III.5 : Système d'arrosage de l'enceinte des fibres.....	37
Fig. III.6 : (a) Circuit d'arrosage d'eau; (b) Buses réglables.....	37
Fig. III.7 : Pompe d'eau.....	38
Fig. III.8 : Thermo-hygromètre du type Testo 625.....	40
Fig. III.9 : Thermo-anémomètre à hélice du type KIMO LV 110.....	40
Fig. III.10 : Carte d'acquisition de données NI 9217.....	40
Fig. III.11 : Le diagramme de l'air humide.....	45
Fig. IV.1 : Zones climatiques d'été et d'hiver en Algérie.....	50
Fig. IV.2 : Evolution de la différence de température en fonction du temps et deux journées typiques.....	51
Fig. IV.3 : Evolution de la différence d'humidité relative en fonction du temps et deux journées typiques.....	52
Fig. IV.4 : Evolution de la quantité d'eau consommée en fonction du temps et deux journées typiques	52
Fig. IV.5 : Evolution de la capacité de rafraîchissement en fonction du temps et deux journées typiques.....	53
Fig. IV.6 : Evolution de l'efficacité de rafraîchissement en fonction du temps et deux journées typiques.....	53
Fig. IV.7 : Evolution de la différence de température en fonction du temps et deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.....	55
Fig. IV.8 : Evolution de la différence d'humidité en fonction du temps et deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.....	55
Fig. IV.9 : Evolution de la quantité d'eau consommée en fonction du temps et deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.....	56
Fig. IV.10 : Evolution de la capacité du rafraîchissement en fonction du temps et deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.....	57
Fig. IV.11 : Evolution de l'efficacité de rafraîchissement en fonction du temps et deux. épaisseurs de l'enceinte des fibres.....	57
Fig. IV.12 : Evolution du rapport d'efficacité énergétique en fonction du temps et deux .	

	épaisseurs de l'enceinte des fibres.....	58
Fig. IV.13 :	Evolution de la différence de température en fonction du temps et du débit massique d'air.....	59
Fig. IV.14 :	Evolution de la différence d'humidité relative en fonction du temps et du débit massique d'air.....	60
Fig. IV.15 :	Evolution de la quantité d'eau consommée en fonction du débit massique d'air.....	60
Fig. IV.16 :	Evolution de la capacité du rafraichissement en fonction du temps et du débit massique d'air.....	61
Fig. IV.17 :	Evolution de l'efficacité du rafraichissement en fonction du temps et. du débit massique d'air.....	61
Fig. IV.18 :	Evolution de la température de sortie et du rapport ECE en fonction. du débit massique d'air.....	62

Nomenclature

T_e : La température intérieure	(°C)
T_s : La température extérieure	(°C)
Q_{ref} : La capacité de refroidissement	(w/m ²)
m_{air} : Le débit d'air	(kg/s)
C_p : Capacité spécifique de l'air	(kJ/kg.K)
ρ : La masse volumique de l'air	(kg/m ³)
V : La vitesse de l'air	(m/s)
ACR : Le taux de changement de zone	(l/hr)
L : Longueur	m
H : Largeur	m
T_h : la température du bulbe humide à l'entrée	(°C)
ε : Efficacité de refroidissement	(-)
EER : Le rapport d'efficacité énergétique	(-)
W : La consommation électrique à l'entrée de ventilateur	(-)
m_{eva} : Le taux d'évaporation	(kg/s)
W_s : Le taux d'humidité absolue à la sortie	(-)
W_e : Le taux d'humidité absolue à l'entrée	(-)
ECE : L'efficacité de refroidissement par évaporation	
W_P : La puissance électrique absorbée de pompe	(w/m ² k)
W_f : La puissance électrique absorbée de ventilateur	(w/m ² k)

Résumé

Le travail représente une étude expérimentale d'un système de rafraîchissement de l'air chaud par effet d'évaporation d'eau, l'objectif de notre étude est d'évaluer expérimentalement les performances thermiques de ce système de rafraîchissement de l'air chaud et sec par humidification, avec l'utilisation des fibres végétales de palmier dattier (luffe) comme des enceintes d'évaporation en plusieurs d'épaisseur, sous les conditions climatiques des zones arides et chaudes, cas de la région de Biskra. Pour cela, des campagnes de mesure seront entamées pour quantifier différents paramètres essentiels, telles que l'humidité relative, la température et le débit d'air, la température et la consommation d'eau.

Mots clés: Rafraîchissement de l'air chaud, Evaporation; Fibre de palmier dattier, Efficacité, Capacité.

Abstract

The work represents an experimental study of an evaporative cooling system; the objective of our study is to evaluate experimentally, the thermal performance of this system, with the use of date palm fibers (luff) as an evaporation pad in several thicknesses, under the climatic conditions of the arid and hot areas, the case of the region of Biskra. For this, measurement campaigns will be started to quantify various essential parameters, such as relative humidity, temperature and airflow, water temperature and water consumption.

Keywords: Air cooling, Evaporation; Date palm fiber, Efficiency, Capacity.

المخلص

يمثل العمل دراسة تجريبية لنظام تبريد الهواء الساخن من خلال تأثير تبخر الماء ، والهدف من دراستنا هو إجراء تقييم تجريبي للأداء الحراري لنظام تبريد الهواء الساخن. والجاف بواسطة الترطيب ، مع استخدام ألياف نبات النخيل (ليف) كحاويات للتبخر بسمك متغير، في ظل الظروف المناخية للمناطق الفاحلة والساخنة ، حالة منطقة بسكرة. لهذا الغرض، سيتم البدء في عمليات القياس لتحديد المعايير الأساسية المختلفة ، مثل الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة للهواء وتدفق الهواء ودرجة حرارة واستهلاك المياه.

كلمات البحث : تلطيف الهواء، التبخير، ألياف نخيل التمر، الكفاءة، القدرة.

Introduction générale

Introduction générale

La végétale, un des premiers matériaux plus utilisé par l'humanité, continue à avoir une grande importance et à être très largement utilisé dans plusieurs domaines (isolation, refroidissement, bâtiment, ameublement...etc). Si le bois de différents arbres a eu un très grand intérêt du point de vue étude et développement, ceci n'est pas le cas pour le bois du palmier dattier. Cette plante d'une générosité sans égale qu'a connu nos ancêtres et que nous continuons à reconnaître. Il se trouve que le palmier dattier n'est pas vraiment un arbre mais plutôt une plante primitive. En effet, le palmier englobe plusieurs constituants pouvant avoir des utilisations spécifiques (**Guettaf 2018**).

Notre travail se focalise sur l'évaluation des performances thermiques du système de rafraichissement de l'air chaud et sec par humidification, avec l'utilisation l'un des constituants de la plante du palmier dattier nommés fibres végétales de palmier dattier (luffe) comme des enceintes d'évaporation en plusieurs d'épaisseur, sous les conditions climatiques des zones arides et chaudes, cas de la région de Biskra. Pour cela, des campagnes de mesure seront entamées pour quantifier différents paramètres essentiels, telles que l'humidité relative, la température et le débit d'air, la température et la consommation d'eau à l'aide de différents outils de mesure pour obtenir les données nécessaires. On présente aussi dans ce travail l'effet expérimental des conditions ambiantes (humidité relative et température), du débit massique d'air, du temps de fonctionnement et d'épaisseur des fibres végétales (luffe) sur les performances thermiques du refroidisseur à évaporation.

Notre travail est présenté comme suit :

Dans le premier chapitre, un rappel général sur le bois et la structure du palmier dattier. La première partie est consacrée à la présentation des matériaux naturels, leurs types, leurs structures macroscopiques du bois, leurs plans ligneux des résineux et feuillus. Dans la deuxième partie, on présente quelques généralités sur la structure de palmier dattier.

Dans le deuxième chapitre, une synthèse sur les fibres végétales provenant principalement du palmier dattier. Cette synthèse est consacrée à la morphologie, la

Introduction générale

composition, la classification, et la caractérisation des fibres végétales. Suivi par une recherche bibliographique qui aborde quelques travaux de recherche menés par les différents chercheurs, sur les fibres végétales du palmier dattier.

Dans le troisième chapitre, une étude expérimentale qui introduit le dispositif expérimental et ses différentes compositions. Suivi par une formulation mathématique pour l'analyse des performances thermiques des fibres végétales de palmier dattier (luffe) utilisées dans cette étude.

Dans le quatrième dernier chapitre, les résultats obtenus ont été présentés sous forme de courbes et tableaux.

CHAPITRE I

Généralités sur le bois et la structure de palmier dattier

I.1. Introduction

Dans ce premier chapitre, nous présentons un rappel général sur le bois et la structure du palmier dattier. La première partie est consacrée à la présentation des matériaux naturels, leurs types, leurs structures macroscopiques du bois, leurs plans ligneux des résineux et feuillus. Dans la deuxième partie, on présente quelques généralités sur la structure de palmier dattier.

I.2. Types des matériaux naturels

Les matériaux naturels comportent trois lots essentiels, les matériaux d'origines végétales, animales ou minérales. Dans cette étude qui concerne les fibres végétales de palmier dattier, on peut distinguer deux types principaux :

I.2.1. Plantes annuelles

Plusieurs espèces peuvent être signalées : le chanvre, le lin, la jute, la ramie, le sisal, le coton,...etc. Leurs fibres sont classées en trois groupes selon leurs sources (**Guettaf 2018**) :

- ✓ Les fibres extraites des tiges des plantes (chanvre, ramie, jute, lin, kenaf, ...etc.).
- ✓ Les fibres dures issues des feuilles comme les feuilles de sisal, d'henequen, de l'abaca, de l'ananas, ...etc.
- ✓ Les fibres dérivant d'enveloppe de fruits et des graines (coton et noix de coco).

I.2.2. Arbres

On peut citer parmi les arbres: le palmier dattier, le pin, le hêtre, le chêne, le sapin, l'épicéa, le peuplier. La source des fibres issues des arbres peut être le tronc, les branches, les feuilles ou même les tiges des feuilles (**Benmansour 2011**).

I.2.2.1. Tronc d'arbre

Vu à l'œil, les composants essentiels du tronc de l'arbre sont : le bois (duramen, aubier), l'écorce (phloème: écorce interne, écorce externe) et une formation fine apparaît entre le bois et l'écorce nommée le cambium (voir Fig. I.1.). Celui-ci sert à produire les cellules du bois et de l'écorce (**Guettaf 2018 et Benmansour 2011**).

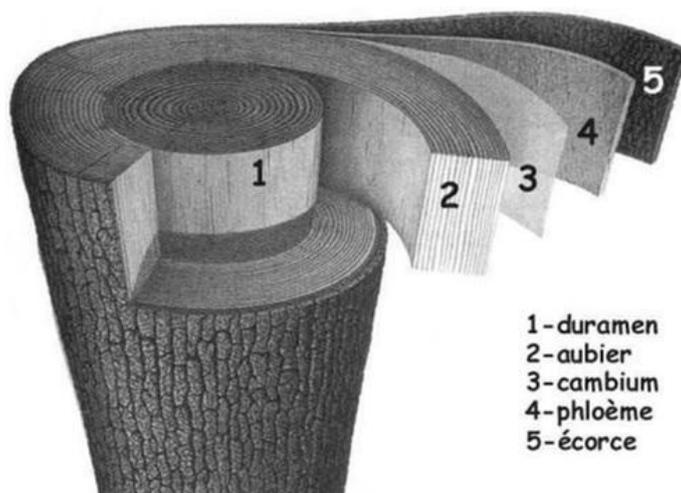


Fig. I.1. Structure de tronc d'arbre (Baali 2012).

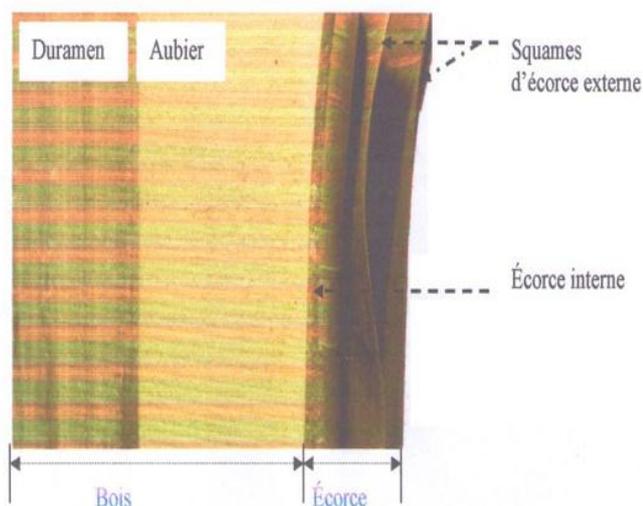


Fig. I.2. Structure d'un tronc présentant distinctement l'écorce et le bois (Baali 2012).

I.3. Le bois

Le bois, c'est une matière mixte formée par des fibres longues avec des caractéristiques mécaniques et thermiques intéressantes. Les propriétés diverses du bois lui fournissent des utilisations multiples (l'industrie du bâtiment, chauffage, isolation, rafraîchissement...etc.). La technologie facilite de profiter les caractéristiques du bois lui-même ou celles de ses composants (fibres, lignine, cellulose,...) (**Benmansour 2011**).

Par ailleurs, le bois est un matériau anisotrope, pour cela ces propriétés physiques varient selon la position choisie.

On peut distinguer dans le bois la direction longitudinale (L), tangentielle (T) et radiale (R).

I.3.1. Structure macroscopique du bois

Les éléments qui composent le tronc de l'arbre sont le bois, d'écorce et le cambium, qui est une couche mince positionnée entre les deux éléments précédents (Fig. I.2.). Le rôle du cambium est la genèse des cellules du bois et de l'écorce, donc il est le plus important de l'arbre.

Par conséquent, les cellules-mères concernées donnent naissance chaque année à des cellules filles par division cellulaire. Il sert à la création du liber et au bois d'aubier vers l'extérieur vers l'intérieur du tronc respectivement.

On peut distinguer aussi plusieurs zones (**Benmansour 2011**):

- ✓ **L'écorce**: Elle est constituée de cellules mortes, imperméable cependant elle laisse passer les gaz pour la respiration des cellules du cambium et de l'aubier.
- ✓ **Le liber**: Composé par des cellules mortes dans leur majorité. Les cellules du liber les plus proches du cambium lui munissent par la sève élaborée des feuilles par leurs canaux.
- ✓ **Le cambium**: C'est une couche mince de cellules mères qui assure la croissance de l'arbre. Il n'est visible qu'à l'aide de microscope.
- ✓ **L'aubier**: Ses cellules composantes soient mortes et vivantes sont des différentes proportions, en voie de dramatisation. Il amène la sève brute des racines aux feuilles.
- ✓ **Le duramen**: Il est constitué de cellules mortes qui ont achevé leur développement, sont soumis à une modification chimique et physique leur confère plus de durabilité naturelle. On le considère comme support de l'arbre ainsi appelé **Bois Parfait**.
- ✓ **La moelle**: Tissu représente l'axe d'arbre et se génère au premier stade de la croissance mais sa structure reste stable.

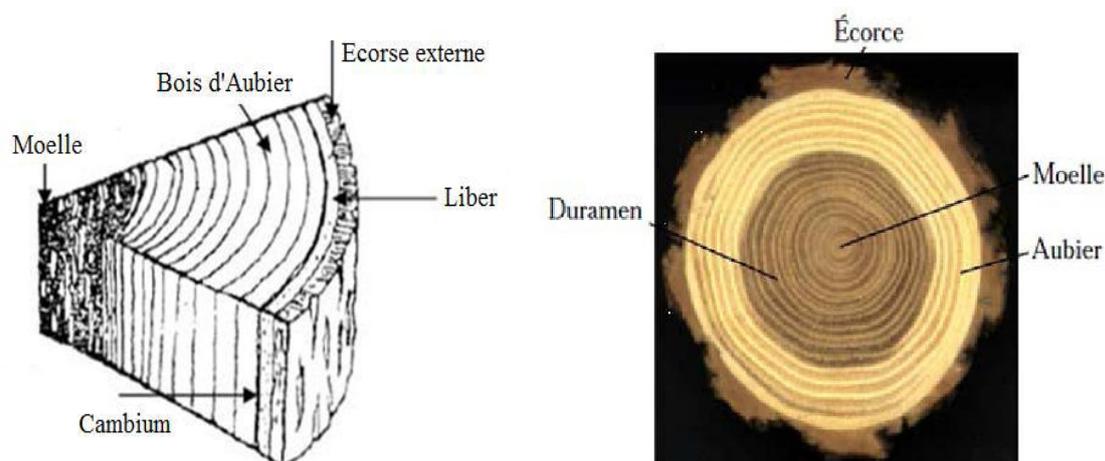


Fig. I.3. Section transversale d'un tronc d'arbre (Baali 2012).

I.3.2. Le plan ligneux des résineux et feuillus

Il y en a deux grands types des arbres : les gymnospermes (résineux ou conifères) et les angiospermes (feuillus). La structure anatomique des résineux est simple et constituée essentiellement de cellules longitudinales « les trachéides » (Fig. I.4.). Les trachéides du bois de printemps renferment fréquemment des points sombres facilitant la circulation de substances nécessaires.

Toutefois, la fonction des trachéides du bois d'été est définie pour le soutien grâce à l'épaisseur de leur paroi.

On retrouve aussi chez les résineux des cellules parenchymateuses en direction longitudinale et transversale qui sert un réservoir des aliments. Enfin, chez certains résineux on trouve des canaux résinifères en direction longitudinale, transversale ou les deux. Un aspect ligneux plus différencié apparaît chez les feuillus (Fig. I.5.).

Le tissu se forme généralement de nombre important de fibres dirigées axialement et joue un rôle de soutien.

Ces fibres ont une paroi plus épaisse que celles des trachéides. Selon les essences, l'épaisseur de la paroi varie et leur confère ainsi une densité caractéristique. Les vaisseaux assurent la fonction de conduction chez les feuillus. Le bois de pores diffusé désigne que ces vaisseaux ayant presque des tailles égales et sont distribués régulièrement dans le cerne, s'ils sont concentrés sur l'extrémité du cerne, on l'appelle le bois à zone initiale

poreuse. Également, les cellules parenchymateuses centrales et radiales jouent un rôle de stockage des nutriments (Guettaf 2018 et Benmansour 2011).

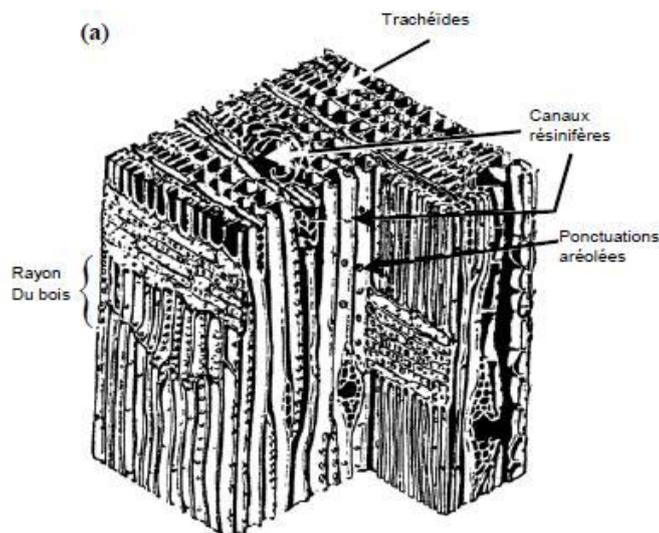


Fig. I.4. Plan ligneux typique des résineux (Benmansour 2011).

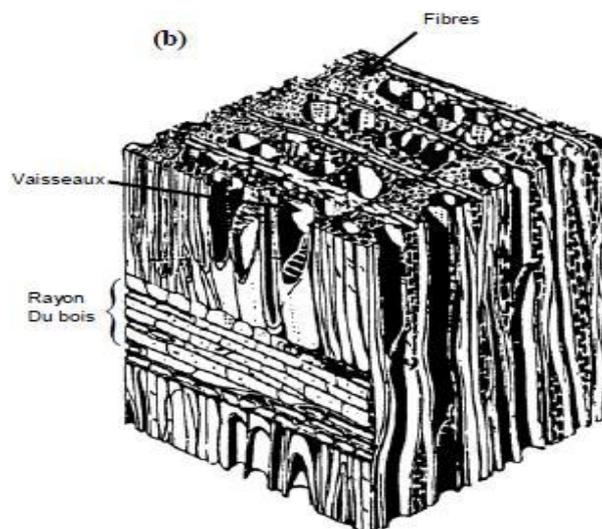


Fig. I.5. Plan ligneux typique des feuillus (Benmansour 2011).

I.4. Généralités sur le palmier dattier

Le palmier dattier ou dattier (*Phoenix dactylifera*) est un ancien arbre fruitier, cultivé dans le monde depuis des siècles rustique, s'acclimatant aux conditions maximales d'aridité dans le monde et représentant la source essentielle vitale de la population saharienne (Guettaf 2018).

La distribution de cette espèce est dans la région afro-asiatique, elle représente l'élément principal du système oasis, vu que sa bonne tolérance aux conditions climatiques, l'intérêt alimentaire de ses fruits et l'usage multiple de ses sous-produits. On distingue les deux sexes séparément avec palmiers mâles et femelles, donc le Phoenix est une plante dioïque.

Selon les chercheurs, le palmier dattier est une source de matières premières pour des applications industrielles. C'est dans cette logique que cette étude s'inscrit.

Le palmier comporte cinq types principaux du bois, celui de folioles, du rachis, du bois de tronc, de pétioles et de la grappe (**Benmansour 2011**).

I.4.1. Variétés de palmier dattier en Algérie

Selon la littérature, on peut distinguer plusieurs variétés de palmier dattier dont les plus répandues sont: Deglet-Nour, El-Ghers, Mech-Degla, Degla-Baida (**Benmansour 2011**). Les autres variétés sont présentées dans (Tab. I.1.).

Variétés	Nombre palmier dattier	Localisation
El Ghers	2.500.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, M'zeb, El Golia, Biskra(Tolga)
Deglet Nour	1.500.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, M'zeb, El Golia, Biskra(Tolga)
Mech degla	1.500.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, Biskra(Tolga)
Tilemson	500.000	Touat, El Boléa, Gourara, Tidikelt
Tin-Nacer	400.000	Touat, El Golia, Tidikelt
Degla Beida	300.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf
Tazerait	100.000	M'zeb, Tidikelt, Saoura
Tegaza	70.000	Touat, Tidikelt, El Golia ,Hoggar
Temjouhart	50.000	El Golia, Gourara, M'zeb
Takerbouch	42.000	Tidikelt, Touat
Tafezouine	35.000	M'zeb, Oued souf, Oud Righ
Tantebouch	10.000	Oud Righ, Ouargla, Tidikelt
Timedouel	8.000	M'zeb, El Golia

Tab. I.1. Différentes variétés de palmiers dattiers en Algérie (Guettaf 2018).

La région de Tolga (Biskra) connue comme l'une des régions à potentiel phoenicicole très important à l'échelle mondiale, surtout pour la variété de Deglet-Nour.

I.4.2. Etude morphologique du palmier dattier

Appartenant à la classe des monocotylédones, le palmier dattier à une anatomie distincte, il n'a pas de cambium (une couche mince apparaît entre le bois et l'écorce), alors que le bois de palmier a une structure et des propriétés bien définies et diffère de celle des autres arbres (Benmansour 2011).

Le palmier est par conséquent une herbe géante de 20 à 30 m de hauteur, à un tronc cylindrique (le stipe), basé sous une couronne de feuilles pennées, avec une longueur qui varie de 04 à 07 m. Il peut avoir des inflorescences mâles ou femelles.

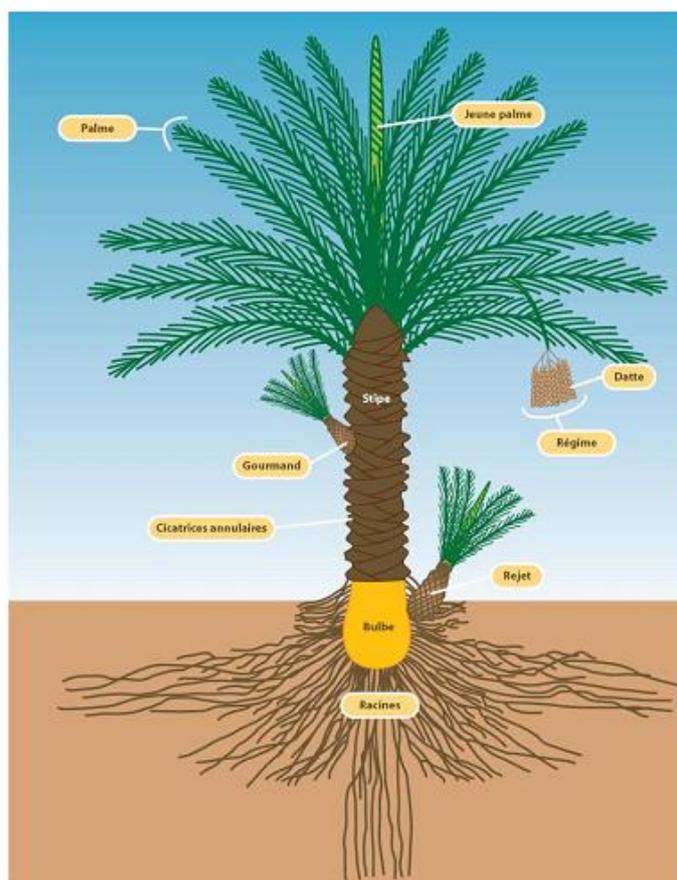


Fig. I.6. Schéma morphologique de palmier dattier (Masri 2018).

I.4.3. Parties constituantes du palmier dattier

Selon la littérature, les palmiers dattiers sont composés de :

I.4.3.1. Le tronc

Le tronc du palmier dattier est unique et coronaire sans rameau appelé Stipe. Ceci finit par un bourgeon terminal unique qui prolifère des feuilles appelées palmes (frondes), habituellement il est cylindrique. L'écorce, l'enveloppe extérieure, c'est seulement une extension de la base des pétioles des feuilles.

Les pétioles contenant des fibres formant un tissu qui diffère à celui au bois ordinaire. Ce tissu ressemble des couches des toiles d'araignées (ils sont placés les uns à coté des autres sans ordre). Le tronc est structuré par des fibres pétiolaires associées les

unes sur les autres de l'intérieur à l'extérieur. C'est pourquoi le bois est plus dur à l'extérieur qu'à l'intérieur (**Benmansour 2011**).



Fig. I.7. Le tronc de palmier dattier (Baali 2012).

I.4.3.2. La couronne

Toutes les palmes vertes sont appelées couronnes. Chez un palmier dattier mature, on peut trouver 50 à 200 palmes. Ces dernières sont reproduites par le bourgeon terminal ou « **Phyllophore** ».

I.4.3.3. Le palme

La feuille pennée ou la palme, appelée encore « **Djérid** » dont les folioles sont situées en ordre incliné usuellement le long du rachis étalant jusqu'au pétiole. Les épines sont les segments inférieurs convertis à partir de folioles, de nombre variable, et de longueur variable.

Le pétiole est encore nommé **Kornaf** est dur et relativement rigide (**Benmansour 2011**).



Fig. I.8. Le pétiole de palmier dattier (Masri 2018).

Le palmier dattier produit annuellement un ensemble de palmes par le mouvement de bourgeon et débarrasse un chiffre presque identique de palmes par dessèchement.

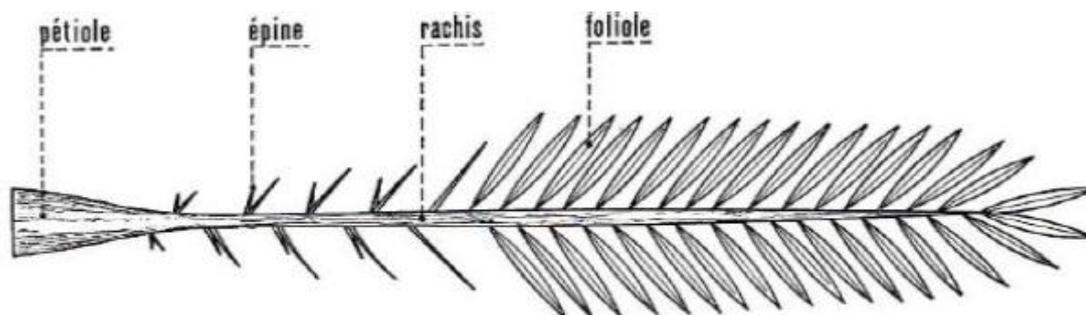


Fig. I.9. Schéma d'une palme de palmier dattier (Bourhanndine 2017).

I.4.3.4. Fibres du palmier dattier

La structure fibreuse du palmier dattier englobe quatre types de fibre:

- ✓ Fibres de bois de tronc;

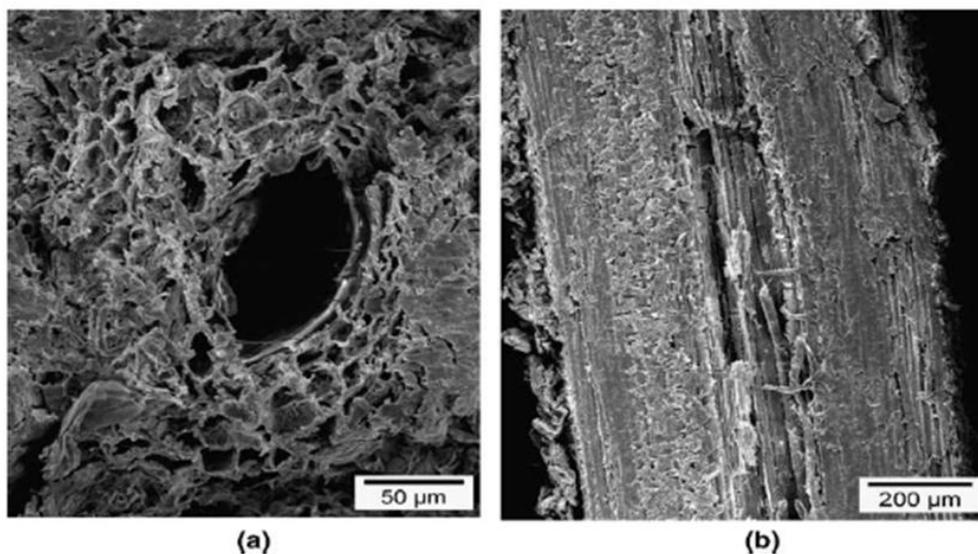


Fig. I.10. Observation de la fibre de surface du tronc par (MEB), a) coupe transversale et b) coupe longitudinale (Benmansour 2011).

- ✓ 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);



Fig. I.11. Bois d'un pétiole du palmier dattier (Benmansour 2011).

- ✓ Fibres de Liffe (entre les Kornaf, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le Liffe).



Fig. I.12. Observation de la fibre de Liffe du tronc par (MEB) (Agoudjil 2011).

I.4.4. Sous-produits de palmier dattier et leurs applications

Le palmier dattier est une source importante des autres sous-produits exploités par la production saharienne, hors de sa production de dattes pour l'alimentation humaine, par fermentation microbiologique des dates communes, on trouve le vinaigre, l'alcool et les levures:

- ✓ Farine de dattes utilisées dans la panification;
- ✓ Par extraction il existe le jus de dattes, utilisé comme sucrerie;
- ✓ Tronc d'arbre, exploité classiquement dans la menuiserie, bois de chauffage et charpentes de bâtiments;
- ✓ Pour les clôtures, brises du vent, dans la confection de couffins et de chapeau, les palmes sèches sont employées, celles-ci peuvent même servir en industrie de papier;
- ✓ Les régimes de dattes, comme balais traditionnels ou comme bois de chauffage;
- ✓ Le Liffe pour la fabrication des semelles de sandales ou pour le rafraichissement de l'air chaud;
- ✓ Boisson demandée certainement par la population locale, le lagmi, c'est la sève qui circule dans le stipe.

CHAPITRE II

Généralités sur la structure de fibre végétale

II.1. Introduction

Les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale, et dépendent du type de la fibre végétale et aussi les conditions de croissance. Ce chapitre présente une synthèse sur les fibres végétales provenant principalement du palmier dattier. La première partie est consacrée à la morphologie, la composition, la classification, et la caractérisation des fibres végétales. La deuxième partie est intéressée aux travaux de recherche menés par les différents chercheurs, sur les fibres végétales du palmier dattier.

II.2. Les fibres naturelles

Les fibres naturelles sont utilisées depuis 3000 ans dans plusieurs domaines surtout les composites, par exemple dans l'ancienne Égypte, la paille et l'argile étaient mélangées pour construire des murs. Au cours de la dernière décennie, nombreuses applications renforcées de fibres naturelles ont reçu une attention croissante, tant auprès du monde universitaire que de diverses industries. Il existe une grande variété de fibres naturelles qui peuvent être utilisées pour le renforcement, l'isolation, chauffage, rafraîchissement de l'air chaud ou comme des charges.

Sous le terme (fibres naturelles) se trouvent des fibres organiques, d'origine végétale (cellulosique) et animale (protéinique), et des fibres minérales telles que l'amiante.

Ces fibres sont biodégradables et renouvelables et très intéressantes. Il est certain que les fibres naturelles n'ont pas les mêmes propriétés mécaniques que les fibres artificielles mais elles demeurent très efficaces dans certaines applications spécifiques.

D'après le tableau (II.1.) qui présente quelques caractéristiques de ces fibres artificielles et naturelles, ces derniers se défendent très bien et peuvent même rivaliser avec les fibres artificielles (**Bendjema 2016**).

Fibres	Masse volumique (g/cm ³)	Diamètre (µm)	Module de traction (MPa)	Module de Young (GPa)	Elongation à la rupture (%)
Jute	1,3-1,45	20-200	393-373	13-26,5	7,1-8
Lin	1,5-3	-	45-1100	27,6	2,7-3,2
Chanvre	-	-	690	-	1,6
Ramie	1,5	-	400-938	61,4-128	1,2-3,8
Sisal	1,45	50,200	468-640	9,4-22	3,1-7
Palme	-	20-80	413-1627	34,5-82,51	1,6
Coton	1,5-1,6	-	287-800	5,5-12,6	7,1-8
Coir	1,15	100-450	131-175	4,1-6	15-40
Fibres de verre	2,5	-	2000-3500	70	2,5
Fibres d'acier	2,5	-	4570	86	2,8
Aramide	1,4	-	3000-3150	63-67	3,3-3,7
Fibres de carbone	1,7	-	4000	230-240	1,4-1,8

Tab. II.1. Propriétés mécaniques des différentes fibres (Bendjema 2016).

Dans certaines applications, comme par exemple en emballage, le but est d'avoir un matériau assez résistant mais qui ne soit pas nécessairement le meilleur dans la liste des fibres: avoir des propriétés mécaniques suffisamment bonnes tout en réduisant les coûts. C'est dans ce domaine que les fibres naturelles peuvent être beaucoup plus intéressantes que les fibres artificielles, puisqu'elles sont moins dispendieuses. Il y a également tous les aspects environnementaux dont il faut tenir compte. Les fibres naturelles ont habituellement un bilan net de CO₂ moins important que les fibres artificielles, elles consomment moins d'énergie, sont biodégradables et endommagent moins les appareils de mise en forme que la fibre de verre ou de carbone (Bendjema 2016).

II.3. Classification de fibres naturelles

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine. **Les fibres végétales** qui comprennent les fibres provenant des différentes parties de la plante (fibres de bois et les fibres agricoles). **Les fibres animales** qui proviennent des poils, telles que la toison animale, et des sécrétions telles que la soie. **Les fibres minérales** comme l'amiante.

II.4. Fibres végétales

II.4.1. Définition de la fibre végétale

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azotés, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante (Yahyaoui 2011).

II.4.2. Structure de la fibre végétale

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

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couches superposées dans le sens radial. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3) (Fig. II.1.).

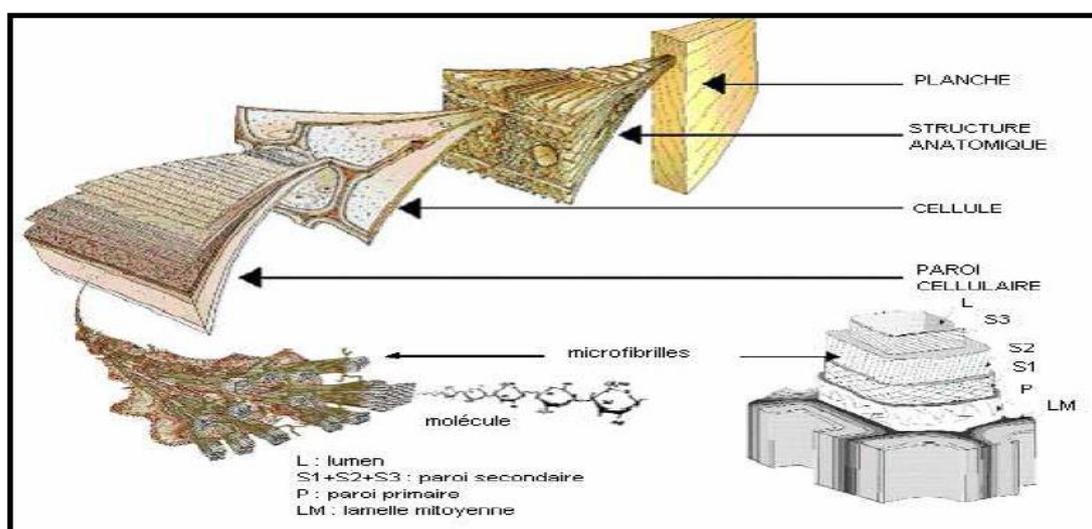


Fig. II.1. Structure du bois (observations multi échelles) (Yahyaoui 2011).

Les microfibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle microfibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des microfibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augmente.

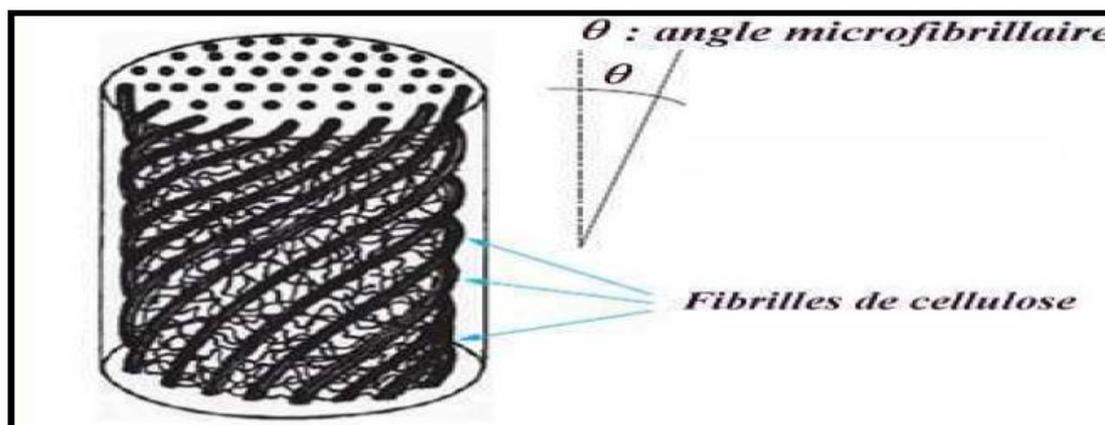


Fig. II.2. Modèle de description de la structure d'une fibre végétale (Bendjema 2016).

II.4.3. Morphologie de la fibre végétale

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale (Fig. II.3.).

La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles.

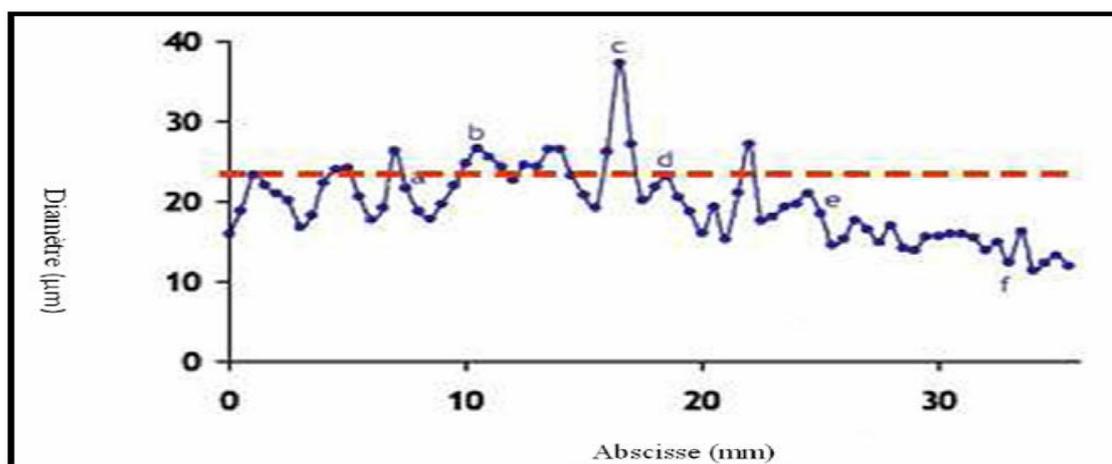


Fig. II.3. Variation du diamètre le long de la fibre de lin (Negoudi 2015).

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (µm)	Angle micro fibrillaire (°)	Référence
Coton	35	10-45	-	SAT 09
Lin	4-77	5-76	10	CHA 06
Chanvre	5-55	10-51	6.2	NEN 09
Kénaf	2.5-4.5	14-33	-	MIC 03
Jute	2.5	5-25	8	MIC 03
Sisal	900	8-50	20	SAT 09
Rami	900-1200	20-80	7.5	SAT 09
Noix de coco	03-1	12-24	45	CHA 06

Tab. II.2. Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales (Yahyaoui 2011).

La morphologie des fibres végétales peut constituer une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contrainte aux interfaces fibre-matrice. La figure (II.4.) présente à titre d'exemple la structure torsadée d'une fibre de coton.

D'autres fibres ont des morphologies, encore plus tourmentées. La géométrie des fibres végétales est donc un problème important et difficilement surmontable.

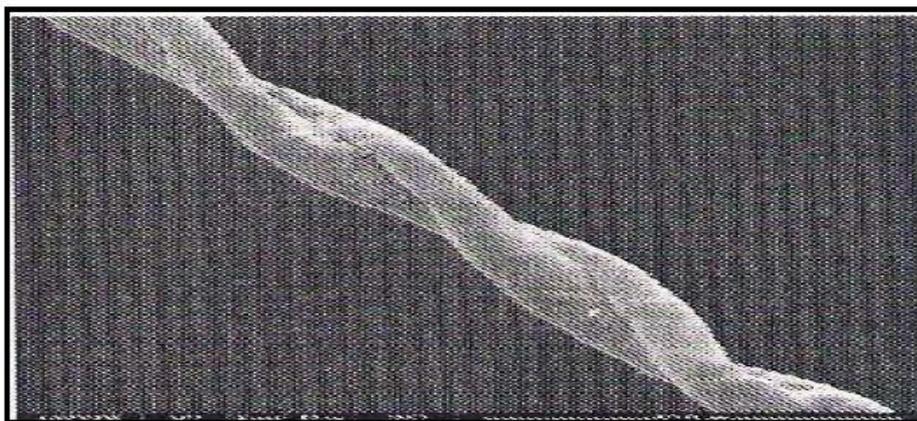


Fig. II.4. Photographie en microscopie électronique à balayage d'une fibre de coton (Benmansour 2011).

II.4.4. Composition chimique des fibres végétales

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Comme nous l'avons vu précédemment les composées les plus majoritaires sont la cellulose, l'hémicellulose, les pectines et les lignines. Ces différents constituants sont agencés de manière très complexe.

Dans le bois, la cellulose est le composant principal de toutes les fibres végétales, elle est concentrée à l'intérieur de la fibre et varie d'une fibre à une autre.

Les parois extérieures de la fibre sont composées principalement de lignines et d'hémicelluloses et les lamelles de jonction interfibrilles sont composées presque uniquement de lignine. Un réseau supplémentaire de pectines (polymères de polysaccharides acides) augmente la complexité de la matrice.

Le réseau polysaccharidique peut également être solidifié par un réseau secondaire de protéines HRGP (Hydroxyproline Rich Glyco Proteins).

II.4.4.1. Cellulose

La cellulose est le constituant principal de la masse végétale. Ce polymère linéaire de glucose présent est à l'état presque pur (>90 %) dans la fibre de coton. Il est aussi, avec de la lignine, l'un des constituants essentiels du bois (50 %).

Cet arrangement moléculaire ordonné des chaînes celluloses parallèles entre elles est la base d'un édifice cristallin que l'on appelle microfibrilles (Yahyaoui 2011).

La hiérarchie de structure et l'organisation supramoléculaire de la cellulose sont schématisées dans la figure (II.5.).

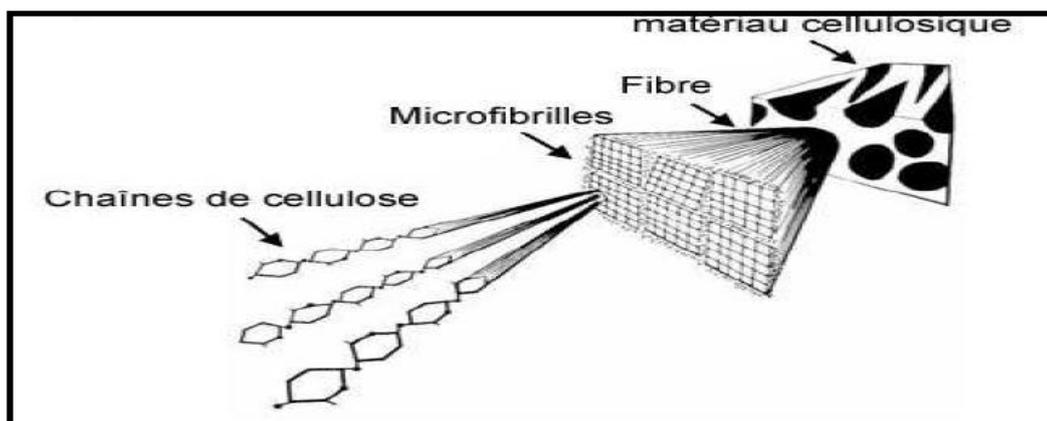


Fig. II.5. Représentation schématique de la hiérarchie de structure dans une fibre cellulosique (M. Laurent 2007).

II.4.4.2. Hémicelluloses

On désigne par hémicellulose tout polysaccharide soluble dans l'eau et pouvant être extrait de la paroi des cellules végétales par des solutions acides.

Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchements différents). Elles sont donc assez mal définies. Dans leurs états naturels, leur structure est fonction de l'espèce végétale. Elles ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300.

II.4.4.3. Pectines

Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 01 % dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux.

Les pectines portent aussi des substances non sucrées, essentiellement le méthanol, l'acide acétique, l'acide phénolique et parfois des groupes d'amide.

L'estérification des résidus d'acide galacturonique avec le méthanol ou l'acide acétique est une caractéristique qui joue un rôle très important sur les propriétés physicochimiques des pectines particulièrement sur la formation de gel (**M. Laurent 2007**).

II.4.4.4. Lignine

La lignine est après la cellulose, la matière organique renouvelable et la plus abondante à la surface terrestre. La lignine originelle ou « protolignine » constitue la plus importante fraction non saccharique des fibres végétales. C'est la matière « incrustante » de la cellulose.

La lignine est constituée de polymères phénoliques tridimensionnels, amorphes possédant trois unités différentes du type pénylopropane: les alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique (**M. Laurent 2007**).

II.4.4.5. Extractibles

Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules. Ils représentent 02 à 05 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques, d'où leur dénomination.

La composition en extractibles varie en fonction de l'essence considérée et influe sur la couleur et l'odeur. Il s'agit de tanins, de pectines, de sucre et d'autres composés (**M. Laurent 2007**).

Le tableau (II.3.) présente la composition chimique de quelques plantes à fibres.

Types de fibre	cellulose	hémicellulose	Lignine
Cotton	82.7	5.7	-
Jute	64.4	12.0	11.8
Zoster	57	28	5
Ramie	68.6	13.1	0.6
Sisal	65.8	12.0	9.9
Chanvre	57-77	14-17	9-13
Kénaf (écorce)	44-60.8	20.3-23	10-19
Kénaf (bois)	37-49	18-24	15-21
Résineux	48.0	15.0	25.3

Tab. II.3. Composition chimique de quelques plantes à fibres (Guettaf 2018).

II.4.5. Classification des fibres végétales

Selon le travail de (Guettaf 2018), les critères de différenciation des fibres sont:

- L'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (kénaf, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abaque, paille de graminée).
- Leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'oeuvre, les résidus de l'industrie du bois), et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine comme le kénaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin).
- Leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories: fibres longues, dites libériennes, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles, elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine, et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues (Yahyaoui 2011).

II.4.6. Propriétés mécaniques de la fibre végétale

Il est très difficile de présenter un tableau qui répertorie toutes les propriétés des fibres lignocellulosiques.

La grande variabilité constitutive et anatomique de la fibre végétale implique une variabilité de leurs propriétés mécaniques:

- ✓ La faiblesse de la masse volumique des fibres végétales (1,2 à 1,5 g/cm³) confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes.
- ✓ Les fibres longues ont des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, du fait que les premières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts de formation.
- ✓ La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé (90-137 Gpa), comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 Gpa, ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevé est indicateur de propriétés mécaniques élevées.

Les fréquents défauts structuraux (Fig. II.6.) observés de la surface des fibres sont des conséquences de la grande variabilité de morphologie, de composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres.

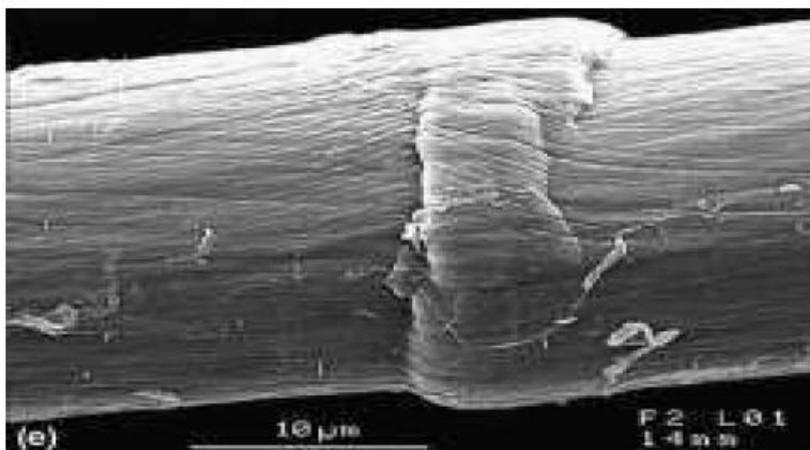


Fig. II.6. Exemple de défaut structural sur une fibre de lin (Yahyaoui 2011).

L'angle microfibrillaire explique en partie la déformation élastique de la fibre végétale et dès lors son allongement à la rupture en traction. En effet, sous l'action de forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible du fait de l'alignement progressif des microfibrilles cellulosiques avec l'axe de la fibre et une déformation élasto viscoplastique des polymères amorphes.

Si la sollicitation de la fibre est plus forte, la déformation de celle-ci entre dans une phase irréversible qui peut se poursuivre jusqu'à la rupture. Un angle micro fibrillaire élevé suppose une déformation élastique plus importante pour une sollicitation de la fibre en traction faible.

Le tableau ci-dessous (II.4.) présente les propriétés mécaniques des fibres naturelles par rapport à certaines fibres de renforcement conventionnelles.

Fibre	Densité (g/cm ³)	Allongement(%)	Résistance à la traction (Mpa)	Module de Young (Gpa)
Coton	1.5-1.6	7.0 - 8.0	287-597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5 - 1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7 - 3.2	345-1035	27.6
Chanvre	–	1.6	690	–
Ramie	–	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	1.5	2.0 - 2.5	511-635	6.4-22.0
Coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
Verre E	2.5	2.5	2000-3500	70.0
Verre S	2.5	2.8	4570	86.0
Aramide	1.4	3.3 - 3.7	3000-3150	63.0-67.0
Carbone	1.4	1.4 - 1.8	4000	230.0-240.0

Tab. II.4. Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles (*Bendjema 2016*).

II.5. Synthèse des travaux réalisés sur le bois et les fibres

Nombreux travaux de recherche ont été faites, menés par les différents chercheurs sur le bois et les fibres végétales des palmiers dattiers, afin de caractériser leurs propriétés mécaniques, thermiques et d'évaluer les performances d'utilisation de ces fibres végétales dans plusieurs domaines ou applications de construction, d'isolation, de rafraîchissement de l'air chaud, de chauffage, des composites et de renforcement.

En 2011, Yahiaoui a réalisé un travail de contribution expérimentale pour l'élaboration et la caractérisation d'un nouveau matériau composite à matrice cimentaire renforcée par les fibres végétales de Diss. L'analyse chimique a révélé que les fibres de

Diss sont constituées principalement de cellulose, Hémicellulose pectine et de lignine. L'auteur a testé des fibres brutes de différentes longueurs utiles afin d'étudier le comportement mécanique de renforts. Ces derniers présentent un comportement fragile et que plus les longueurs testées des fibres augmentent leur résistance diminuée. L'analyse physique a permis de montrer que le traitement rend la fibre moins dense et plus poreuse. Les résultats montrent aussi que le traitement alcalin par la soude et le traitement thermique éliminent les sucres circulants à la surface des fibres et dégradent les hémicelluloses, ce qui permet d'augmenter la rugosité des fibres; cela résulte une amélioration des propriétés mécaniques du composite. Ces composites possèdent une grande souplesse ainsi qu'une plus grande résistance en flexion que le ciment seul, caractéristiques très intéressantes pour certaines applications du bâtiment (**Yahiaoui 2011**).

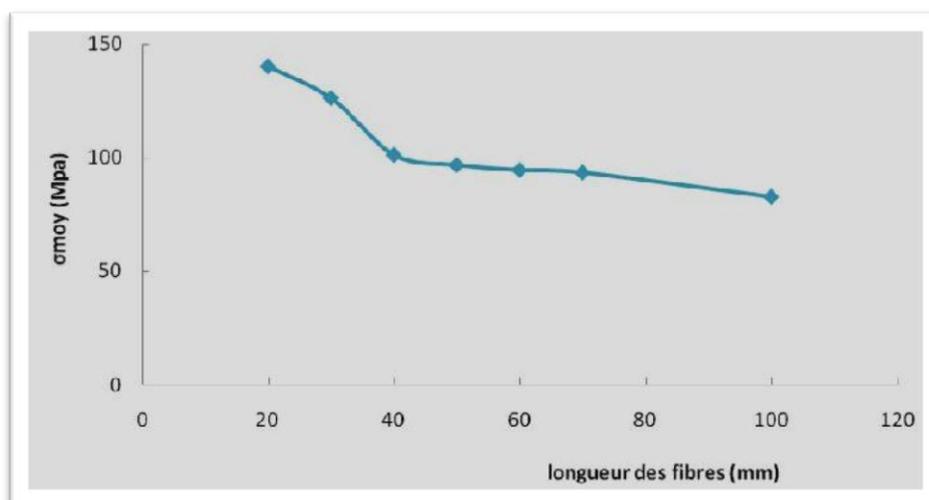


Fig. II.7. Variation de la résistance moyenne en fonction de la longueur des fibres testée (Yahyaoui 2011).

Benaoune a évalué les performances thermiques de l'utilisation des fibres végétales de palmier dattier (Luffe) dans un système de rafraîchissement de l'air chaud par évaporation d'eau, dans la région de Biskra à climat chaud et aride, pour obtenir les conditions de confort de température et d'humidité relative à l'intérieur des constructions à usage d'habitat, d'industrie ou dans les hangars d'élevage. Pour cela, l'auteur a réalisé un banc d'expérimentation à l'université de Biskra avec une boîte en bois contenant plusieurs épaisseurs de fibres de palmier dattier. Les résultats montrent que l'effet de rafraîchissement a augmenté avec l'accroissement de la température de l'air à l'extérieur

où l'écart (ΔT) était maximal avec une augmentation d'humidité qui provoque une sensation de fraîcheur pour les différentes épaisseurs de la fibre de palmier dattier. Comme exemple, pour l'épaisseur de 01 cm, ΔT était maximale est égale à 14.49 °C avec un rendement du système de 70 % avec une humidité relative de 31.57 % (Benaoune 2012).

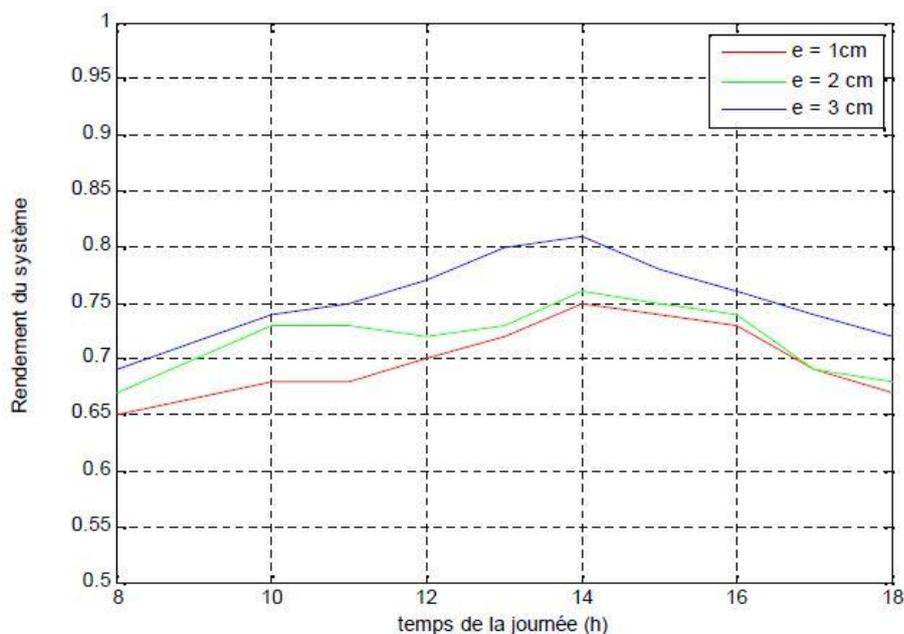


Fig. II.8. Variation du rendement du système de rafraîchissement en fonction du temps (Benaoune 2012).

En 2012, Baali a réalisé une étude expérimentale pour l'observation de la microstructure du bois du palmier dattier à l'aide de microscope optique digital et de microscope électronique à balayage MEB, avec la caractérisation mécanique des échantillons de différents constituants du palmier dattier à savoir le bois du tronc, de kornaf et de Gand, à partir les essais mécaniques (flexion, traction et compression). L'auteur a trouvé une matrice en lignine renforcée par des fibres en cellulose et constaté aussi une orientation essentiellement unidirectionnelle des fibres après l'observation de la microstructure des échantillons du palmier dattier qui est une microstructure fibreuse. Le diamètre des fibres du bois de tronc du palmier est compris entre 0.8 mm et 1 mm. Des éprouvettes de plusieurs constituants du palmier dattier ont été préparées et testées ce qui a permis d'avoir des valeurs des propriétés mécaniques qui sont: le module de Young, la contrainte maximale et la déformation maximale.

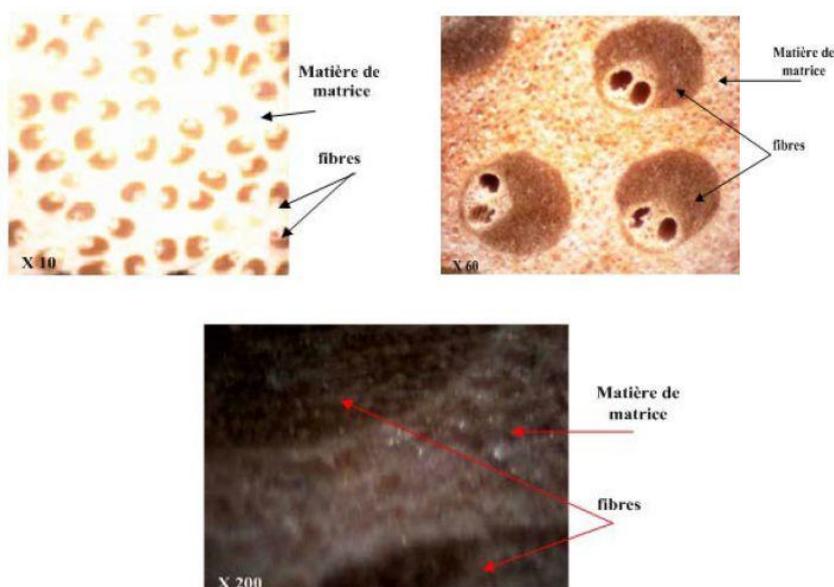


Fig. II.9. La microstructure du bois du tronc (coupe transversale), avec différents grossissements (X10, X60 et X200) (Baali 2012).

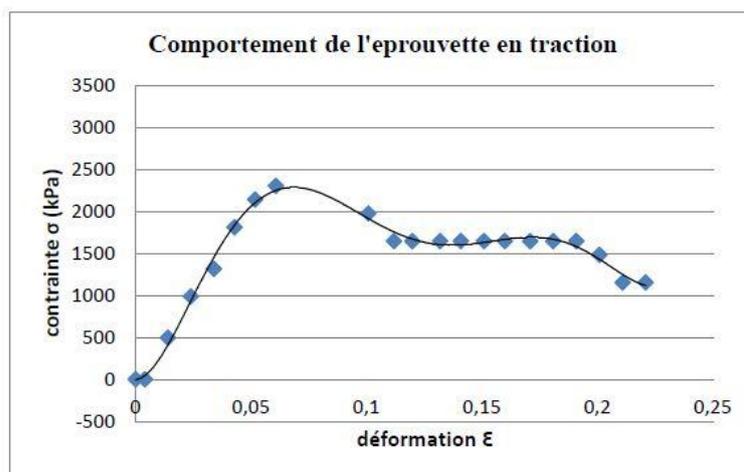


Fig. II.10. La courbe de comportement de bois en traction (Baali 2012).

Sellam et al ont présenté l'effet expérimental des conditions ambiantes (humidité relative et température), du débit massique d'air et du temps de fonctionnement sur les performances thermiques du refroidisseur à évaporation directe (DEC) utilisé les fibres végétales des palmiers dattiers (luffe). Le banc d'essai est installé dans la région de Biskra (34°47'N - 005°43'E), caractérisée par un climat aride et chaud. Les résultats ont montré que l'efficacité diminue avec l'augmentation des débits massiques d'air pendant huit heures de fonctionnement continu, et une réduction du taux d'échange de chaleur

expérimental avec une diminution de l'humidité relative ambiante. Comme exemple, pour une journée très chaude avec une température moyenne de 43.7 °C, les auteurs constatent qu'il était possible d'obtenir une différence de température allant jusqu'à 14,5 °C entre la température extérieure (la température de l'air d'entrée) et la température intérieure pour une vitesse de l'air entrant est égale 2.5 m/s et une épaisseur de 30 mm de l'interface contenant les fibres végétales de palmier dattier (luffe), ce qui donne une efficacité de rafraîchissement élevée atteint 81 % (Sellam et al 2017 et Sellam et al 2018).

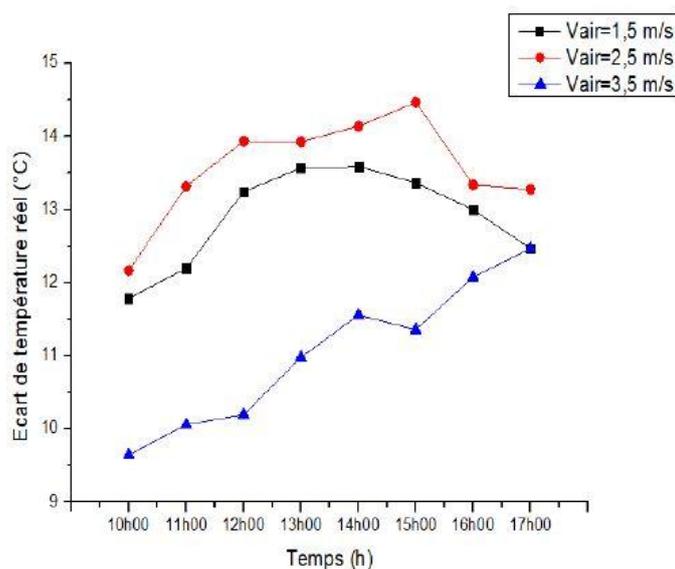


Fig. II.11. Evolution de l'écart de température en fonction du temps (Sellam et al 2017).

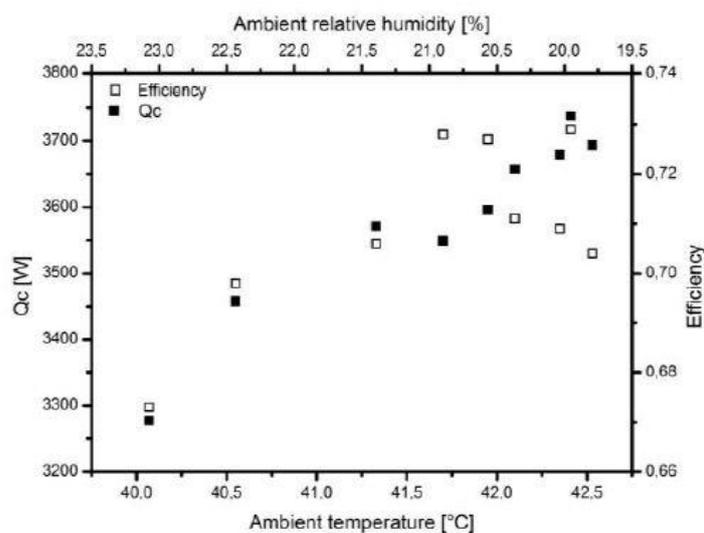


Fig. II.12. Evolution de l'efficacité et de la chaleur échangée en fonction des conditions ambiantes (Sellam et al 2018).

En 2018, Guettaf a réalisé une étude expérimentale qui consiste des différentes caractérisations réalisées pour les différentes variétés de palmiers dattiers existant dans notre région désertique de la wilaya de Biskra. L'auteur commence par l'étude macroscopique pour l'observation de la microstructure du bois puis d'identifier les couches extérieures et intérieures, de calculer les pourcentages des composants de la matière et de déterminer la variation du diamètre de fibre. L'auteur détermine aussi quelques caractéristiques physiques telles que la masse volumique, le taux d'humidité et l'absorption de l'eau de différentes couches. Il a vu aussi le comportement mécanique qu'offrent ces types de bois par la pratique d'essais mécaniques (traction) et les résultats sur des spécimens de différentes couches du bois du régime de dattes en fonction du temps de séchage (**Guettaf 2018**).

Masri en 2018, a réalisé une étude expérimentale de mise en œuvre et de caractérisation de matériaux innovants dans le cadre de protéger l'environnement et de valoriser les ressources végétales. Les matériaux élaborés sont des matériaux composites bois-plastique (WPC) à base de déchets de palmier dattier. Dans le premier composite, les déchets de feuillet de palmier dattier sont utilisés comme renforts et les déchets. Les caractérisations physiques, mécaniques, thermiques et morphologiques ont été étudiées afin de déterminer: la densité apparente, le module de flexion, la contrainte maximale et la conductivité thermique du LPC. Le LPC a montré un bon état d'adhérence de l'interface fibre/matrice et des propriétés mécaniques acceptables. Le deuxième composite est préparé à base de particules et une résine époxy. Le renfort de particules est obtenu à partir des noyaux de dattes. Le matériau LPC peut être utilisé dans le domaine de la construction de bâtiments pour l'isolation thermique. De plus, le matériau LPC est obtenu à partir de déchets et peut-être totalement recycler à la fin de sa vie utile. Le matériau CPND a montré que la matrice époxy utilisée est un bon choix car elle permet l'augmentation des propriétés mécaniques par rapport aux propriétés des matériaux similaires de la littérature. L'utilisation des déchets de palmiers dattiers comme renfort dans les composites peuvent être considérée comme un bon renfort naturel (**Masri 2018**).

CHAPITRE III

Etude expérimentale et analyse de la performance des fibres

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présente dans la première partie, le banc d'expérimentation qui a fait objet de notre travail. Il s'agit d'un banc d'essai qui a été conçu et réalisé dans le hall technologique à l'université de Biskra, destiné pour le rafraichissement de l'air chaud et sec par l'effet d'évaporation d'eau. Nous présentons aussi les paramètres mesurés, la stratégie de la prise de mesure, ainsi que les instruments de mesure utilisés dans ce travail expérimental. La deuxième partie est consacrée à l'analyse des performances thermiques des fibres végétales de palmier dattier (luffe) utilisées dans cette étude.

III.2. L'objectif de travail

L'objectif de notre étude est d'évaluer expérimentalement les performances thermiques de ce système de rafraichissement de l'air chaud et sec par humidification, avec l'utilisation des fibres végétales de palmier dattier (luffe) comme des enceintes d'évaporation en plusieurs d'épaisseur, sous les conditions climatiques des zones arides et chaudes, cas de la région de Biskra. Pour cela, des campagnes de mesure seront entamées pour quantifier différents paramètres essentiels, telles que l'humidité relative, la température et le débit d'air, la température et la consommation d'eau (quantité d'eau évaporée) à l'aide de différents outils de mesure pour obtenir les données nécessaires. On présente aussi dans ce travail l'effet expérimental des conditions ambiantes (humidité relative et température), du débit massique d'air, du temps de fonctionnement et d'épaisseur des fibres végétales (luffe) sur les performances thermiques du refroidisseur à évaporation.

III.3. Dispositif expérimental

III.3.1. Description du banc d'expérimentation

Les expériences ont été effectuées sur le dispositif du rafraichissement de l'air chaud par effet évaporation d'eau durant le mois de juin 2019. Le dispositif est installé dans le hall technologique à l'université de Biskra (latitude 34°51' N, longitude 5°43' E) en Algérie. Ce montage expérimental est constitué d'un tunnel rectangulaire en plexiglass de

04 mm d'épaisseur avec une couche de polystyrène d'épaisseur de 20 mm, de dimensions de 0,3 m x 0,3 m et d'une longueur totale de 1,0 m (Fig. III.1.).

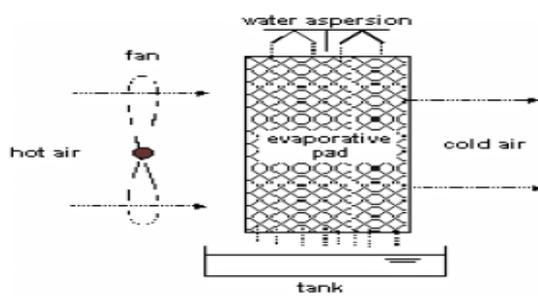


Fig. III.1. (a) Photographie du banc d'essais expérimental (b) Schéma du système de rafraîchissement par évaporation d'eau.

Afin de déterminer l'influence de débit d'air sur les performances de l'échangeur, le flux d'air ambiant est conduit au tunnel rectangulaire par un ventilateur de soufflage en amont du tunnel. Les débits ont été contrôlés par un potentiomètre afin de d'essayer plusieurs valeurs (Fig. III.2.).



Fig. III.2. Ventilateur d'air réglable.

Avant de commencer les essais, on va placer l'enceinte contenant les fibres végétales de palmier dattier (luffe) à l'intérieur du tunnel. Dans notre étude, il y aura un type de fibres (luffe) pour les essais avec deux épaisseurs différentes des enceintes de 10 et 30 mm. Cette interface humide est fabriquée à base des fibres de palmiers dattiers (Fig. III.3.). Ces enceintes vont être cadrées en métal galvanisé et couvertes avec un grillage en plastique (Fig. III.4.), pour garder la forme uniforme des fibres et de permettre à l'air chaud de traverser l'enceinte au moment des expériences.



Fig. III.3. *Fibres végétales de palmier dattier (luffe).*

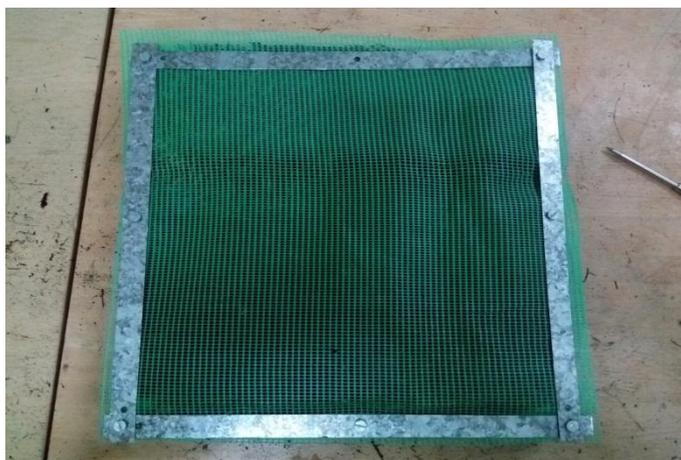


Fig. III.4. *Enceinte d'évaporation à base de fibres végétales de palmier dattier.*

Pour garantir l'humidification de l'enceinte contenant les fibres végétales à 100 %, un système d'arrosage d'eau a été mis en place au-dessus de cette dernière, ce système est relié à une pompe d'eau et constitué d'une conduite en plastique équipé avec des buses

réglables pour la distribution d'eau pour arroser en permanence l'interface de fibres végétales par un débit d'eau en gouttelettes et pour assurer aussi une distribution uniforme de l'eau sur les fibres végétales (luffe). Un circuit de drainage a été conçu afin de récupérer l'eau pour une nouvelle distribution.



Fig. III.5. Système d'arrosage de l'enceinte des fibres (Hachaichi 2018).

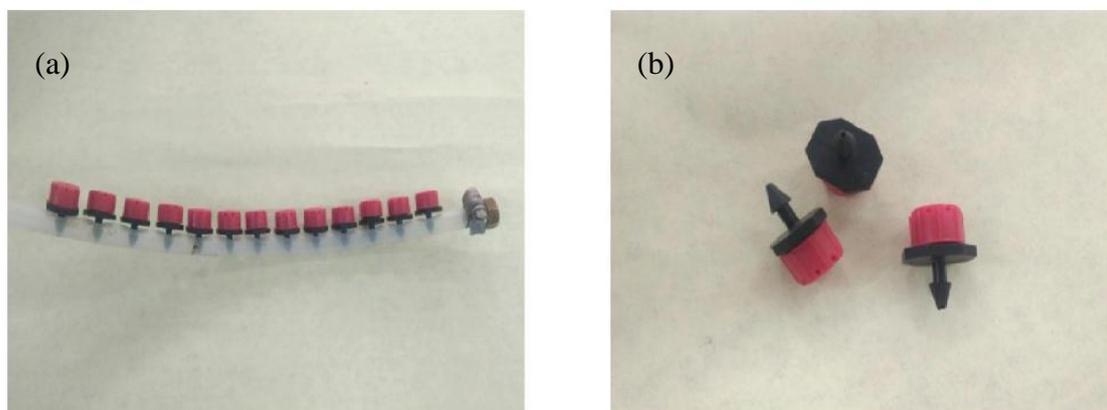


Fig. III.6. (a) Circuit d'arrosage d'eau; (b) Buses réglables (Lahlouhi 2018).

Un collecteur d'eau gradué est placé au-dessous du tunnel, ce collecteur est relié par une conduite en plastique afin de pulvériser de l'eau uniformément, perpendiculairement et continuellement dans l'enceinte des fibres végétales de palmier dattier. La pompe a été utilisée pour faire circuler l'eau du réservoir d'eau et du tube

collecteur vers l'enceinte des fibres, dont le débit est réglé par un débitmètre à flotteur à l'aide d'une vanne ordinaire, le débitmètre a été placé à la sortie de la pompe.



Fig. III.7. Pompe d'eau.

III.3.2. Instruments de mesure utilisés

La quantification des différents paramètres tels que le débit, la température, l'humidité relative, la consommation d'eau (quantité d'eau évaporée) et la puissance électrique se fait à l'aide des instruments de mesure, un thermo-anémomètre à hélice est utilisé pour mesurer le débit de l'air (Fig. III.9.), un thermo-hygromètre pour mesurer l'humidité relative (Fig. III.8.) et des détecteurs de températures (type PT100) sont placés respectivement à l'entrée et à la sortie du tunnel de rafraîchissement de l'air pour mesurer la température de l'air, ces détecteurs sont reliés à une carte d'acquisition de données qui permet d'enregistrer et d'afficher instantanément les valeurs de températures sur l'écran d'un micro-ordinateur, également un troisième détecteur de température (type CTN) est placé dans le réservoir d'eau pour obtenir la température d'eau. Un wattmètre a été utilisé pour mesurer la puissance électrique du ventilateur et de la pompe. La consommation d'eau réelle (quantité d'eau évaporée) est obtenue directement à partir de l'échelle du réservoir d'eau. Les caractéristiques techniques des instruments de mesure utilisés dans cette étude sont regroupées dans le tableau suivant (III.1.).

Eléments	Caractéristiques techniques	
Thermo-hygromètre	Marque	testo
	Modèle	625
	A. Humidité relative HR	
	Plage de mesure (%)	0-100
	Précision (%)	2,5
	B. Température	
	Plage de mesure (°C)	-10 à 60
	Précision (°C)	±0,5
Thermo-anémomètre	Marque	KIMO
	Modèle	LVA
	Plage de mesure (m/s)	0 à 35
	Précision (m/s)	de 0,25...3 m/s : ± 0.1 m/s
		de 3,1...35 m/s : ± 0.3 m/s
Thermomètre à thermistance (CTN)	Modèle	EKO
	Marque	TP3
	Plage de mesure (°C)	-30 à +110
	Résolution (°C)	0,1°C (<100°C) ; 1°C (>100°C)
Wattmètre	Marque	Lutron
	Modèle	DW-6060
	Plage de mesure (Watt)	Précision
	2000W	(±1%+1digit)
Module d'entrée de température (carte d'acquisition)	Marque	National instruments
	Modèle	NI-9217
	Précision de mesure (°C)	0,15
	Capteurs supportés	PT100 RTD

Tab. III.1. Caractéristiques techniques des instruments de mesure.



Fig. III.8. Thermo-hygromètre du type Testo 625.



Fig. III.9. Thermo-anémomètre à hélice du type KIMO LV 110.



Fig. III.10. Carte d'acquisition de données NI 9217.

III.3.3. Facteurs climatiques mesurés

Dans ce travail expérimental, on s'intéresse à mesurer les différents facteurs climatiques à l'entrée et à la sortie du tunnel, cela nous aidera à comprendre les effets des conditions ambiantes (température et humidité relative), du débit d'air et d'épaisseur de

l'interface des fibres sur les performances thermiques du système de rafraîchissement d'air chaud et sec.

Les paramètres mesurés sont :

- Le débit de l'air en kg/s, mesuré à la sortie du tunnel à travers un orifice circulaire;
- Température de l'air à l'entrée et à la sortie du tunnel, ainsi que la température d'eau dans le réservoir en °C;
- L'humidité relative en %, avant et après le panneau de fibres végétales à travers des orifices circulaires réalisés sur le côté latéral du tunnel;
- La quantité d'eau consommée en ml, mesurée à partir du réservoir d'eau gradué;
- La consommation électrique du ventilateur et de la pompe d'eau en W.

III.3.4. Description de l'expérimentation

L'objectif de cette étude expérimentale est l'évaluation de l'effet des conditions ambiantes (température et humidité relative), du débit d'air et d'épaisseur de l'enceinte des fibres végétales de palmier dattier (luffa) sur les performances thermiques du système de rafraîchissement de l'air chaud et sec. Les expériences sont effectuées durant le mois de juin 2019. L'air chaud et sec au début est directement soufflé à l'aide du ventilateur à travers le dispositif expérimental, l'eau circule à l'aide de la pompe, l'air se trouve refroidi en passant à travers l'interface des fibres humidifiée et arrosée par un système d'arrosage installé au-dessus de l'enceinte. Les expériences ont été effectuées entre 09h00 et 17h00, pour chaque débit massique d'air et chaque épaisseur des fibres, les relevées sont obtenues toutes les heures. Le tableau suivant résumera toutes les relevées obtenues durant les expériences.

Temps	V (m/s)	T _e (°C)	T _s (°C)	Ø _e (%)	Ø _s (%)	T _{eau} (°C)	Q _{eau cons} (ml)
09h	1,5	31,36	26,89	37,7	59,1	25,5	150
10h	1,5	31,65	26,01	35,8	61	23,2	275
11h	1,5	32,09	26,05	34,3	60,1	22,7	475
12h	1,5	33,67	26,59	31,4	56,2	22,9	650

13h	1,5	34,31	26,76	28,7	53,7	22,8	850
14h	1,5	35,88	27,05	28,3	51,5	22,9	1025
15h	1,5	37,98	27,67	24,2	49,4	23,1	1225
16h	1,5	38,74	27,97	22,3	49	23,2	1450
17h	1,5	38,91	28,25	21,9	47,8	23,4	1675

Tab. III.2. Exemple d'un tableau des mesures.

Avec :

T_e : Température de l'air d'entrée en °C ;

T_s : Température de l'air sortie en °C ;

\varnothing_e : Humidité relative de l'air d'entrée en % ;

\varnothing_s : Humidité relative de l'air sortie en % ;

T_{eau} : Température de l'eau dans le réservoir en °C ;

$Q_{\text{eau cons}}$: Quantité d'eau consommée en ml ;

V : Vitesse de l'air soufflé en m/s.

III.4. Quelques Généralités sur l'air humide

L'air humide est le nom donné à l'air par les scientifiques utilisant l'air comme vecteur de vapeur d'eau tel que les climatologues, thermiciens mécaniciens et ingénieurs du génie des procédés.

L'air humide est caractérisé par plusieurs grandeurs dont on gardera traditionnellement (**Benaoune 2012**) :

- La température (dite température sèche) ;
- La température humide ou température de thermomètre humide ;
- La température de rosée ou point de rosée ;

- L'humidité absolue ou teneur en eau ;
- L'humidité relative ;
- L'enthalpie ;
- Volume spécifique ;
- Pression partielle.
- etc..

III.4.1. Température sèche

La température sèche correspond à la température classique donnée par un thermomètre mais qui est protégé de l'humidité et des radiations, cette valeur de température n'est d'autre que celle prise avec un thermomètre ordinaire.

III.4.2. Température humide

C'est la température prise avec un thermomètre dont le bulbe a été enveloppé dans un morceau de gaz détrempe d'eau distillée et ventilé à une vitesse d'air déterminée.

III.4.3. Température de rosée

C'est la température à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air humide commence à se condenser au contact d'une surface froide.

III.4.4. Humidité absolue

C'est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un environnement d'air humide par rapport à un 01 kilogramme d'air sec.

III.4.5. Humidité relative

C'est la quantité d'eau sous forme de vapeur que contient un environnement d'air humide. C'est une valeur comprise entre 0 et 100 % qui indiquent le degré de saturation. Le brouillard apparaît à partir de la valeur $\Phi = 100 \%$.

III.4.6. Enthalpie

L'enthalpie de l'air humide décrit l'état thermodynamique de son contenu énergétique. C'est la somme de deux composantes, air sec et vapeur d'eau.

III.4.7. Volume spécifique

C'est le volume occupé par le poids d'un kilogramme d'air sec dans un ensemble de conditions spécifiques.

III.4.8. Pression partielle

C'est la pression de vapeur partielle dans l'air, cette pression est la même que la pression de vapeur saturante à la température de rosée.

III.5. Diagramme de l'air humide

On utilise le diagramme de l'air humide, également appelé diagramme psychrométrique, pour calculer les évolutions d'un air humide plutôt que d'utiliser des calculs algébriques. Les diagrammes de l'air humide sont généralement établis pour une pression atmosphérique normale de 101325 Pa et pour des températures entre -20 °C à 50 °C . Il existe plusieurs types de diagramme, les plus utilisés sont ceux comportant (**Galilée**):

- En abscisse: les températures.
- En ordonnée: les humidités spécifiques.

Il suffit de 2 de ces grandeurs pour retrouver les 5 autres grâce au diagramme de l'air humide et ce au moyen d'une simple lecture, c'est la simplicité de ce diagramme qui lui vaut une utilisation quasi systématique par rapport aux calculs (**Galilée**).

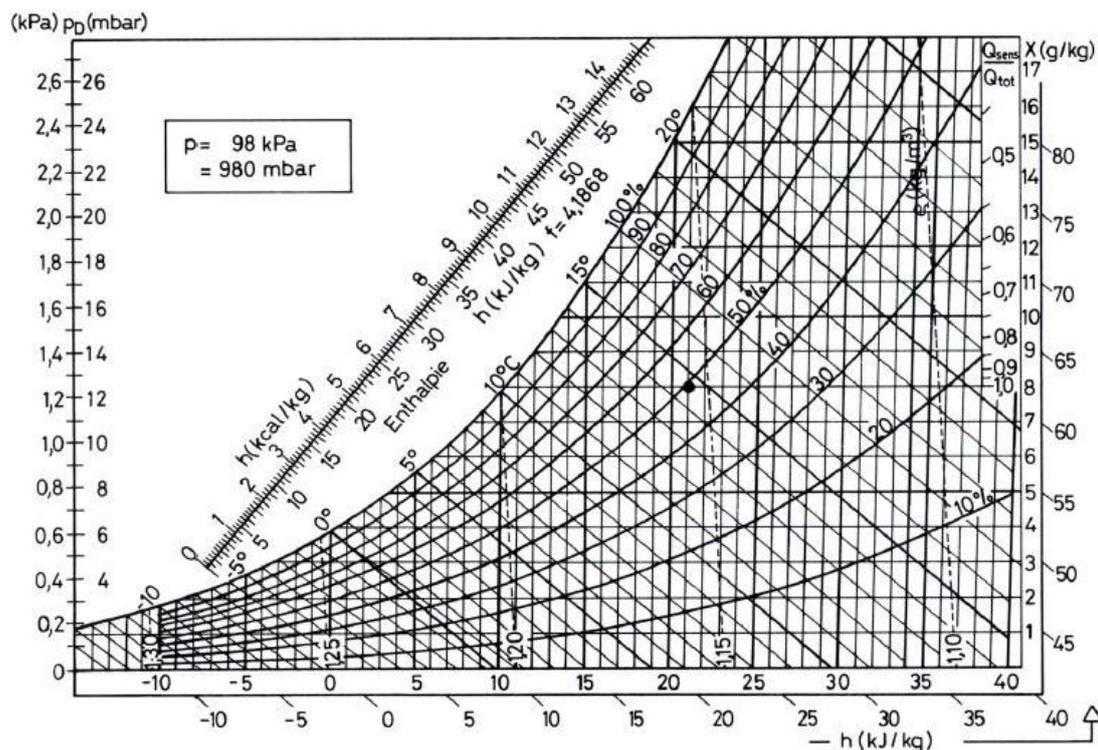


Fig. III.11. Le diagramme de l'air humide (Cabeza 2002).

III.6. Analyse théorique de la performance thermique dans une interface des fibres végétales de palmier dattier (luffe)

Le principal phénomène dans un système de rafraîchissement d'air par évaporation d'eau, est la conversion de la chaleur sensible en chaleur latente, l'air est refroidi par le transfert de masse et de chaleur, en forçant l'air à travers le milieu humide en utilisant un ventilateur de soufflage, une partie de la chaleur sensible de l'air est transmise à l'eau et se transforme en chaleur latente en évaporant une partie de cette eau (Benaoune 2012).

Certains concepts ont souvent été utilisés pour évaluer les performances thermiques des fibres, exprimés par:

La différence de température entre l'air entrant et l'air sortant est un facteur commun pour évaluer la performance matérielle, donnée par l'expression suivante:

$$\Delta T = T_s - T_e \quad (1)$$

La capacité de refroidissement est calculée par la différence de température à l'entrée et à la sortie (**Laknizi 2019**) :

$$Q_{\text{ref}} = m_{\text{air}} C_p (T_s - T_e) \quad (2)$$

$$m_{\text{air}} = \rho \times V \times L \times H \quad (3)$$

Ou :

$$m_{\text{air}} = \frac{\rho \cdot v \cdot \text{ACR}}{3600} \quad (4)$$

Où m_{air} est le débit d'air (kg/s), C_p la capacité thermique spécifique de l'air, T_s la température extérieure, T_e est la température intérieure, ρ est la masse volumique de l'air, V est la vitesse de l'air, ACR est le taux de changement de zone en (1/hr), v est le volume de la chambre (m^3), L et H sont la largeur et la hauteur de l'enceinte des fibres respectivement.

L'efficacité de l'enceinte des fibres, ou l'efficacité de refroidissement, est définie par (**Bishoyi et Sudhakar 2017**):

$$\varepsilon = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_h} \quad (5)$$

Avec T_h est la température du bulbe humide à l'entrée, peut être calculée à partir du tableau psychométrique.

Cette équation montre qu'une efficacité de 100 % correspond à une sortie d'air à la température de bulbe humide à l'entrée. Cela nécessite une combinaison de grande surface de transfert de chaleur, de coefficient de transfert de chaleur élevé et de faible débit massique (**Bishoyi et Sudhakar 2017**).

La méthode de changement d'air est utilisée pour concevoir un refroidisseur d'air chaud à évaporation directe. Il est basé sur le taux de renouvellement de l'air (changements d'air par heure), qui est tiré des codes et des normes pour des applications spécifiques (le tableau «III.3.» présente les valeurs ACR pour les types de locaux et de bâtiments les plus

courants). Notez que dans de nombreux cas, les réglementations et codes locaux régissent les exigences de ventilation (**Bishoyi et Sudhakar 2017**).

Site Location	ACR
Residential	
Basements	3-4
Bedrooms	5-6
Bathrooms	6-7
Family Living Rooms	6-8
Kitchens	7-8
Laundry	8-9
Light Commercial	
Offices	
Business Offices	6-8
Lunch Break Rooms	7-8
Conference Rooms	8-12
Medical/Hospitals	9-10
Copy Room	10-12
Main Computer Rooms	10-14
Restaurants	
Dining Area	8-10
Food Staging	10-12
Kitchens	14-18
Bars	15-20
Public Buildings	
Hallways	6-8
Retail Stores	6-10
Foyers	8-10
Churches	8-12
Restrooms	10-12
Auditoriums	10-12
Smoking Rooms	15-20

Tab. III.3. Taux de renouvellement d'air (ACR) par heure pour différents emplacements (**Bishoyi et Sudhakar 2017**).

Classement	Classement énergétique	EER
1	A	$EER \geq 65$
2	B	$58 \leq EER \leq 65$
3	C	$50 \leq EER \leq 58$
4	D	$42 \leq EER \leq 50$
5	E	$34 \leq EER \leq 42$
6	F	$26 \leq EER \leq 34$
7	G	$EER \leq 26$

Tab. III.4. Groupes d'énergie d'un refroidisseur (**Bishoyi et Sudhakar 2017**).

Le rapport d'efficacité énergétique (EER) est défini comme l'énergie thermique nette retirée de l'air pour le refroidissement par watt d'énergie consommée (**Bishoyi et Sudhakar 2017**):

$$EER = 3,412 \cdot \frac{Q_{ref}}{W} \quad (6)$$

Où W est la consommation électrique d'entrée du ventilateur d'extraction et de la pompe à eau.

Il convient de mentionner que le nombre 65 a été sélectionné comme nombre maximal sur la base de chercheurs et d'optimisations (**Bishoyi et Sudhakar 2017**).

Le taux d'évaporation est donné par (**Laknizi 2019**):

$$m_{eva} = m_{air} (w_s - w_e) \quad (7)$$

Où w_s et w_e sont les taux d'humidité absolue à la sortie et à l'entrée, respectivement. L'humidité absolue peut être déterminée à l'aide du tableau psychrométrique en traçant l'intersection de la température sèche et de l'humidité relative de l'air.

L'analyse de performance thermique a également été réalisée à l'aide de l'efficacité de refroidissement par évaporation (ECE), qui est le rapport entre la puissance frigorifique, et la puissance électrique absorbée, soit le total de la pompe (W_p) et du ventilateur (W_f) (**Ceylan 2016**):

$$ECE = \frac{Q_{ref}}{W_p + W_f} \quad (8)$$

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, les résultats obtenus à partir des expériences effectuées sur le système de rafraîchissement de l'air chaud et sec par effet d'évaporation d'eau ont été organisés dans des tableaux et présentés sous forme de graphes à l'aide du logiciel **Origin** afin de calculer et déterminer les paramètres influés sur la performance des fibres pour chaque expérience et de vérifier, d'observer et d'évaluer l'effet des conditions ambiantes (température et humidité relative), du débit d'air et d'épaisseur de l'enceinte constituée de plusieurs couches de fibres végétales de palmier dattier à base de luffa sur les performances thermiques du système de rafraîchissement de l'air dans la région de Biskra, caractérisée par un climat chaud et aride.

IV.2. Climat de la ville de Biskra

La ville de Biskra par sa situation géographique entre une latitude de $34^{\circ}25'N$ et une longitude de $05^{\circ}40'E$ et elle s'élève à une altitude de 80 m, constitue le début du désert algérien caractérisée par un climat aride et très chaud en été, et un hiver très froid la nuit par rapport au jour, appartenant à la zone E3 d'après la classification du ministère de l'habitat (Fig. IV.1.) (Benaoune 2012).

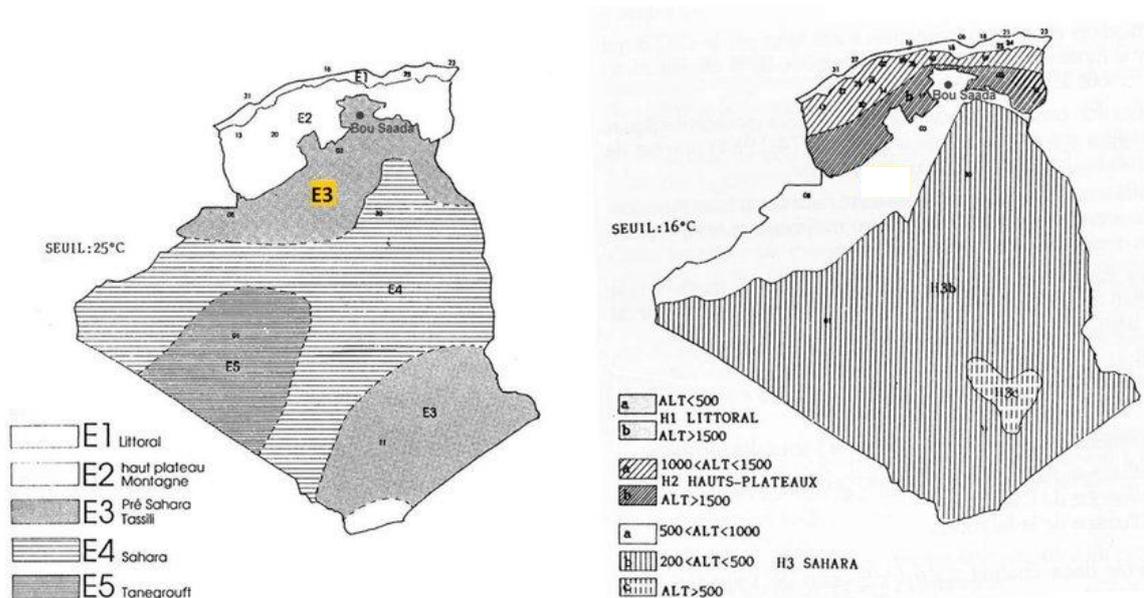


Fig. IV.1. Zones climatiques d'été et d'hiver en Algérie (Ould Henia 2003).

IV.3. Résultats expérimentaux obtenus

IV.3.1. Effet des conditions ambiantes

Les figures (IV.2., IV.3., IV.4., IV.5. et IV.6.) montrent l'effet des conditions ambiantes sur les différences de température et d'humidité relative de l'air, la quantité d'eau évaporée, l'efficacité et la capacité du rafraîchissement de l'air chaud en fonction du temps de fonctionnement et pour les mêmes paramètres de fonctionnement, en présence d'une interface humide de fibres de palmier dattier (luffe) d'épaisseur égale à 30 mm et avec des débits d'air et d'eau de 0,16 kg/s et 0,3 litre/min respectivement, les expériences ont été effectuées avec des températures extérieures moyennes égales à 34.95 et 43.98 °C pour deux journées différentes du 04 juin et 19 juin 2019 respectivement. Dans les figures (IV.2. et IV.3.), il est évident que l'augmentation la température ambiante et la diminution de l'humidité relative ambiante, les différences de température et d'humidité relative de l'air augmentent aussi. Il est possible d'obtenir une différence de température allant jusqu'à 13.6 °C, en présence de 30 mm de l'interface humide contenant les fibres. Cette figure montre que l'humidité relative ambiante a un effet sur la répartition de la température dans l'enceinte des fibres. En effet, lorsque l'humidité relative ambiante diminue, le taux d'évaporation dans la couche de surface de l'enceinte augmente.

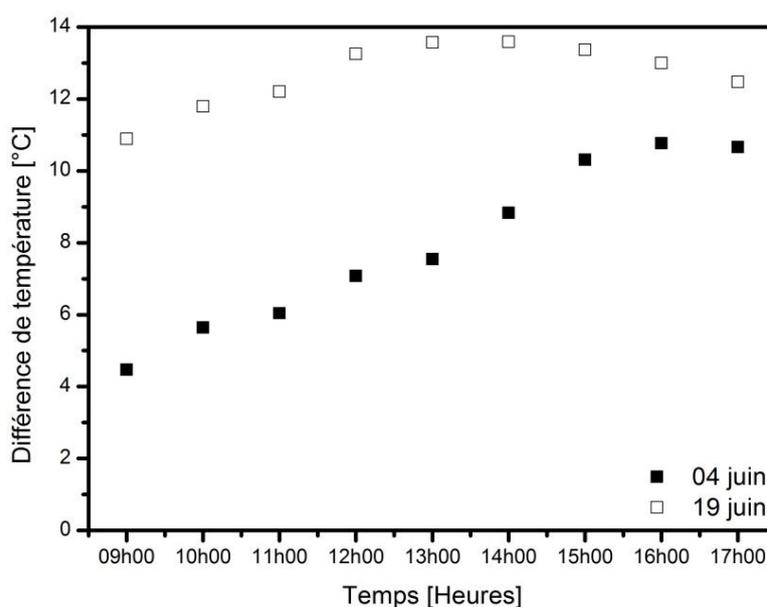


Fig. IV.2. Evolution de la différence de température en fonction du temps et deux journées typiques.

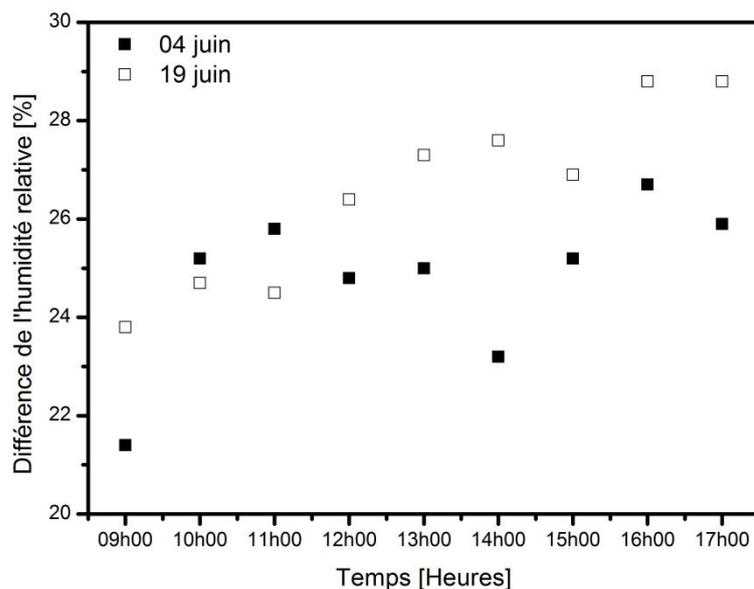


Fig. IV.3. Evolution de la différence d'humidité relative en fonction du temps et deux journées typiques.

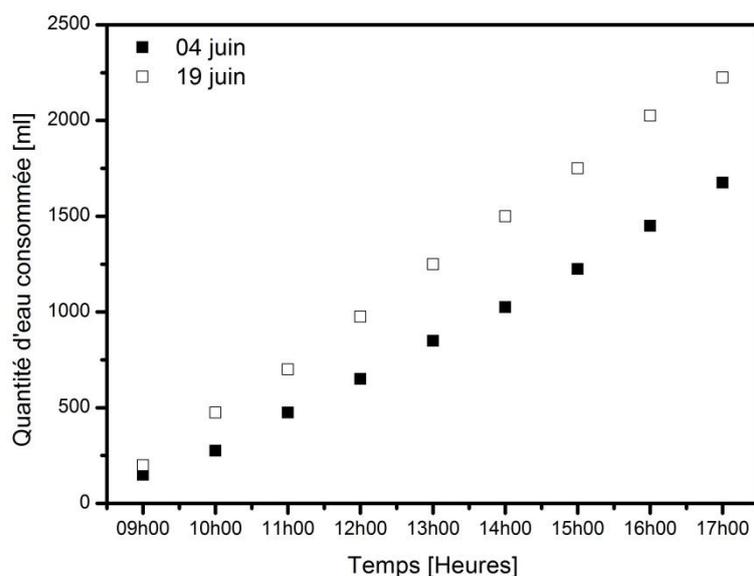


Fig. IV.4. Evolution de la quantité d'eau évaporée en fonction du temps et deux journées typiques.

Les figures (IV.5. et IV.6.) montrent une variation de la capacité et de l'efficacité du rafraîchissement en fonction du temps de fonctionnement. On observe que pour l'épaisseur (30 mm) sous un débit massique d'air égal à 0,16 kg/s, la capacité et l'efficacité du rafraîchissement augmentent avec l'augmentation de la température ambiante et diminution

de l'humidité relative ambiante, ceci est dû au fait que l'augmentation du transfert de chaleur entre l'air à l'intérieur du système de rafraîchissement et l'enceinte des fibres implique une élévation de gradient entre la température d'entrée et de sortie. La valeur maximale de l'efficacité et la capacité du rafraîchissement égalent à 65.3 % et 2185 W, respectivement.

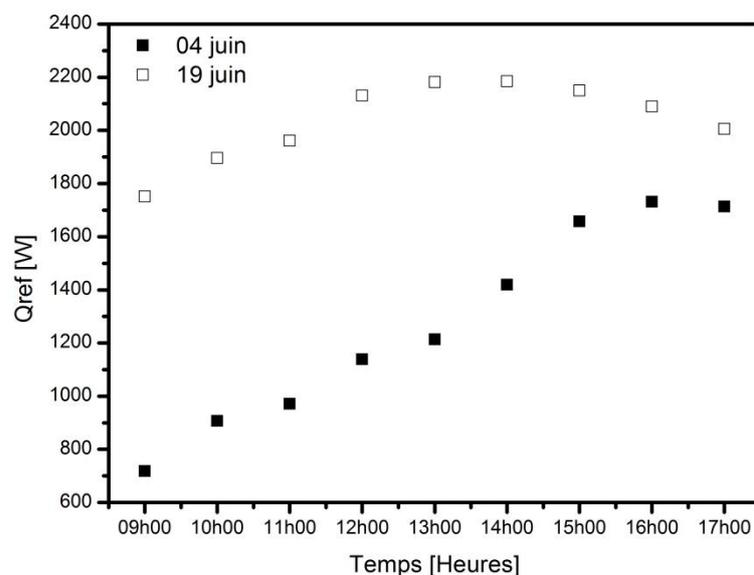


Fig. IV.5. Evolution de la capacité de rafraîchissement en fonction du temps et deux journées typiques.

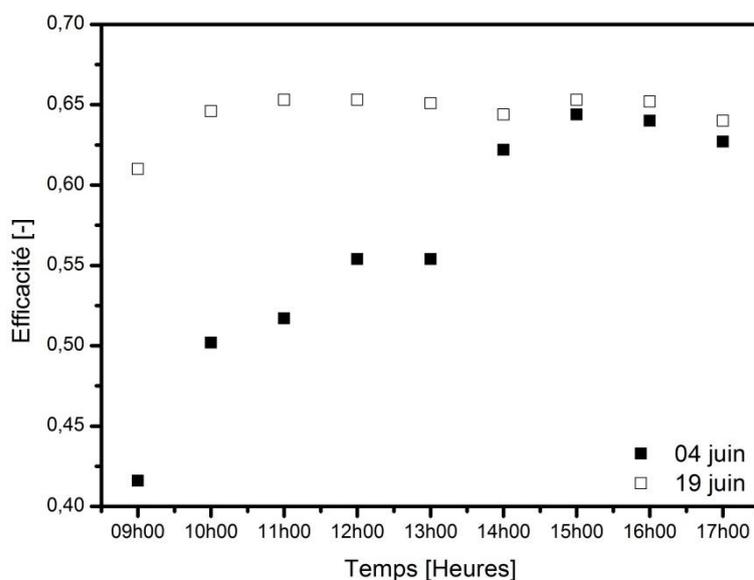


Fig. IV.6. Evolution de l'efficacité de rafraîchissement en fonction du temps et deux journées typiques.

IV.3.2. Effet de l'épaisseur de l'enceinte des fibres de palmier dattier

Les figures (IV.7., IV.8., IV.9., IV.10., IV.11 et IV.12.) présentent l'effet de l'épaisseur de l'enceinte des fibres de palmier sur les différences de température et d'humidité relative de l'air, rapport d'efficacité énergétique (EER), l'efficacité et la capacité du rafraîchissement de l'air chaud en fonction du temps de fonctionnement et deux épaisseurs différents de l'interface des fibres (10 mm et 30 mm) avec des débits d'air et d'eau de 0,27 kg/s et 0,3 litre/min respectivement. La figure (IV.7.) montre la différence de température de l'air en fonction du temps de fonctionnement et l'épaisseur de l'interface de 10 et 30 mm respectivement pour un débit massique d'air égal à 0,27 kg/s. Il est à noter que la différence de température a augmenté avec l'augmentation de l'épaisseur de l'interface humide. Cette dernière est due à l'augmentation du contact direct entre les surfaces humides et l'air en circulation. Il est possible d'obtenir une différence de température allant jusqu'à 14.8 °C, en présence de 30 mm de l'interface humide contenant les fibres du palmier dattier. Les figures (IV.8. et IV.9.) montrent l'effet de l'épaisseur de l'interface sur l'évolution de la quantité d'eau évaporée et la différence d'humidité relative en fonction du temps. À partir de ces figures, l'analyse des courbes a montré qu'avec une diminution de l'épaisseur des interfaces humides, la quantité d'eau évaporée diminuait. La réduction de l'épaisseur des interfaces humides conduit à une réduction des surfaces de contact entre l'interface humide et l'air transversal. En outre, l'augmentation de l'épaisseur induit une augmentation de la capacité de rétention d'eau, ce qui améliore le transfert de chaleur et de masse entre l'air transversal et l'interface humide. Comme on peut le constater, la différence d'humidité relative diminue avec la diminution d'épaisseur de l'interface humide, ceci est dû à la réduction du contact entre les surfaces humides et l'air en circulation.

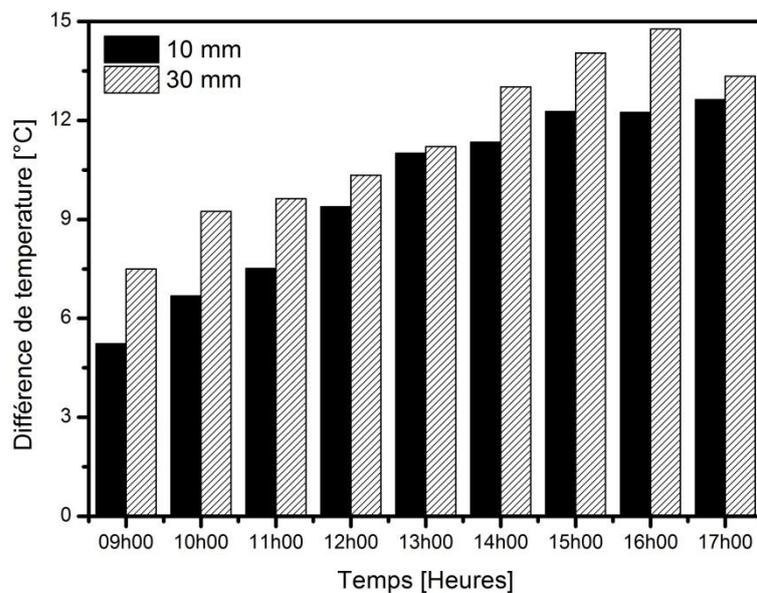


Fig. IV.7. Evolution de la différence de température en fonction du temps pour deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.

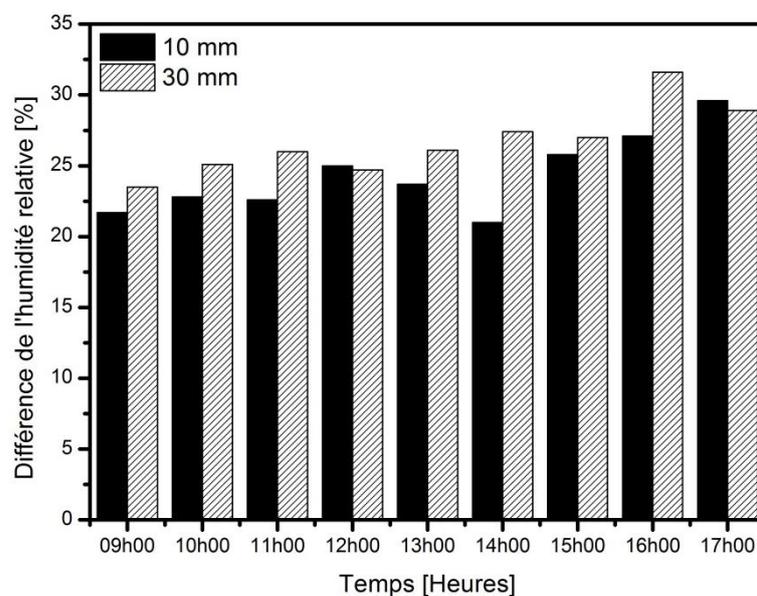


Fig. IV.8. Evolution de la différence d'humidité en fonction du temps pour deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.

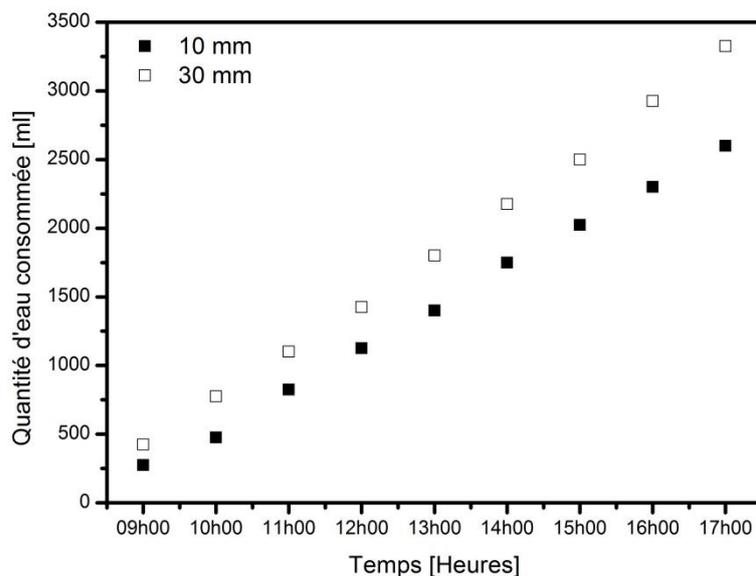


Fig. IV.9. Evolution de la quantité d'eau évaporée en fonction du temps pour deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.

Les figures (IV.10. et IV.11.) montrent une variation de la capacité et de l'efficacité du rafraîchissement avec le temps de fonctionnement et l'épaisseur de l'interface. On observe que pour les deux épaisseurs (10 et 30 mm) sous un débit massique d'air égal à 0,27 kg/s, la capacité du rafraîchissement augmente avec l'augmentation de l'épaisseur de l'interface humide, ceci est dû au fait que l'augmentation du transfert de chaleur entre l'air en circulation et l'interface implique une élévation de gradient entre la température d'entrée et de sortie. La valeur maximale de la capacité (3958.3 W) est obtenue pour une épaisseur de 30 mm de l'interface de palmier dattier. Par contre, l'efficacité du rafraîchissement avec une épaisseur de 10 mm donne pratiquement la même tendance de l'efficacité de l'épaisseur de 30 mm. Cette égalité est due à faible humidité relative durant la journée d'expérience de l'épaisseur de 30 mm (18.30 % comme une moyenne), qui provoque une basse température humide par rapport à la journée de test sur l'épaisseur des fibres de 10 mm (27.93 % comme une moyenne).

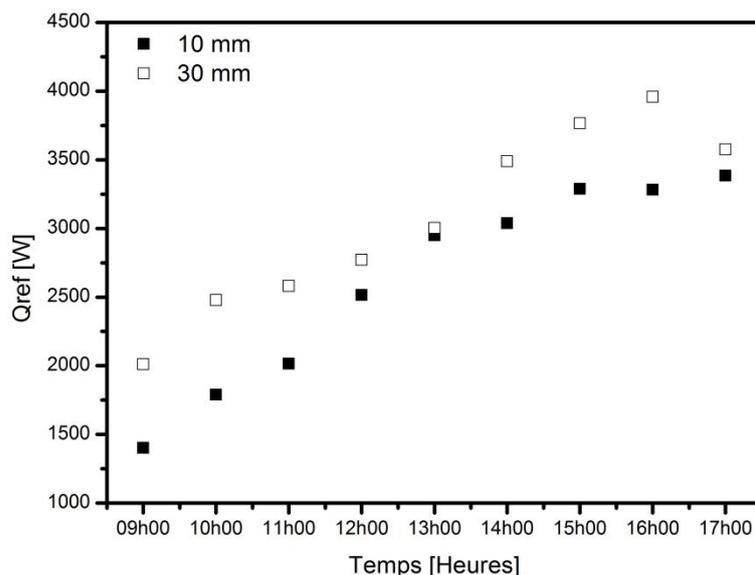


Fig. IV.10. Evolution de la capacité de rafraîchissement en fonction du temps pour deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.

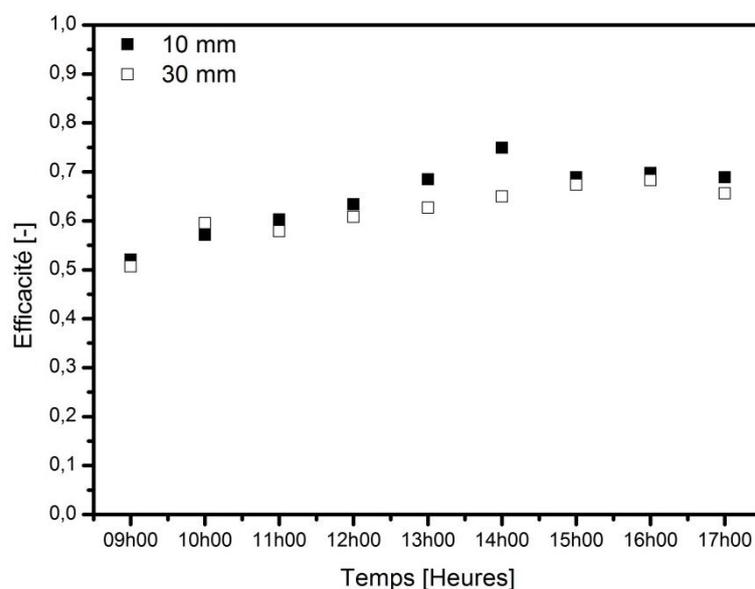


Fig. IV.11. Evolution de l'efficacité de rafraîchissement en fonction du temps pour deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.

Pour le calcul de la valeur EER, certaines constantes sont prises. L'expérience a été réalisée dans une salle spécifique, ayant le volume de 64 m^3 . Les valeurs de conception sont utilisées pour déterminer les performances du système du rafraîchissement. ACR (changements d'air par heure) constant pour un bureau de travail prise à 08. La figure

(IV.12.) montre cette variation du taux d'efficacité énergétique par heure pour l'enceinte des fibres végétales de palmier dattier en fonction du temps et l'épaisseur de l'interface. Au fur et à mesure que la capacité de rafraîchissement augmente, le rapport EER augmente également progressivement. Lorsque la capacité du rafraîchissement diminue, le rapport EER diminue également. L'EER maximum de l'enceinte des fibres est de 217,96 pour une épaisseur de 30 mm des fibres. L'EER pour une interface des fibres d'une épaisseur de 30 mm est supérieur à celui de l'interface d'une épaisseur de 10 mm. Le système de rafraîchissement d'interface des fibres de palmier est classé sous « A » conformément à l'évaluation de performance (Tab. IV.1.). Ce type du système est utilisé donc dans des conditions climatiques chaudes et sèches. Il peut être utilisé dans les bâtiments résidentiels et commerciaux légers, tels que les bureaux et restaurants, les bâtiments publics, etc.

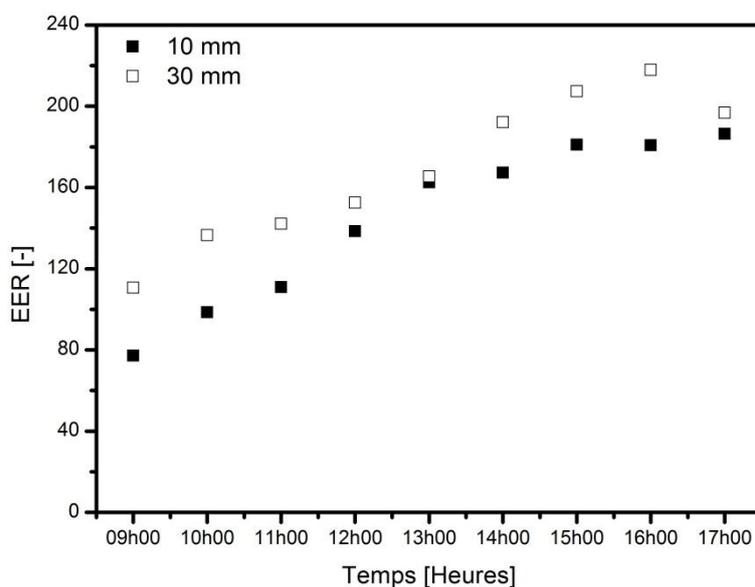


Fig. IV.12. Evolution du rapport d'efficacité énergétique en fonction du temps pour deux épaisseurs de l'enceinte des fibres.

Travail et l'auteur	Capacité de refroidissement / heure	EER	Classement énergétique
Tampon de refroidissement en nid d'abeille (Bishoyi et Sudhakar 2017)	0.5949–2.3362 kW	$42 \leq \text{EER} \leq 50$	D
Enceinte en fibres végétales de palmier dattier (Aribi 2019)	2.010–3.958 kW	$\text{EER} \geq 65$	A

Tab. IV.1. Comparaison des performances du système de rafraîchissement à base de fibres de palmier dattier.

IV.3.3. Effet du débit massique de l'air

Les figures (IV.13. et IV.14.) ont montré l'évolution de la différence de température et d'humidité relative de l'air en fonction de différents débits massiques d'air et du temps, pour une épaisseur des fibres de palmier dattier égale à 30 mm avec un débit d'eau de 0,3 litre/min. La figure montre qu'en augmentant le débit massique d'air et le temps de fonctionnement, la différence de température et d'humidité relative augmente également. Les points optimaux du débit massique d'air apparaissent lorsqu'on remarque une stabilisation de la courbe de la différence de température malgré l'augmentation du débit massique d'air et du temps de fonctionnement. La figure (IV.15.) a présenté l'évolution de la quantité d'eau évaporée en fonction de différents débits massiques de l'air et de l'épaisseur de l'interface des fibres de palmier dattier avec un débit d'eau de 0,3 litre/min. La figure montre qu'en augmentant le débit massique d'air et l'épaisseur de l'enceinte des fibres, la quantité d'eau évaporée augmente aussi. Cela est dû au fait que l'augmentation du débit massique de l'air provoque une augmentation du coefficient de transfert de masse à l'intérieur des surfaces de l'enceinte des fibres.

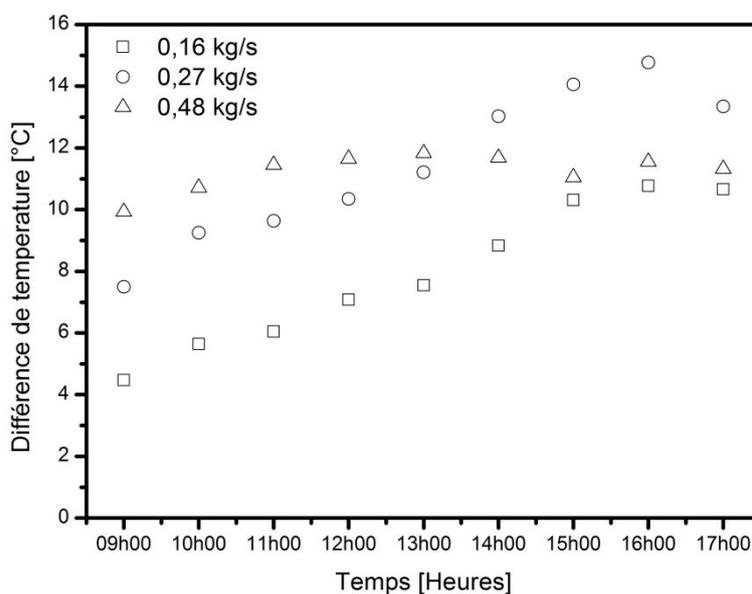


Fig. IV.13. Evolution de la différence de température en fonction du temps et du débit massique d'air.

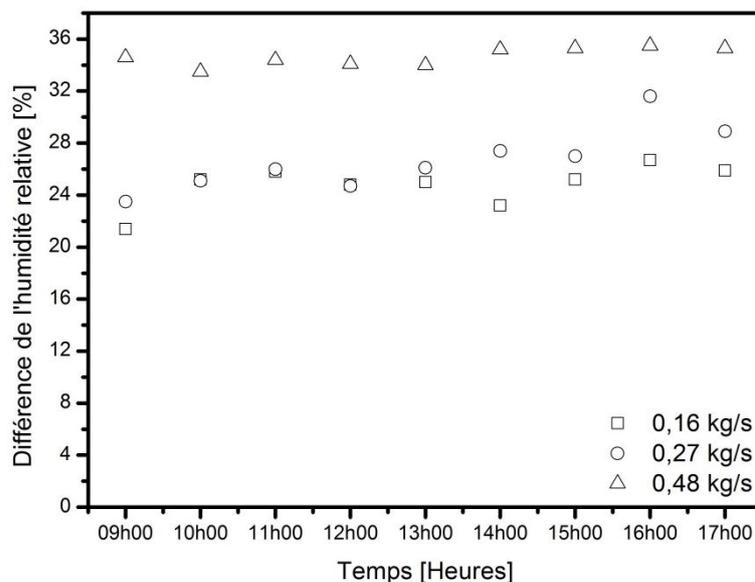


Fig. IV.14. Evolution de la différence d'humidité relative en fonction du temps et du débit massique d'air.

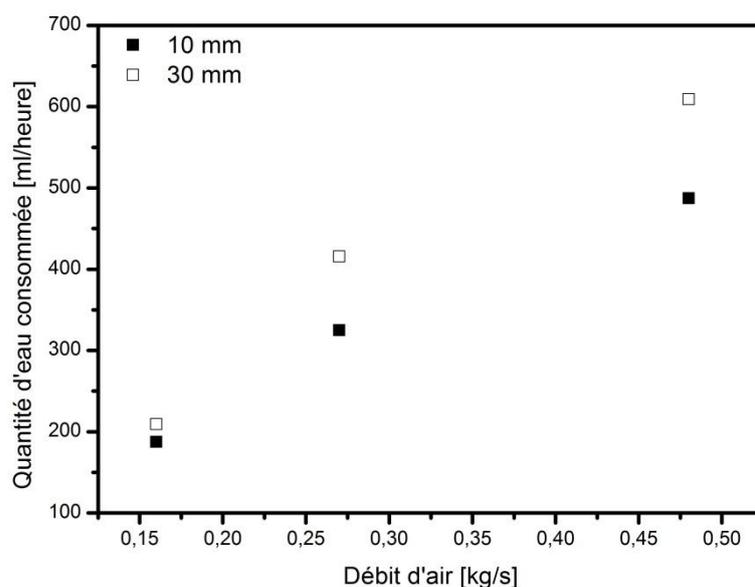


Fig. IV.15. Evolution de la quantité d'eau évaporée en fonction du débit massique d'air.

Les figures (IV.16. et IV.17.) montrent l'effet du débit massique de l'air et du temps sur la capacité et l'efficacité du rafraîchissement. À partir de ces figures, la capacité et l'efficacité du rafraîchissement augmentent avec l'augmentation du débit massique de l'air. Le débit d'air augmente avec l'augmentation de la vitesse frontale qui est proportionnelle à la capacité de rafraîchissement de l'enceinte. Par conséquent, l'augmentation de la capacité

et de l'efficacité du rafraîchissement est due à l'augmentation du débit d'air et du temps de fonctionnement. La valeur maximale de la capacité du rafraîchissement (5707 W) est obtenue pour un débit massique d'air de 0.48 kg/s à 13h00. La valeur maximale de l'efficacité du rafraîchissement (71.7 %) est obtenue pour un débit massique d'air de 0.48 kg/s à 11h00.

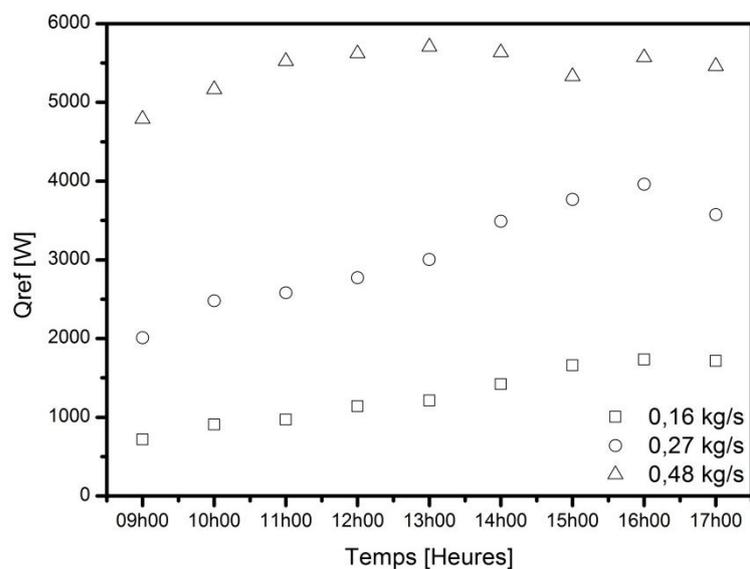


Fig. IV.16. Evolution de la capacité du rafraîchissement en fonction du temps et du débit massique d'air.

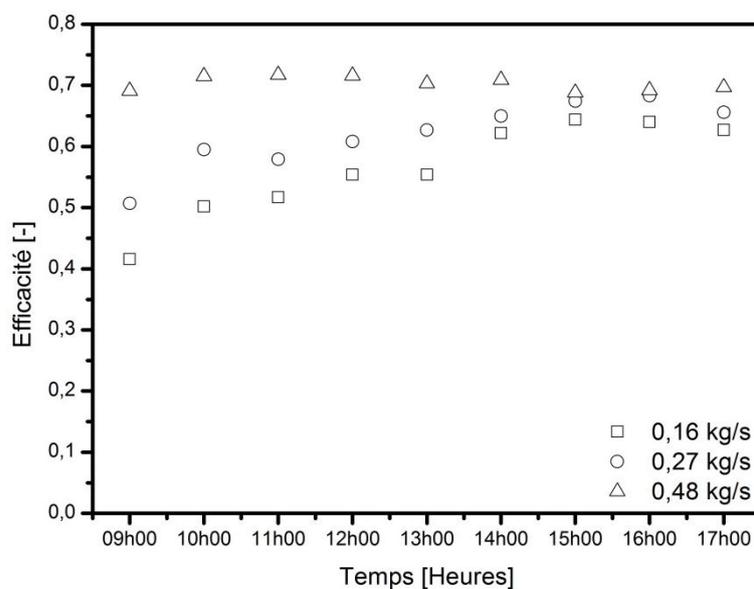


Fig. IV.17. Evolution de l'efficacité du rafraîchissement en fonction du temps et du débit massique d'air.

La figure (IV.18.) a présenté l'évolution de la température moyenne de sortie et les valeurs moyennes de l'ECE en fonction de différents débits massiques d'air. La figure montre qu'en augmentant le débit massique d'air, la température moyenne de sortie et la valeur de l'ECE augmentent également. Comme on l'a vu, la différence de température est inversement proportionnelle à partir du débit massique optimal de l'air, la capacité du rafraîchissement par rapport à la puissance consommée (ventilateur + pompe) augmente. En conséquence, l'ECE affiche une tendance à la hausse.

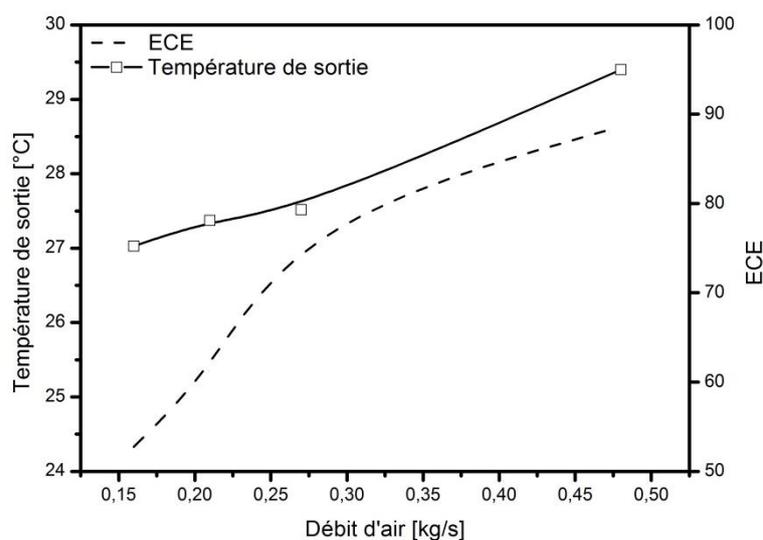


Fig. IV.18. Evolution de la température de sortie et du rapport ECE en fonction du débit massique d'air.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre étude est d'évaluer expérimentalement les performances thermiques de ce système de rafraîchissement de l'air chaud et sec par humidification, avec l'utilisation des fibres végétales de palmier dattier (luffe) comme des enceintes d'évaporation en plusieurs d'épaisseur, sous les conditions climatiques des zones arides et chaudes, cas de la région de Biskra. Pour cela, des campagnes de mesure seront entamées pour quantifier différents paramètres essentiels, telles que l'humidité relative, la température et le débit d'air, la température et la consommation d'eau à l'aide de différents outils de mesure pour obtenir les données nécessaires. On présente aussi dans ce travail l'effet expérimental des conditions ambiantes (humidité relative et température), du débit massique d'air, du temps de fonctionnement et d'épaisseur des fibres végétales (luffe) sur les performances thermiques du refroidisseur à évaporation.

Les expériences ont été effectuées sur le dispositif du rafraîchissement de l'air chaud par effet évaporation d'eau durant le mois de juin 2019. Le dispositif est installé dans le hall technologique à l'université de Biskra (latitude 34°51' N, longitude 5°43' E) en Algérie. Ce montage expérimental est constitué d'un tunnel rectangulaire en plexiglass de 04 mm d'épaisseur avec une couche de polystyrène d'épaisseur de 20 mm, de dimensions de 0,3 m x 0,3 m et d'une longueur totale de 1,0 m.

D'après les résultats, il convient de noter que les performances élevées, la différence de température maximale et la différence d'humidité relative sont obtenues à 13h00, ce qui correspond à une température ambiante élevée. Pour cela, nous pourrions conclure que les performances du nouveau système de rafraîchissement dépendent étroitement des conditions ambiantes (température et humidité relative), de même que la durée pendant laquelle le fonctionnement n'a pas d'effet sur les performances.

Le débit d'air et l'épaisseur de l'enceinte des fibres de palmier sont des facteurs très importants pour les différentes performances du système de rafraîchissement d'air.

Cette technique de rafraîchissement par humidification représente une solution adéquate pour assurer des microclimats confortables ou plus ou moins acceptables avec un meilleur coût dans les régions à climat chaud et aride.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Baali. M, (2012), contribution à la caractérisation et a l'exploration de la microstructure et des propriétés des constituants du palmier, mémoire de magistère, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie.

Guettaf. T, T, (2018), Modélisation du comportement mécanique des constituants du palmier dattier mémoire de doctorat, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie.

Agoudjil. B, Benchabane . A, Boudenne . A, Ibos. L, and Fois. M, (2011) "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," Energy and Buildings, vol. 43, pp. 491–497.

Amroune. S, (2016), Caractérisations mécaniques et étude de l'endommagement des matériaux composites renforcés par des fibres de palmier, thèse doctorat, université de 08 mai 1945 Guelma Algérie.

Benmansour. N, (2011), Etude des performances de produits renouvelables et locaux adaptés aux applications de l'isolation thermique dans le bâtiment, mémoire de magistère, Université El hadj Lakhdar Batna, Algérie.

Benaoune. Dj, (2012), Etude expérimentale du rafraichissement de l'air par évaporation d'eau, mémoire de magistère, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie.

Ben-said. K, (2016), Développement d'un non-tissé structurel à base de fibres naturelles, Ecole technologie supérieure université du Qubec Canada.

Benziouche S, E, (2010), "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.

Bishoyia. D, Sudhakara. K, (2017), Experimental performance of a direct evaporative cooler in composite-climate of India, Energy and Buildings 153 190–200, Bhopal, India.

Cabeza. F, (Mai 2002), Diagramme Psycho\Diagramme Psychrométrique, votre avenir nous engage, AFPA France.

Références bibliographiques

Ceylana. I, Ergüna. A, and Acara. B, Mustafa, et Aydinba. M, (2016), Psychometric and thermodynamic analysis of new ground source evaporative cooling system, *Energy and Buildings* 119 20–27, Karabuk University, Turkey.

Haba. B, (2017), Etude in-situ des performances énergétiques et mécanique des matériaux biosourcés et locaux, mémoire thèse Doctorat troisième cycle (LMD), Université El hadj Lakhdar Batna, Algérie.

Hachaichi. A, (2018), Etude de l'effet de la température de l'eau et du débit d'air sur les performances d'une installation de rafraîchissement par humidification, mémoire master, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Biskra>, site web consulté le 12 juin 2019.

K. Abdelouahed, (2005), "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, pp. 154.

Lahlouhi .Z, (2018), Étude expérimentale du rafraichissement de l'air par effet d'évaporation d'eau, master, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie.

Laknizi. A, Mahdaouic. M, Ben Abdellaha. A, Anounea. K, Bakhouyab. M, Ezbakhed. H, (2019), Performance analysis and optimal parameters of a direct evaporative pad cooling system under the climate conditions of Morocco, *Case Studies in Thermal Engineering* 13,100362, University, Abdelmalek Essaadi, Morocco.

Laurent Augier, M, (2007), Etude de l'élaboration de matériaux composites PVC/bois à partir de déchets de menuiserie : formulation, caractérisation, durabilité et recyclabilité thèse doctorat, L'institut National polytechnique de Toulouse France.

Masri. T, (2018), Contribution au développement des matériaux de construction à base des sous-produits du palmier dattier, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie.

Negoudi. A, (2015), «Etude de comportement mécanique des composites biosourcés Mémoire mastère académique université kasdi Merbah Ouargla, Algérie.

Références bibliographiques

Ould Henia., (2003). Choix climatiques et construction Zones arides et semi arides : La maison a cour de bou saada.EPFL.Suisse

S.H. Sellam, A. Moumми, A. Benmachiche, CH. Mehdid, (2017) Rafrachissement de l'Air par Effet d'Evaporation d'Eau en utilisant la Fibre de Palmier Dattier, Application dans les Zones Arides et Semi-Arides Engineering (ARCME'17), December 10-11, 2017, Université de Biskra, Algérie.

S.H. Sellam, A. Moumми, A. Benchabane, CH. Mehdid, and A. Benmachiche, (2018) Experimental performance of a direct evaporative cooler during summer in Biskra Region, Université Mohamed Khider, Biskra, Algeria.

Yahiaoui. L, (2011), Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres Végétales (Diss) mémoire de magistère, Université El hadj Lakhdar Batna, Algérie.

Annexes

Annexe A

Résultats expérimentaux obtenus

le : 04/06/2019															
fibres de palmier (3 cm)	Vair [m/s]	Qeau [l/min]	T1 [°C]	T4 [°C]	Teau [°C]	Th [°C]	Hav [%]	Hap [%]	Qeau cons [ml]	H ext [%]	T hum [%]	Qc	dH [%]	dT [°C]	eff [%]
09h00	1,5	0,3	31,36	26,89	25,5	19,9	39,3	59,1	150	37,7	20,61	718,772	21,4	4,47	0,416
10h00	1,5	0,3	31,65	26,01	23,2	19,6	36,6	61	275	35,8	20,42	906,907	25,2	5,64	0,502
11h00	1,5	0,3	32,09	26,05	22,7	19,8	35,9	60,1	475	34,3	20,41	971,226	25,8	6,04	0,517
12h00	1,5	0,3	33,67	26,59	22,9	20	33	56,2	650	31,4	20,89	1138,457	24,8	7,08	0,554
13h00	1,5	0,3	34,31	26,76	22,8	19,2	29,4	53,7	850	28,7	20,68	1214,033	25	7,55	0,554
14h00	1,5	0,3	35,88	27,05	22,9	20	28,9	51,5	1025	28,3	21,68	1419,856	23,2	8,83	0,622
15h00	1,5	0,3	37,98	27,67	23,1	20,2	25,5	49,4	1225	24,2	21,98	1657,838	25,2	10,31	0,644
16h00	1,5	0,3	38,74	27,97	23,2	19,8	23,6	49	1450	22,3	21,92	1731,806	26,7	10,77	0,640
17h00	1,5	0,3	38,91	28,25	23,4	19,8	23,3	47,8	1675	21,9	21,9	1714,118	25,9	10,66	0,627

le : 19/06/2019															
fibres de palmier (3 cm)	Vair [m/s]	Qeau [l/min]	T1 [°C]	T4 [°C]	Teau [°C]	Th [°C]	Hav [%]	Hap [%]	Qeau cons [ml]	H ext [%]	T hum [%]	Qc	dH [%]	dT [°C]	eff [%]
09h00	1,5	0,3	41,89	31	26,8	22,8	24,5	46,3	200	22,5	24,05	1751,102	23,8	10,89	0,610
10h00	1,5	0,3	42,55	30,76	26,1	22,5	22,2	46,7	475	22	24,31	1895,821	24,7	11,79	0,646
11h00	1,5	0,3	43,64	31,44	26,3	22,8	22,2	46,3	700	21,8	24,95	1961,748	24,5	12,2	0,653
12h00	1,5	0,3	44,25	31	26,1	22,6	20	44,4	975	18	23,96	2130,587	26,4	13,25	0,653
13h00	1,5	0,3	45,13	31,56		22,5	18,9	44,8	1250	17,5	24,3	2182,043	27,3	13,57	0,651
14h00	1,5	0,3	45,31	31,72	26,2	22,5	18	44,6	1500	17	24,22	2185,259	27,6	13,59	0,644

Annexes

15h00	1,5	0,3	45,05	31,68	26,2	22,3	18,7	45,2	1750	18,3	24,56	2149,883	26,9	13,37	0,653
16h00	1,5	0,3	44,29	31,29	25,9	22,5	19,5	47,8	2025	19	24,36	2090,388	28,8	13	0,652
17h00	1,5	0,3	43,72	31,25	26	22,6	20,1	48,5	2225	19,7	24,25	2005,164	28,8	12,47	0,640

le : 11/06/2019																
fibres de palmier (1 cm)	Vair [m/s]	Qeau [l/min]	T1 [°C]	T4 [°C]	Teau [°C]	Th [°C]	Hav [%]	Hap [%]	Qeau cons [ml]	H ext [%]	T hum [%]	Qc	dH [%]	dT [°C]	EER [-]	eff [%]
09h00	2,5	0,3	31,43	26,2	24,7	20,9	43,1	62,9	275	41,2	21,4	1401,632	21,7	5,23	77,179	0,521
10h00	2,5	0,3	33,15	26,47	23,5	20,6	36,9	58,2	475	35,4	21,45	1790,229	22,8	6,68	98,576	0,571
11h00	2,5	0,3	34,4	26,88	23,5	21,3	36,1	56,1	825	33,5	21,93	2015,348	22,6	7,52	110,972	0,603
12h00	2,5	0,3	36,83	27,44	23,5	20,6	28,9	52,1	1125	27,1	22,02	2516,505	25	9,39	138,567	0,634
13h00	2,5	0,3	38,6	27,59	23,4	20,7	26,5	48,3	1400	24,6	22,52	2950,662	23,7	11,01	162,474	0,685
14h00	2,5	0,3	38,74	27,4	23,3	20,5	26,2	49	1750	28	23,6	3039,102	21	11,34	167,343	0,749
15h00	2,5	0,3	40,21	27,94	23,3	19,8	22,3	46,6	2025	20,8	22,4	3288,340	25,8	12,27	181,067	0,689
16h00	2,5	0,3	40,09	27,84	23	20	20,2	48,6	2300	21,5	22,54	3282,980	27,1	12,25	180,772	0,698
17h00	2,5	0,3	40,3	27,67	23	20,1	21,3	48,9	2600	19,3	21,96	3384,820	29,6	12,63	186,380	0,689

le : 10/06/2019																
fibres de palmier (3 cm)	Vair [m/s]	Qeau [l/min]	T1 [°C]	T4 [°C]	Teau [°C]	Th [°C]	Hav [%]	Hap [%]	Qeau cons [ml]	H ext [%]	T hum [%]	Qc	dH [%]	dT [°C]	EER [-]	eff [%]
09h00	2,5	0,3	34,37	26,87	24,8	18,8	25,1	47,7	425	24,2	19,57	2009,988	23,5	7,5	110,677	0,507
10h00	2,5	0,3	35,53	26,28	21,9	19,1	24,3	48	775	22,9	19,99	2478,985	25,1	9,25	136,501	0,595
11h00	2,5	0,3	36,51	26,88	22,2	19,3	22,5	46,3	1100	20,3	19,88	2580,825	26	9,63	142,109	0,579
12h00	2,5	0,3	37,52	27,18	22,2	19,2	21,4	45	1425	20,3	20,52	2771,103	24,7	10,34	152,586	0,608
13h00	2,5	0,3	38,57	27,36	22,1	19,2	18,6	44,8	1800	18,7	20,69	3004,262	26,1	11,21	165,425	0,627
14h00	2,5	0,3	41,18	28,16	22,2	20,1	16,6	42,8	2175	15,4	21,15	3489,339	27,4	13,02	192,135	0,650
15h00	2,5	0,3	42,62	28,57	22,4	19,9	16,1	41,8	2500	14,8	21,77	3765,378	27	14,05	207,335	0,674
16h00	2,5	0,3	42,87	28,1	22,2	20	15,3	44,7	2925	13,1	21,26	3958,336	31,6	14,77	217,960	0,683
17h00	2,5	0,3	41,59	28,25	22,5	20,3	18,2	43,9	3325	15	21,25	3575,099	28,9	13,34	196,857	0,656

le : 05/06/2019																
fibres de palmier (3 cm)	Vair [m/s]	Qeau [l/min]	T1 [°C]	T4 [°C]	Teau [°C]	Th [°C]	Hav [%]	Hap [%]	Qeau cons [ml]	H ext [%]	T hum [%]	Qc	dH [%]	dT [°C]	EER [-]	eff [%]
09h00	1,5	0,3	31,36	26,89	25,5	19,9	39,3	59,1	150	37,7	20,61	718,772	21,4	4,47	106,901	0,416

Annexes

10h00	1,5	0,3	31,65	26,01	23,2	19,6	36,6	61	275	35,8	20,42	906,907	25,2	5,64	134,881	0,502
11h00	1,5	0,3	32,09	26,05	22,7	19,8	35,9	60,1	475	34,3	20,41	971,226	25,8	6,04	144,447	0,517
12h00	1,5	0,3	33,67	26,59	22,9	20	33	56,2	650	31,4	20,89	1138,457	24,8	7,08	169,319	0,554
13h00	1,5	0,3	34,31	26,76	22,8	19,2	29,4	53,7	850	28,7	20,68	1214,033	25	7,55	180,559	0,554
14h00	1,5	0,3	35,88	27,05	22,9	20	28,9	51,5	1025	28,3	21,68	1419,856	23,2	8,83	211,170	0,622
15h00	1,5	0,3	37,98	27,67	23,1	20,2	25,5	49,4	1225	24,2	21,98	1657,838	25,2	10,31	246,565	0,644
16h00	1,5	0,3	38,74	27,97	23,2	19,8	23,6	49	1450	22,3	21,92	1731,806	26,7	10,77	257,566	0,640
17h00	1,5	0,3	38,91	28,25	23,4	19,8	23,3	47,8	1675	21,9	21,9	1714,118	25,9	10,66	254,935	0,627

le : 06/06/2019																
fibres de palmier (3 cm)	Vair [m/s]	Qeau [l/min]	T1 [°C]	T4 [°C]	Teau [°C]	Th [°C]	Hav [%]	Hap [%]	Qeau cons [ml]	H ext [%]	T hum [%]	Qc	dH [%]	dT [°C]	EER [-]	eff [%]
09h00	2	0,3	32,16	26,23	23,6	19,2	33,1	53,3	150	32,3	20,01	1271,384	21	5,93	106,550	0,488
10h00	2	0,3	33,35	26,32	22,4	19,2	29,5	50,8	350	27,7	19,77	1507,223	23,1	7,03	126,315	0,518
11h00	2	0,3	34,04	26,34	22,2	19	27,9	51,6	575	27	20,07	1650,870	24,6	7,7	138,353	0,551
12h00	2	0,3	35,05	26,77	22,4	19,2	27,2	52,1	775	27,1	20,79	1775,221	25	8,28	148,774	0,581
13h00	2	0,3	36,22	27,18	22,5	19,6	26,1	49	975	25,6	21,19	1938,164	23,4	9,04	162,430	0,601
14h00	2	0,3	37,22	27,86	22,9	20	24,1	46,9	1300	22,6	21,01	2006,772	24,3	9,36	168,180	0,577
15h00	2	0,3	38,59	27,94	23	20	23,4	46,6	1575	21,1	21,45	2283,346	25,5	10,65	191,358	0,621
16h00	2	0,3	41,02	28,67	23,2	20,5	21	45,7	1875	19,2	22,38	2647,824	26,5	12,35	221,904	0,663
17h00	2	0,3	41,36	29,05	23,2	20,8	19,3	45	2200	17,9	22,14	2639,248	27,1	12,31	221,185	0,640

le : 20/06/2019																
fibres de palmier (3 cm)	Vair [m/s]	Qeau [l/min]	T1 [°C]	T4 [°C]	Teau [°C]	Th [°C]	Hav [%]	Hap [%]	Qeau cons [ml]	H ext [%]	T hum [%]	Qc	dH [%]	dT [°C]	EER [-]	eff [%]
09h00	4,5	0,3	38,36	28,43	24,6	22,8	30,8	64,9	350	30,3	23,98	4790,203	34,6	9,93	93,834	0,691
10h00	4,5	0,3	39,68	28,97	24,6	23,1	29,7	63	875	29,5	24,7	5166,473	33,5	10,71	101,205	0,715
11h00	4,5	0,3	40,89	29,44	24,9	23,7	28,6	61,8	1425	27,4	24,93	5523,447	34,4	11,45	108,197	0,717
12h00	4,5	0,3	41,36	29,71	25	23,5	27,2	61	1975	26,9	25,1	5619,926	34,1	11,65	110,087	0,716
13h00	4,5	0,3	41,65	29,82	25,1	23,5	26	59,4	2525	25,4	24,83	5706,758	34	11,83	111,788	0,703
14h00	4,5	0,3	41,26	29,58	24,6	23,3	26,7	61,3	3225	26,1	24,78	5634,398	35,2	11,68	110,371	0,709
15h00	4,5	0,3	40,51	29,46	24,4	23,5	27,5	62	3725	26,7	24,45	5330,488	35,3	11,05	104,417	0,688
16h00	4,5	0,3	41,35	29,8	24,7	23,1	26	61	4300	25,5	24,65	5571,687	35,5	11,55	109,142	0,692
17h00	4,5	0,3	40,7	29,38	24,1	23,3	27,1	61,6	4875	26,3	24,46	5460,735	35,3	11,32	106,969	0,697

Résumé

Le travail représente une étude expérimentale d'un système de rafraîchissement de l'air chaud par effet d'évaporation d'eau, l'objectif de notre étude est d'évaluer expérimentalement les performances thermiques de ce système de rafraîchissement de l'air chaud et sec par humidification, avec l'utilisation des fibres végétales de palmier dattier (luffe) comme des enceintes d'évaporation en plusieurs épaisseurs, sous les conditions climatiques des zones arides et chaudes, cas de la région de Biskra. Pour cela, des campagnes de mesure seront entamées pour quantifier différents paramètres essentiels, telles que l'humidité relative, la température et le débit d'air, la température et la consommation d'eau.

Mots clés: Rafraîchissement de l'air chaud, Evaporation; Fibre de palmier dattier, Efficacité, Capacité.

Abstract

The work represents an experimental study of an evaporative cooling system; the objective of our study is to evaluate experimentally, the thermal performance of this system, with the use of date palm fibers (luff) as an evaporation pad in several thicknesses, under the climatic conditions of the arid and hot areas, the case of the region of Biskra. For this, measurement campaigns will be started to quantify various essential parameters, such as relative humidity, temperature and airflow, water temperature and water consumption.

Keywords: Air cooling, Evaporation; Date palm fiber, Efficiency, Capacity.

المخلص

يمثل العمل دراسة تجريبية لنظام تبريد الهواء الساخن من خلال تأثير تبخر الماء ، والهدف من دراستنا هو إجراء تقييم تجريبي للأداء الحراري لنظام تبريد الهواء الساخن. والجاف بواسطة الترطيب ، مع استخدام ألياف نبات النخيل (ليف) كحاويات للتبخر بسمك متغير، في ظل الظروف المناخية للمناطق الفاحلة والساخنة ، حالة منطقة بسكرة. لهذا الغرض، سيتم البدء في عمليات القياس لتحديد المعايير الأساسية المختلفة ، مثل الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة للهواء وتدفق الهواء ودرجة حرارة واستهلاك المياه.

كلمات البحث : تلطيف الهواء، التبخير، ألياف نخيل التمر، الكفاءة، القدرة.