



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah – Ouargla
Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, des Sciences de
la Terre et de l'Univers



Département des énergies renouvelables

Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

Présenté par :

Mohammed KHOULDAT

Mohammed FENTIZ

Thème

Evaluation des performances d'un système de refroidissement par évaporation de l'eau dans les régions arides en utilisant des fibres naturelles

Soutenu publiquement le :

Devant le jury :

Hocine MAAMMEUR	MCB	Président	UKM Ouargla
Bachir BOUCHEKIMA	Pr	Examineur	UKM Ouargla
Amar ROUAG	MCB	Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire 2020/2021

Dédicace

Je dédie ce travail à mes très chères parentes.

A mes frères et sœurs.

A toute ma grande famille.

A tous mes chers amis.

A tous qui m'aiment.

A mon collègue Mohammed Fentiz.

Mohammed KHOUILDAT

Dédicace

*nous avons le grand honneur de dédier ce modeste
travail à :*

Toute la famille

A tous nos amis

A tous nos camarades des groupes

A tous les amis d'études

*A tous les enseignants et toutes les enseignantes qui
ont contribué*

A nos formations tout au long de nos vies d'étude.

A mon collègue Mohammed Khouildat.

Mohammed FENTIZ

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nos avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

*Premièrement et avant tout, nous adressons le grand remerciement à notre encadreur **M. Amar ROUAG** pour sa supervision, Accompagnement, conseil et encouragement tout au long de ce travail.*

Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous Les membres du jury, qui a accepté de lire et de juger nos actes.

Nous voulons également remercier tous les étudiants de notre promotion et nous souhaitons le bon courage à tous les étudiants pour finir ces études.

Nous voulons également remercier tout ce qui participe de réaliser ce mémoire ce commence par nos parents.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Dédicace	I
Remerciements.....	III
Sommaire	IV
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Nomenclature	IX
Introduction générale.....	2
Chapitre I : Généralités sur les systèmes de refroidissement par évaporation de l'eau	
I.1.Introduction.....	5
I.2. Le système de refroidissement par pulvérisation de l'eau.....	5
I.3. Système à refroidisseur par évaporation de l'eau.....	6
I.4. Les types des systèmes de refroidissement par évaporation de l'eau.....	6
I.4.1. Refroidissement évaporatif direct	6
I.4.2. Refroidissement évaporatif indirect	7
I.4.3. Refroidissement évaporatif à deux étages.....	8
I.5. Définition de tour de refroidissement.....	8
I.6. Classification selon le mode d'échange.....	10
I.6.1. Systèmes de refroidissement par voie humide.....	10
I.6.1.1. Tour ouverte.....	10
I.6.1.2. Tour fermée avec échangeur tubulaire intérieur à la tour.....	11
I.6.2. Systèmes de refroidissement hybride (par voie sèche et humide).....	12
I.6.2.1. Tour hybride ouverte.....	12
I.6.2.2. Tour hybride fermée.....	12
I.6.3. Les systèmes de refroidissement utilisant l'air sec.....	13
Chapitre II : Synthèse bibliographique	
Introduction.....	15

SOMMAIRE

Système de refroidissement par évaporation de l'eau « à évaporation direct»	15
Conclusion.....	21
Chapitre III : Etude expérimentale	
III.1 Matériels et méthodes.....	23
III.1.1. Préparation et construction de coussinets en fibres de palmier dattier ou la paille et la laine.....	23
III.1.2. Description de la configuration DEC expérimentale.....	24
III.2 Instrumentation.....	26
III.3 Analyse des performances du DEC.....	27
Chapitre IV : Résultats et discussion	
Introduction.....	30
IV.1 Résultats expérimentaux.....	30
IV.2 Système de refroidissement par pulvérisation.....	33
IV.2.1 Effet de la température ambiante sur la température de sortie de l'air.....	33
IV.2.2 Effet de l'humidité d'entrée sur l'humidité de sortie de l'air.....	35
IV.2.3 Effet de l'épaisseur du tampon sur la température et l'humidité de sortie.....	37
IV.2.4 Quantité d'eau évaporée au fil du temps dans toutes les fibres naturelles.....	38
IV.2.5 Évolution de la puissance de refroidissement.....	38
Conclusion.....	41
Conclusion générale.....	43
Références bibliographiques	45

LIST DES FIGURE

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de refroidissement par évaporation de l'eau .

Figure I-1 : Schéma descriptif du refroidissement par pulvérisation de l'eau.....	5
Figure I-2 : Refroidissement par évaporation.....	6
Figure I-3 : Refroidissement par évaporation directe.....	7
Figure I-4 : Refroidissement par évaporation indirecte.....	8
Figure I-5 : Schéma descriptif de la tour de refroidissement.....	9
Figure I-6 : Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour ouverte où l'eau dispersée provient directement du circuit à refroidir.....	11
Figure I-7 : Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour aérorefrigérant fermée avec échangeur tubulaire.....	11
Figure I-8 : Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour aérorefrigérant hybride ouverte.....	12
Figure I-9 : Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour aérorefrigérant hybride fermée	13
Figure I-10 : Image et schéma de principe de fonctionnement du système de refroidissement par aérorefrigérant sec.....	13

Chapitre II : Synthèse bibliographique.

Figure II-1 : Fibres d'eucalyptus.....	17
Figure II-2 : Chambre de refroidissement par évaporation avec fibres d'eucalyptus.....	18
Figure II-3 : Le matériel de test local.....	19
Figure II-4 : Concept d'un refroidissement par évaporation avec des matériaux poreux.....	20
Figure II-5 : Diagramme schématique de la configuration expérimentale.....	21

Chapitre III : Etude expérimentale.

Figure III-1 : Photos fibres de palmier dattier, de la laine de mouton et de paille de blé.....	23
Figure III-2 : Tampons de fibres de palmier dattier, de la laine de mouton, de paille de blé..	24
Figure III-3 : Photo du DEC expérimental réalisé à l'Université d'Ouargla	25
Figure III-4 : Schéma de la configuration DEC expérimentale	25
Figure III.5 : photos de instruments utilisés.....	27

Chapitre IV : Résultats et discussion.

Figure IV.1 . La température de sortie de l'air en fonction de la température ambiante.....	33
Figure IV.2 . La température de sortie de l'air en fonction de la température ambiante.....	34
Figure IV.3 . La température de sortie de l'air en fonction de la température ambiante.....	34
Figure IV.4 . La l'humidité de sortie de l'air en fonction de la l'humidité d'entr.....	35
Figure IV.5 . La l'humidité de sortie de l'air en fonction de la l'humidité d'entrée.....	36
Figure IV.6 . La l'humidité de sortie de l'air en fonction de la l'humidité d'entrée.....	36
Figure IV.7 .Effet de l'épaisseur du tampon sur la température de sortir.....	37
Figure IV.8 . Effet de l'épaisseur du tampon sur l'humidité de sortir.....	37

LIST DES FIGURE

Figure IV.9. Quantité d'eau évaporée en fonction de temps.....	38
Figure IV.10. Evolution de la puissance de refroidissement en fonction du temps.....	39
Figure IV.11. Evolution de la puissance de refroidissement en fonction du temps.....	39
Figure IV.12. Evolution de la puissance de refroidissement en fonction du temps.....	40

List des tableaux

List des tableaux

Tableau III.1 : Spécifications techniques des instruments de mesure utilisés dans la configuration expérimentale du DEC.....	26
Tableau IV.2 . Paramètres mesurés en entrée.....	31
Tableau IV.3 . Paramètres mesurés à la sortie.....	32

Nomenclature

Nomenclature :

Symboles	Définitions	Unité
B	Largeur du module de patin	m
H	Hauteur du module de patin	m
S	Surface	m^2
Cp	Chaleur spécifique	J / kg K
\dot{m}	Débit massique	kg / s
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection	W / m^2 K
q_m	Coefficient de transfert de masse convectif	kg / m^2 s
L	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	J / kg
T	Température	C
P	Pression	Pa
Q	Taux de transfert de chaleur	W
h_{fg}	Chaleur latente spécifique de l'évaporation de l'eau	[kJ/kg]
W_f	Puissance amusante	[W]
QL	Capacité de refroidissement latente	[W]
QS	Capacité de refroidissement sensible	[W]
EER	Ratio d'efficacité énergétique	

Symbole grecque	Définition	Unité
ω	Taux d'humidité de l'air	kg / kg
ζ	Coefficient de surface des pores par volume de rembourrage	m^2 / m^3
η	Efficacité de refroidissement	
v	Vitesse frontale de l'air	m / s
δ	Epaisseur du module de tampon	m
ρ	Densité	kg / m^3

Indices	Définitions
A	Air
As	Air sec
E	Entrée
S	Sorte, sensible
H	Humidité
ℓ	Latente
liq	Liquide (l'eau)
Fdem	fibres de palmier dattier

Introduction générale

Introduction générale

La combustion chimique du pétrole, du gaz naturel et du charbon pour produire de l'énergie a provoqué un changement climatique très chaud de la couche d'ozone. Cela a créé une orientation vers les énergies renouvelables surtout en chauffage et refroidissement et ventilation pour préserver l'environnement.

L'une de ces alternatives de refroidissement est la technologie de refroidissement par évaporation, qui a joué un rôle efficace sur les systèmes de refroidissement en raison de l'avantage supplémentaire d'une climatisation avec plus d'humidité pour le confort des résidents du bâtiment. Contrairement au refroidissement à cycle fermé, le système de refroidissement par évaporation peut convertir la chaleur d'un milieu extrêmement sec en un milieu frais avec une humidité adéquate en utilisant beaucoup moins d'énergie que le refroidissement connu.

Afin d'obtenir ce milieu de confort adapté, il était nécessaire de se concentrer sur le transfert de chaleur et d'humidité dans le système de refroidissement par évaporation ainsi que sur le débit d'eau dans le système, qui est l'objectif principal de ce mémoire, où la température de l'air refroidi sera déterminée ainsi que la quantité d'eau évaporée en fonction de la température et du débit d'air à l'entrée du système. Ce travail se compose de quatre chapitres, précédés d'une introduction générale et à la fin d'une conclusion générale.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté un aperçu du système de refroidissement par évaporation, à la fois direct et indirect, nous avons également expliqué la tour de refroidissement et ses types les plus importants

Le deuxième chapitre est une compilation de résumés bibliographiques des techniques de refroidissement direct par évaporation de l'eau dans ce chapitre, nous avons passé en revue les travaux précédents effectués et les résultats obtenus.

Dans le chapitre trois, nous étudierons comment les fibres de palmier ou la laine et la paille (un nouveau matériau) peuvent être utilisées dans des expériences comme nouveau tampon de refroidissement par évaporation.

Dans le quatrième chapitre, on utilise le banc d'essai du système de refroidissement par évaporation de l'eau pour savoir l'effet de la température ambiante et l'humidité d'entrée sur la température de sortie d'air au système de pulvérisation de l'eau, ainsi que pour trouver l'effet de la vitesse de l'air et température ambiante sur l'efficacité de refroidissement par évaporation de l'eau.

Introduction générale

À la fin du mémoire, nous avons fait une conclusion générale englobant l'intérêt de l'ensemble des résultats obtenus lors de l'étude entreprise ainsi que les suggestions proposées dans le but d'améliorer le fonctionnement de système refroidissement par évaporation.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes de refroidissement par évaporation de l'eau

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de refroidissement par évaporation de l'eau**I.1 Introduction**

Le refroidissement d'un liquide dans l'air ambiant s'évapore car c'est un phénomène physique et il se refroidit et la chaleur qui provoque l'évaporation s'aspire dans l'air .

En employant l'enthalpie de vaporisation de l'eau un refroidissement se fait automatiquement La vapeur de l'eau peut diminuer de façon significative la température de l'air sec avec moins d'énergie si le climat est trop sec le refroidissement par évaporation de l'air et plus humide Pour un refroidissement par évaporation il faut qu'il est une source d'eau

I.2 Système de refroidissement par pulvérisation de l'eau

Le principe de fonctionnement du système à pulvérisation de l'eau est de créer un fin brouillard par des microgouttelettes d'eau froide en suspension. Le mélange eau – air doit être intime afin que l'évaporation de l'eau puisse se faire le plus rapidement possible. Quelques gouttelettes non évaporées risquent d'être entraînées par le jet d'air, si bien que l'on prévoit un casse-gouttelettes à la sortie : si l'air évolue seulement entre les lamelles, les gouttes se fracassent sur les ailettes, entraînées par leur masse cinétique. Un humidificateur à pulvérisation d'eau froide peut être utilisé soit pour l'humidification directe des grands locaux (halls de fabrication, ateliers, ...) et soit comme un des éléments insérés dans une centrale de traitement d'air [1].

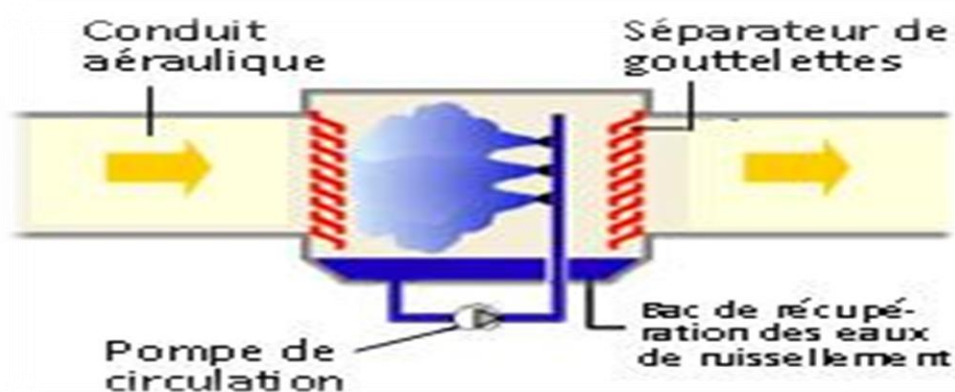


Figure I.1. Schéma descriptif du refroidissement par pulvérisation de l'eau [1]

I.3 Système à refroidisseur par évaporation de l'eau

Ce système fonctionne sur le principe de diminution de la température d'un flux d'air par évaporation de l'eau. Le processus de la transformation de l'eau à l'état vapeur nécessite de l'énergie qui est tirée du flux d'air. Le résultat était l'air plus frais et plus humide. L'efficacité d'un système de refroidissement par évaporation dépend de la surface de l'eau exposée aux courants d'air et le temps de séjour. La performance du système est limitée par la quantité d'humidité présente dans l'air, il fonctionne bien dans la zone de faible humidité [2].

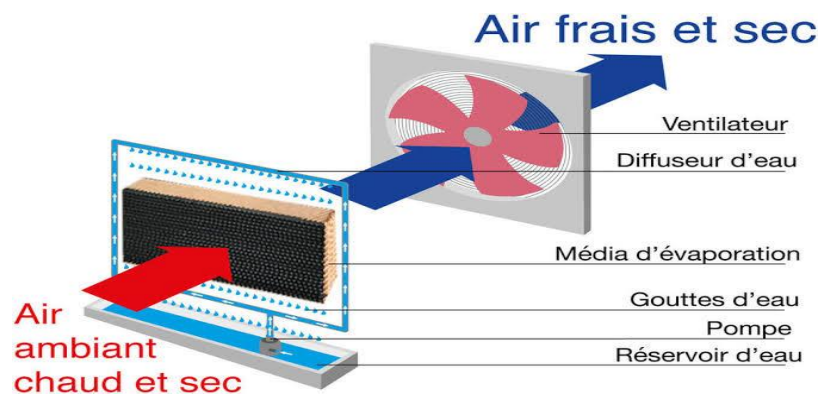


Figure I.2. Refroidissement par évaporation

I.4 Les types des systèmes de refroidissement par évaporation de l'eau

I.4.1. Refroidissement évaporation direct

Le refroidissement évaporation direct (circuit ouvert) est utilisé pour abaisser la température et augmenter l'humidité de l'air en utilisant la chaleur latente de l'évaporation, transformant l'eau liquide en vapeur d'eau. Dans ce processus, l'énergie dans l'air ne change pas. L'air chaud et sec est remplacé par de l'air frais et humide. La chaleur de l'air extérieur est utilisée pour évaporer l'eau. L'humidité relative augmente de 70 à 90 %, ce qui réduit l'effet rafraîchissant de la transpiration humaine. L'air humide doit être continuellement évacué vers l'extérieur, sinon l'air devient saturé et l'évaporation s'arrête.

Un refroidisseur à évaporation directe dit « mécanique » utilise un ventilateur pour aspirer l'air à travers une membrane mouillée, ou tampon, qui fournit une grande surface d'évaporation de l'eau dans l'air. L'eau est pulvérisée sur le dessus du tampon pour qu'elle puisse s'égoutter dans la membrane et la maintenir continuellement saturée. L'excès d'eau qui s'écoule du fond de la membrane est recueilli dans un bac et recerclé vers le haut. Les refroidisseurs à évaporation directe à un étage sont généralement de petite taille puisqu'ils ne

comprennent que la membrane, la pompe à eau et le ventilateur centrifuge. La teneur en minéraux de l'eau municipale entraînera un entartrage de la membrane, ce qui entraînera son colmatage pendant toute la durée de vie de la membrane. En fonction de cette teneur en minéraux et du taux d'évaporation, un nettoyage et un entretien réguliers sont nécessaires pour assurer une performance optimale. En règle générale, l'air d'alimentation provenant du refroidisseur évaporation à un étage doit être évacué directement (flux à passage unique) en raison de l'humidité élevée de l'air d'alimentation. Quelques solutions de conception ont été conçues pour utiliser l'énergie contenue dans l'air, comme diriger l'air vicié à travers deux feuilles de double vitrage, réduisant ainsi l'énergie solaire absorbée par le vitrage [3].

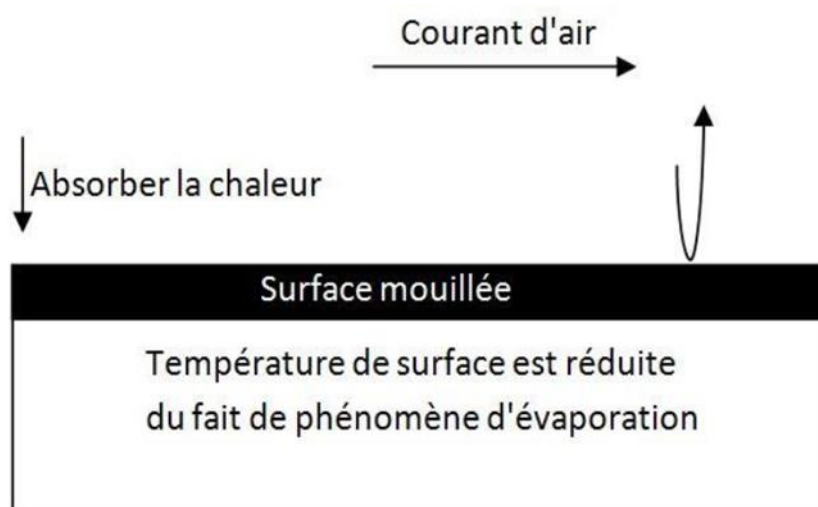


Figure I.3. Refroidissement par évaporation directe [4]

I.4.2. Refroidissement évaporation indirect

Le « refroidissement évaporation indirect » (en circuit fermé) est un procédé de refroidissement qui utilise le refroidissement évaporation direct en plus d'un échangeur de chaleur pour transférer l'énergie froide à l'air soufflé. L'air humide refroidi provenant du processus de refroidissement par évaporation directe n'entre jamais en contact direct avec l'air d'alimentation climatisé. Le flux d'air humide est libéré à l'extérieur ou utilisé pour refroidir d'autres appareil externe tel que les cellules solaires qui sont plus efficaces s'ils sont maintenus au frais. Un fabricant de refroidisseurs indirects utilise le cycle dit de Maisotsenko qui utilise un échangeur de chaleur itératif (multi-étapes) qui peut réduire la température de l'air du produit en dessous de la température du bulbe humide, et qui peut se rapprocher de la température du bulbe humide mais aussi de la température du produit (point de rosée) [5].

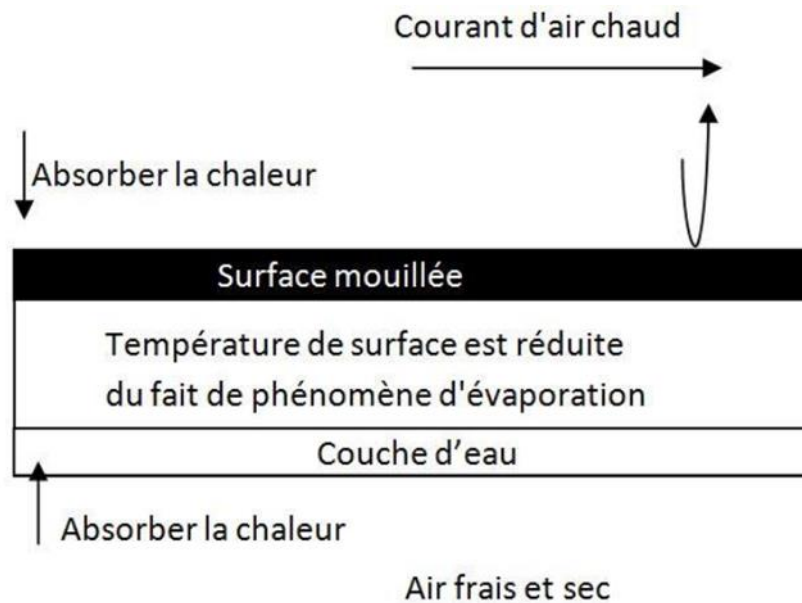


Figure I.4. Refroidissement par évaporation indirecte [4].

I.4.3. Refroidissement évaporation à deux étages:

Dans la première étape d'un refroidisseur à deux étages, l'air chaud est pré-refroidi indirectement sans ajout d'humidité (en passant à l'intérieur d'un échangeur de chaleur qui est refroidi par évaporation à l'extérieur). Dans la phase directe, l'air pré-refroidi passe à travers un tampon imbibé d'eau et absorbe l'humidité en refroidissant. Comme l'alimentation en air est pré-refroidie dans la première étape, moins d'humidité est transférée dans l'étape directe, pour atteindre les températures de refroidissement souhaitées. Le résultat, selon les fabricants, est un air plus frais avec une humidité relative comprise entre 50 et 70 %, selon le climat, comparativement à un système traditionnel qui produit environ 70 à 80 % d'humidité relative dans l'air conditionné [6]

I.5 Définition de tour de refroidissement

Une tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier qui permet de rejeter de la chaleur dans l'air d'environnement sous forme à la fois de chaleur sensible et de chaleur latente du fait de l'augmentation de son humidité. Il est possible de refroidir un fluide jusqu'à une température supérieure de quelques degrés à la température humide de l'air ambiant (et consommée de l'ordre de 5 % de celle que demanderait un refroidissement à eau. Tant sur le plan économique qu'environnemental, les tours de refroidissement sont des systèmes très intéressants, notamment en climat chaud et sec [7].

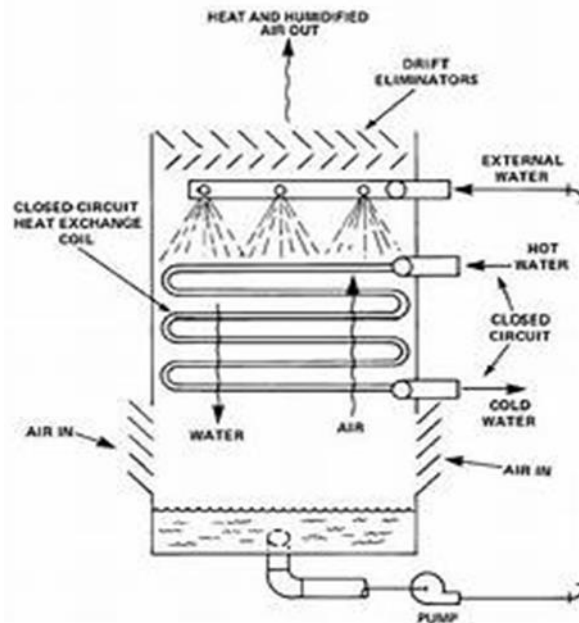


Figure I.5. Schéma descriptif de la tour de refroidissement.

Selon les températures souhaitées pour obtenir le rendement optimal du processus, on peut distinguer quatre catégories de technologie de refroidissement :

L'eau, avec refroidissement par passage unique ; aujourd'hui, beaucoup de procédés, particulièrement dans les applications industrielles, utilisent toujours ces systèmes à « eau perdue » (interdit par l'arrêté du 2 février 98, article 14) entraînant pollution, nuisance pour l'environnement et gaspillage de ce si précieux élément qu'est l'eau. Il est donc primordial de prendre en compte d'autres systèmes.

L'air évaporation : ce principe, appelé refroidissement évaporation, est celui utilisé dans les tours de refroidissement. En réutilisant 95% de l'eau de refroidissement, il est le plus adapté pour le refroidissement de procédés nécessitant des températures comprises entre 25°C et 45°C.

L'air sec, utilisé dans tous les aéro-réfrigérants secs, est destiné au procédé ayant un rendement optimal avec des températures supérieures à 45°C. Dans les applications de conditionnement d'air, beaucoup de procédés utilisent aujourd'hui des condenseurs à air pour évacuer la chaleur générée. Ces systèmes entraînent à la fois des consommations électriques et des coûts d'installation très élevés.

Le refroidissement mécanique par groupes frigorifiques qui sera utilisé pour des températures de refroidissement inférieures à 25°C et pour tout besoin en températures négatives[8].

I.6 Classification selon le mode d'échange

I.6.1. Systèmes de refroidissement par voie humide

Les tours refroidissement par voie humide sont également appelés systèmes de refroidissement évaporation. Dans ce type, l'eau de refroidissement qui traverse l'échangeur de chaleur est refroidi dans une tour de refroidissement où l'essentiel de la chaleur sera rejeté dans l'environnement.

Dans la tour de refroidissement, l'eau chauffée est dispersée sur le corps de refroidissement de la tour, puis est refroidie par contact avec de l'air, et est collectée dans un réservoir. Après quoi elle sera pompée de nouveau vers la source de chaleur pour être réutilisée en tant que réfrigérant. Le mouvement de l'air est créé naturellement, ou à l'aide de ventilateurs qui poussent/aspirent l'air dans la tour. Le refroidissement de l'eau est le résultat de l'évaporation d'une petite partie de l'eau et de la perte de chaleur sensible par refroidissement direct de l'eau par l'air, également appelé convection. Les températures de bulbe humide et sec influencent largement le niveau auquel ces systèmes peuvent fonctionner [9]. On distingue deux types des tours de refroidissement par voie humide (évaporation).

I.6.1.1. Tour ouverte

L'eau chaude à refroidir est amenée au sommet de l'appareil par une tuyauterie. Cette eau est fractionnée et distribuée sur les surfaces de ruissellement par des disperser. L'air pulsé par le ventilateur pénètre par la partie inférieure de la cellule et s'échappe par la partie supérieure après s'être échauffé et saturé, en passant entre les surfaces de ruissellement recouvertes d'eau. Avant d'échappé l'air, un pare-gouttelettes est disposé au sommet de la tour pour éliminer les gouttelettes d'eau dans l'air.

Sous l'action de la tension superficielle créée par la surface de ruissellement, l'eau se répartit uniformément, et ruisselle le long de la surface d'échange. L'eau, refroidie grâce à la ventilation mécanique, tombe dans le bassin incliné situé au bas de l'appareil. [8]

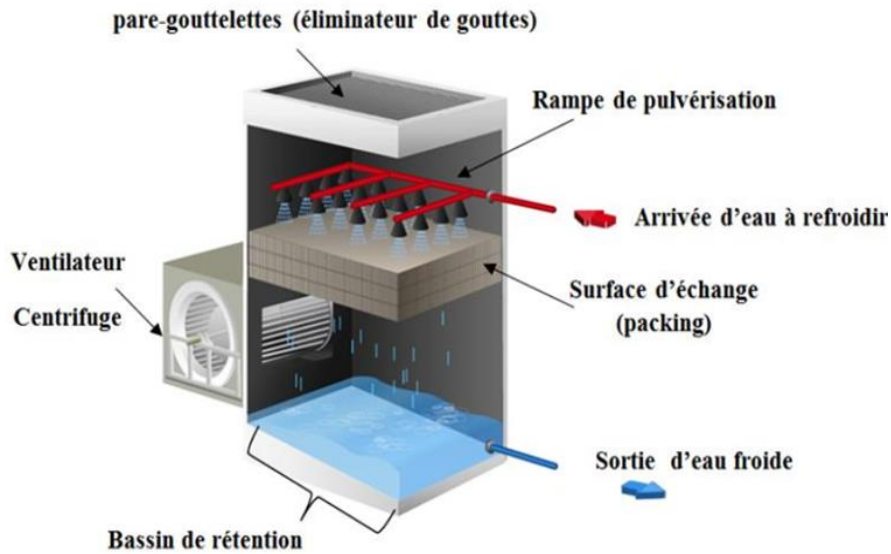


Figure I.6. Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour ouverte où l'eau dispersée provient directement du circuit à refroidir[10].

I.6.1.2. Tour fermée avec échangeur tubulaire intérieur à la tour

Elle fonctionne selon le même principe d'un tour ouverte, mais au lieu d'avoir l'eau du directement à refroidir c'est un échangeur tubulaire qui remplace la surface de ruissellement. Un bac contient la quantité d'eau nécessaire au refroidissement de l'échangeur celle-ci ruisselle sur les tubes de l'échangeur par des buses en partie haute de la tour (figure 1.7). La puissance disponible avec ces tours fermées est légèrement inférieure à celle d'une tour ouverte, mais il est tout de même possible d'atteindre 25°C en régime été (32°C, HR 40%) pour la température du fluide à refroidir. Ces performances ne sont possibles qu'en surdimensionnés la tour de refroidissement, comparativement à une tour ouverte (augmentation nette du débit d'air et de la taille).

- ✓La température de retour du fluide peut donc être comprise entre 25 et 50°C.
- ✓Les puissances thermiques évacuées varient de quelques centaines de kW à plusieurs MW [8].



Figure I.7. Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour aérorefrigérant fermée avec échangeur tubulaire [11].

I.6.2. Systèmes de refroidissement hybride (par voie sèche et humide)

I.6.2.1. Tour hybride ouverte

Ce type de tour est constitué d'une batterie sèche et d'un corps d'échange sur lequel l'eau du procédé ruisselle, le fluide à refroidir circule en premier lieu dans une batterie sèche située au sommet de la tour de refroidissement (en hiver).

Si le refroidissement en mode sec n'est pas suffisant (en été), le fluide est alors dispersé sur un corps d'échange, s'évapore en partie puis retourne à la température désirée vers le procédé [9].

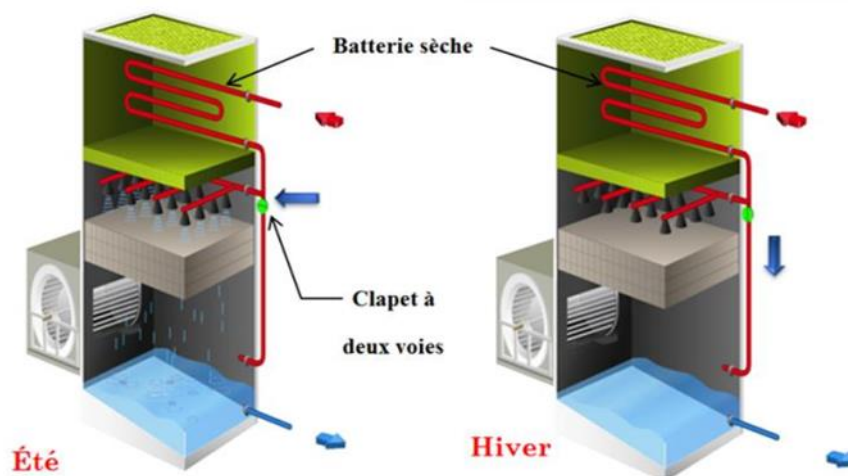


Figure I.8. Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour aéroréfrigérante hybride ouverte[10]

I.6.2.2. Tour hybride fermée

Ce type de tour est constitué d'une batterie sèche et d'un échangeur extérieur accolé avec une surface de ruissellement de l'eau ou un échangeur tubulaire interne à la tour. Deux cas peuvent donc se présenter :

- Le fluide à refroidir circule dans la batterie sèche, puis dans un échangeur à plaques intermédiaires accolé à la tour de refroidissement. L'autre circuit de cet échangeur à plaques est parcouru par de l'eau dispersée si nécessaire sur le corps d'échange de la tour.
- Le fluide à refroidir circule dans une batterie sèche située au sommet de la tour, puis circule si nécessaire dans un échangeur tubulaire interne à la tour sur lequel l'eau du circuit tour est dispersée[9].

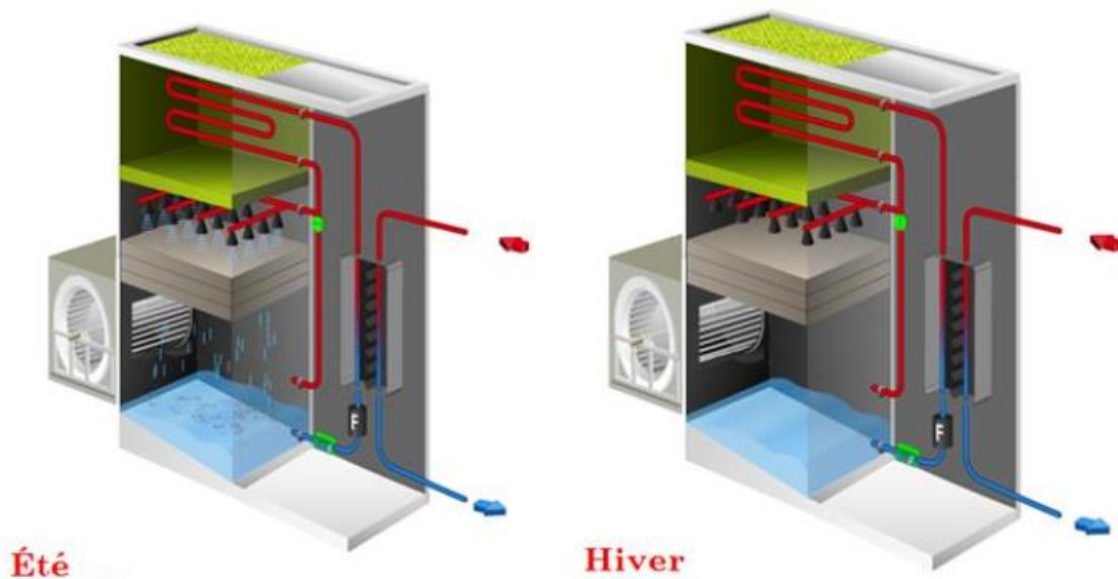


Figure I.9. Principe de fonctionnement du système de refroidissement par tour aéroréfrigérant hybride fermée[10].

I.6.3. Les systèmes de refroidissement utilisant l'air sec

Le fluide du procédé à refroidir circule dans les tubes d'une batterie à ailettes et est refroidi par de l'air circulant à l'extérieur des tubes, l'échange se faisant à courant croisé. La circulation d'air sur l'échangeur air/fluide à refroidir est assurée aux moyens de ventilateurs. Ce mode de refroidissement est souvent utilisé lorsque le médium ne doit être refroidi que de quelques degrés en deçà de la température ambiante [9]. Les performances de ce système sont donc moins élevées que celle des tours de refroidissement humides, et la consommation en électricité est plus importante, mais ce système permet de s'affranchir des traitements et du contrôle régulier de l'eau, et des coûts qui lui sont associés[12].

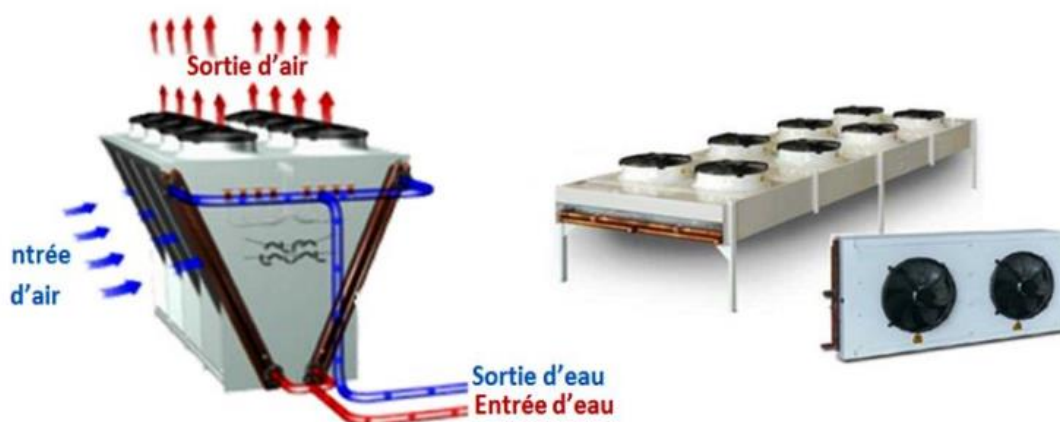


Figure I.10. Image et schéma de principe de fonctionnement du système de refroidissement par aéroréfrigérant sec[12].

Chapitre II

Synthèse bibliographique

Chapitre II. Synthèse bibliographique

Introduction

Comme nous avons mentionné dans le chapitre précédent que refroidissement par évaporation fonctionne en utilisant des processus induits de transfert de chaleur et de masse, où l'eau et l'air sont les fluides de travail. Il consiste en particulier dans l'évaporation de l'eau, induite par le passage d'un flux d'air, diminuant ainsi la température de l'air. Lorsque l'eau s'évapore dans l'air à refroidir, l'humidifier simultanément.

Notre objectif dans ce chapitre est de fournir un aperçu des technologies utilisées dans le domaine de refroidissement par évaporation dans les régions arides. Cela, il nous semble approprié de présenter les travaux expérimentaux qui ont utilisé des fibres naturelles et artificielles et des tampons de refroidissement, qui sont utilisés comme matériaux de refroidissement par évaporation.

M. Maerefat en 2010 [13] a étudié une technique à faible consommation d'énergie pour améliorer le refroidissement passif et la ventilation naturelle d'une maison solaire, utilisant un système composé d'une cheminée solaire (SC) et d'une cavité de refroidissement par évaporation (ECC). La capacité du système à répondre aux besoins thermiques requis des individus et les effets des principaux paramètres géométriques sur les performances du système ont été étudiés. La dépendance

de la performance du système sur la température de l'air extérieur a été étudiée pour déterminer le fonctionnement les conditions d'une efficacité appropriée, en ce qui concerne les critères de confort thermique. Pour déterminer la chaleur et

les caractéristiques de transfert de masse du système, un modèle mathématique basé sur des équations de conservation de la masse et l'énergie ont été développées et résolues par une méthode itérative. Les résultats montrent que le système est capable de fournir une bonne climatisation intérieure pendant la journée dans un salon, même avec intensité de 200 W / m^2 . Les résultats montrent que lorsque l'humidité relative est inférieure à 50%, le système peut faire une bonne climatisation intérieure même à 40 C , et une performance plus élevée est obtenue en utilisant ECC avec configuration cocourant. On constate que le système proposé peut être appliqué avec succès dans les zones chaudes et arides pour répondre aux attentes de confort thermique intérieur.

Takahiko Miyazaki et al. en 2011 [14] dans cette étude, la cheminée solaire a été accompagnée d'un refroidisseur évaporatif au point de rosée. Le refroidisseur évaporatif du

point de rosée a été intégré au plafond d'un immeuble. Le flux d'air induit par la cheminée solaire a été prédit par simulation, et l'effet de refroidissement du refroidisseur évaporatif au point de rosée a également été analysé par simulation de transfert de chaleur et de masse. Les résultats ont montré que le système était capable de faire face aux gains de chaleur internes d'un bureau ordinaire bâtiment. De plus, la géométrie optimale du canal de refroidissement par évaporation a été révélée.

Abdallah et al. en 2013 [15] ont étudié l'intégration des technique de refroidissement par évaporation avec la cheminée solaire pour améliorer la température intérieure de l'environnement dans la nouvelle ville d'Assiout, Égypte. Ils ont développé une intégration de la tour de refroidissement par évaporation directe avec un modèle de ventilation thermique multi-zone à cheminée solaire. La simulation est effectuée à l'aide d'un flux d'air multi-zone de couple commercial sous le logiciel COMIS-TRNSYS (Madison, WI, USA) pour évaluer la ventilation naturelle et le confort thermique intérieur. les résultats montrent que le système génère 130,5 m³ / h sous l'effet du rayonnement solaire uniquement et un minimum de 2 ACH sans coefficient de pression qui est considéré comme l'exigence minimale de l'ACH. Les résultats montrent que le nouveau système intégré interagit avec l'enveloppe du bâtiment et les conditions météorologiques pour réduire la températures intérieures qui atteignent 10 ° C à 11,5 ° C par rapport aux températures extérieures.

Madhan Anand Kumar en 2015 [16] a proposé une technique à faible consommation d'énergie pour améliorer le refroidissement passif et la ventilation naturelle dans une maison solaire, en utilisant un système composé d'une cheminée solaire (SC) et d'une cavité de refroidissement par évaporation (ECC).

La capacité du système à répondre aux besoins thermiques requis des individus et les effets des principaux paramètres géométriques sur les performances du système ont été étudiés. La dépendance de la performance du système à la température de l'air extérieur a été étudiée pour déterminer les conditions de fonctionnement pour une efficacité appropriée, en ce qui concerne les critères de confort thermique. Une analyse théorique est également effectuée pour étudier les performances du système et certains détails sur le dimensionnement du système sont également fournis. Trois différents matériaux de coussin de refroidissement comme la cellulose, la paille, la fibre de coco et le vétiver ont été comparativement étudiés.

Peng Xu et al. en 2016 [17] ont vérifié expérimentalement les performances des tissus pour les applications de refroidissement par évaporation indirect, ils sont utilisé fibres irrégulières d'une gamme de tissus (textiles) tissés à partir de diverses fibres ont été testés

expérimentalement et comparés au papier Kraft dans la région de China .Il a été constaté que la plupart des tissus textiles ont des propriétés supérieures en termes de capacité d'évacuation de l'humidité, de diffusivité et d'évaporation. Comparé au papier Kraft, la capacité de mèche de certains tissus s'est avérée être 171% à 182% plus élevée, la capacité de diffusion 298% à 396% supérieure et capacité d'évaporation 77% à 93% supérieure. Une évaluation générale concernant à la fois le transfert d'humidité et les propriétés mécaniques, ont révélé que deux des tissus étaient le plus approprié pour les applications de refroidissement évaporatif indirect.

Sudaporn Sudprasert en 2017 [18] a étudié l'application de cheminée solaire avec refroidissement par évaporation indirecte dans le climat chaud-humide, les résultats positifs ont été démontrés dans la réduction de la température de l'air pour répondre au confort thermique humain. L'effet de l'incorporation du refroidissement par évaporation sur la vitesse de l'air, le débit volumique, l'humidité relative et la température de l'air est examiné dans cette étude. De plus, la modélisation mathématique de ce système d'intégration est discutée.

Pervin Abohorlu Dođramacı et al. en 2017 [19] ont étudié expérimentalement le potentiel des fibres d'eucalyptus pour le refroidissement par évaporation dans la région Turkey, ils ont utilisé la fibre de eucalyptus pour réduire la consommation d'énergie (figures II.1 et II.2). Les résultats obtenus sont : la réduction maximale de la température de l'air se situait entre 11,3 ° C et 6,6 ° C, tandis que l'efficacité de refroidissement maximale était de l'ordre de 71% et 49% à 0,1 et 0,6 m/s respectivement les vitesses de l'air. Les capacités de refroidissement correspondantes ont également été calculées comme 108 W et 409 W indiquant une relation directement proportionnelle entre la vitesse de l'air et le refroidissement performance.



Figure II.1. Fibres d'eucalyptus [19]

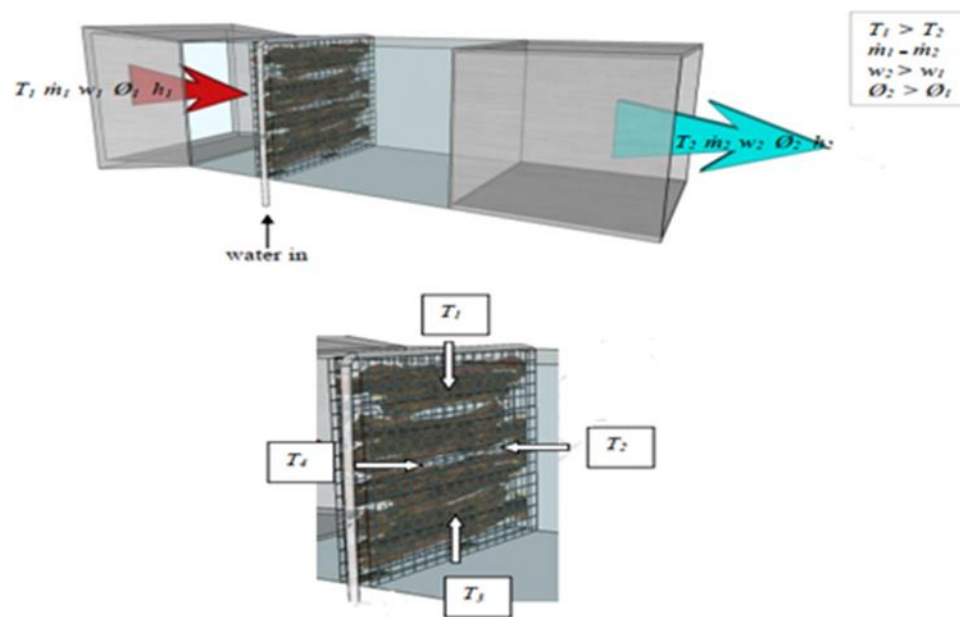


Figure II.2. Chambre de refroidissement par évaporation avec fibres d'eucalyptus [19]

Mehran Rabani en 2019 [20] a étudié principalement l'analyse des performances d'un nouveau système de refroidissement solaire passif dans la climatisation d'une salle sous climat aride au moyen de la méthode de la dynamique des fluides computationnelle (CFD). Le système de refroidissement passif se composait d'une cheminée solaire avec quatre absorbeurs inclinés, orientés symétriquement vers le sud-nord, et un canal souterrain humide. L'effet de refroidissement du canal souterrain humide a été reproduit à l'aide d'eau, modèle d'un système de pulvérisation (WSS). Les résultats ont révélé que la nouvelle conception de la cheminée solaire pourrait créer une climatisation naturelle souhaitable dans la pièce pendant la journée sans risque de stratification de la température de la zone d'occupation. L'application de WSS dans les prises d'air ambiant a satisfait aux exigences de confort thermique en diminuant la température intérieure moyenne est d'environ 7–13 ° C. En outre, il a amélioré l'efficacité de la température d'un système solaire passif d'au moins 80% impliquant une diffusion uniforme de l'air soufflé dans la zone d'occupation.

Pervin AbohorluDoğramaci et Devrim Aydin en 2019 [21] ont étudié expérimentalement la comparaison de nouveaux matériaux organiques pour des applications de refroidissement par évaporation directe en climat chaud et sec. Ils ont utilisé dans leurs études cinq nouveaux matériaux poreux naturels dont les fibres d'eucalyptus (EF), les tuyaux en céramique (CP), la pierre jaune (YS), le panier de scirpe sec (DBB) et le marbre de Chypre (CM) (voir la figure II.3) ont été expérimentalement étudiés pour les applications de la CE dans un climat

chaud et sec ($HR < 20\%$) (voir la figure II.4). Dans le cadre de l'étude, les matériaux ont été testés en soufflerie à différentes vitesses d'air variant de 0,1 à 1,2 m/s. et ils ont atteint les résultats suivants : EF et CP ont été identifiés comme les candidats les plus prometteurs valeurs d'efficacité variant entre 72 et 33% et entre 68 et 26% pour les vitesses de l'air entre 0,1 → 1,2 m/s. Contrairement à l'efficacité du refroidissement, les capacités de refroidissement ont montré une augmentation tendance avec l'augmentation de la vitesse de l'air et ils ont été trouvés dans la gamme de 0,13 → 0,71 kW et 0,12 → 0,55 kW pour EF et CP respectivement. Parmi les autres matériaux étudiés, YS était trouvé compétitif avec ces matériaux avec une efficacité et une capacité de refroidissement de l'ordre de deux 46% → 22% et 0,08 → 0,48 kW. En revanche, DBB et CM ont montré relativement pauvres performances où l'efficacité et la capacité de refroidissement obtenues avec eux étaient inférieures à 35% et 0,45 kW respectivement. Les résultats de l'étude ont également démontré une corrélation inversement proportionnelle entre le refroidissement capacité et efficacité. Selon cette corrélation, le débit massique optimal pour le système l'opération a été trouvée à 0,063 kg/s, ce qui était valable pour tous les matériaux testés et qui n'est la fonction de la température de l'air d'admission et de l'humidité relative. Cette corrélation sera utile pour optimisation des performances dans les applications refroidissement par évaporation.



Figure II.3.Le matériel de test local [21]

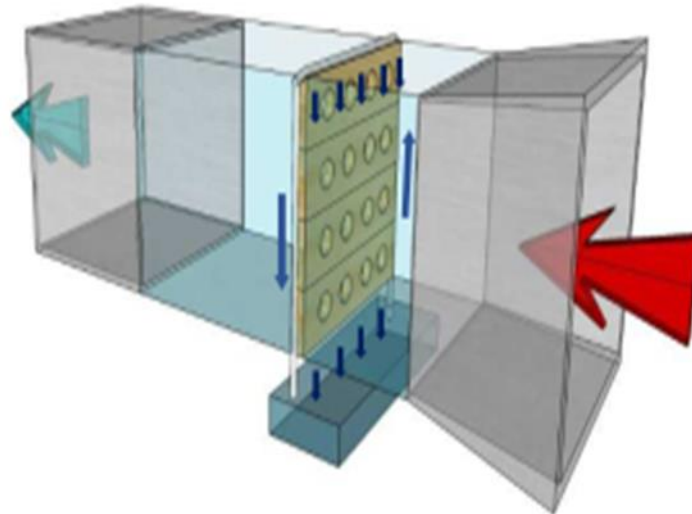


Figure II.4. Concept d'un refroidissement par évaporation avec des matériaux poreux[21]

S.A. Nada et al. en 2019 [22] ont analysé expérimentalement des performances énergétiques et exergetique d'un refroidisseur par évaporation directe utilisant un nouveau type de tampon dans la région de Egypt. Le refroidissement en papier cellulosique en structure de ruche est présenté. Quatre tailles de coussinets la surface du visage $0,335 \times 0,390 \text{ m}^2$ et les épaisseurs 35, 70, 105 et 140 mm sont examinées trois hygro-thermomètres ont été installés dans l'installation pour mesurer que les humidités et températures relatives à différents endroits dans la section du tunnel (voir la figure II.5). Les résultats montrent que l'efficacité de saturation, l'efficacité exergetique et l'efficacité globale exergetique du tampon proposé augmentent avec l'augmentation de la l'épaisseur du tampon et le débit d'eau et leurs valeurs les plus élevées obtenues sont respectivement de 84%, 92% et 74%.Les pertes de charge, de température et de refroidissement maximal obtenu pour ce tampon sont de 46 Pa, 18 °C et 6,26 kW, respectivement. De plus, le rapport d'efficacité énergétique le plus élevé est de 281 obtenu à 2 m/s vitesse de l'air. Enfin, de nouvelles corrélations expérimentales adimensionnelles pour prédire les performances du système les paramètres en termes de diverses conditions de fonctionnement et de taille du système sont présentés.

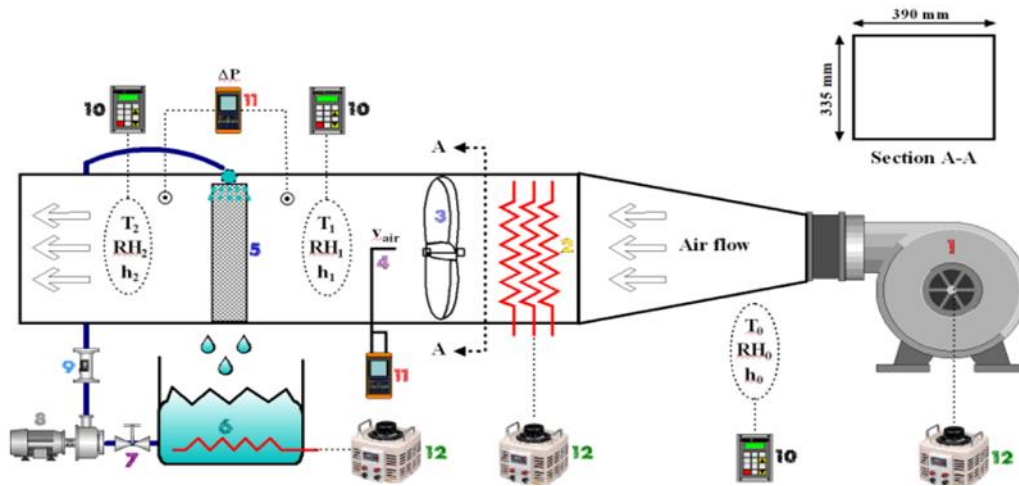


Figure II.5. Diagramme schématique de la configuration expérimentale[22].

Conclusion

Grâce à ce que nous avons étudié dans ce chapitre, nous avons pu savoir que de nombreuses techniques ont été développées pour concevoir et installer des structures de refroidissement par évaporation directe utilisant différentes fibres et tampons de refroidissement qui peuvent être produites localement et peuvent être utilisées à grande échelle car elles sont peu coûteuses et permettent d'atteindre la température approximative.

Selon l'étude bibliographique ci-dessus, nous avons remarqué que la plupart de ces expériences ont conduit à l'obtention de températures appropriées par rapport à la température du milieu extérieur dans lequel elle est élevée, en particulier dans laquelle des fibres naturelles ont été utilisées, à cet effet la partie suivante a été consacrée à une étude expérimentale de ses performances dans la région de Ouargla.

Chapitre III

Etude expérimentale

Chapitre III. Etude expérimentale.

III.1 Matériels et méthodes

III.1.1. Préparation et construction de tampon en fdem ou la paille et la laine

Dans cette étude, les fdem (fibres de palmier dattier) ou la laine et la paille ont été utilisées dans les expériences comme nouveau coussin de refroidissement par évaporation (Figure III.1). Notre choix s'est porté sur les trois matières fibres et laine et paille comme matériau de coussin pour les raisons suivantes: i) ces fibres et la laine et la paille durables et naturelles ont une absorption d'eau importante, ii) une forte capacité de rétention d'eau, iii) des surfaces considérables, iv) en plus, étant donné leur forte disponibilité et leur faible coût, v) leur recyclage est utilisé

pour ne plus éliminer la saleté et la poussière. C'est pourquoi; que les fdem ou la laine et la paille peuvent être excellentes comme coussin de refroidissement par évaporation.

La matière première provient des résidus de récolte des palmiers dattiers originaires de la région de Ouargla et aussi la récolte du blé et l'élevage du mouton. Son élaboration a été obtenue en séchant les palmiers dattiers pour créer facilement des fibres fines. Après cela, les fibres ont été préparées, coupées et placées de manière uniforme et homogène à l'intérieur d'un cadre en maille métallique d'une surface spécifique de 0,09 m² pour créer le tampon et un autre cadre de même espèce par la paille ou la laine (Figure III.2).

Les campagnes de mesures ont été réalisées avec des épaisseurs de tampon de 20 et 30 mm. Le premier mesure 20 mm avec 311,5 g de fibres et le second 30 mm avec 356 g de fibres. Avant chaque expérience, les fibres ont été trempées dans l'eau pendant 24 heures, pour s'assurer que le tampon des fdem est mouillé à 100% et avec la même méthode par la paille et aussi la laine



Figure III.1. Photos fdem, de la laine de mouton et de paille de blé

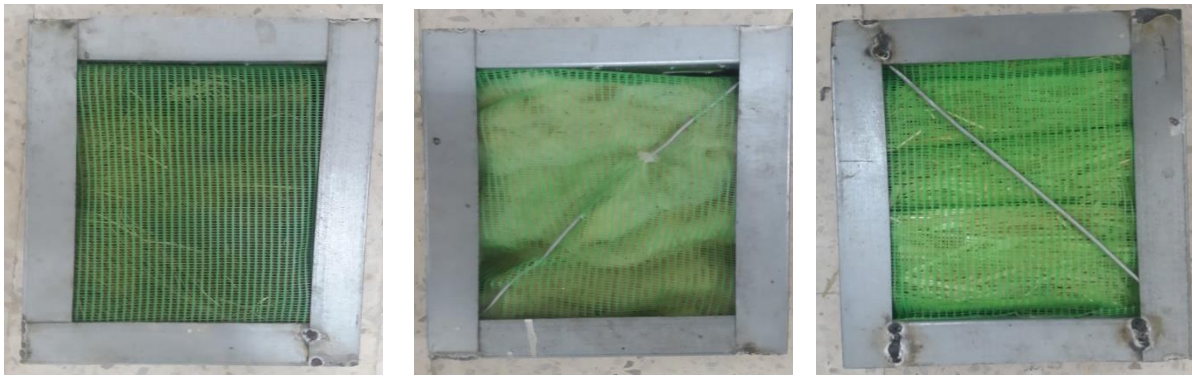


Figure III.2. Tampons de fdem, de la laine de mouton, de paille de blé

III.1.2. Description de la configuration DEC expérimentale

La configuration originale du DEC expérimental est conçue et installée à l'Université de Ouargla. Ce montage expérimental se compose d'un tunnel rectangulaire en verre et d'un panneau de polystyrène avec des épaisseurs de 0,4 et 02 cm respectivement. La longueur totale du DEC est de 100 cm et une zone d'entrée de $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$ (Figure. III.3. et III.4.). Le panneau de polystyrène a été utilisé comme isolant efficace pour réduire les pertes de chaleur avec l'extérieur. Dans cette étude, la paille ou la laine et les tampons de palmier dattier sont développés à partir de plusieurs couches minces de fdem ou de paille ou la laine reliées entre elles pour former un tampon d'évaporation d'épaisseurs 20, 30 mm et de dimensions $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$.

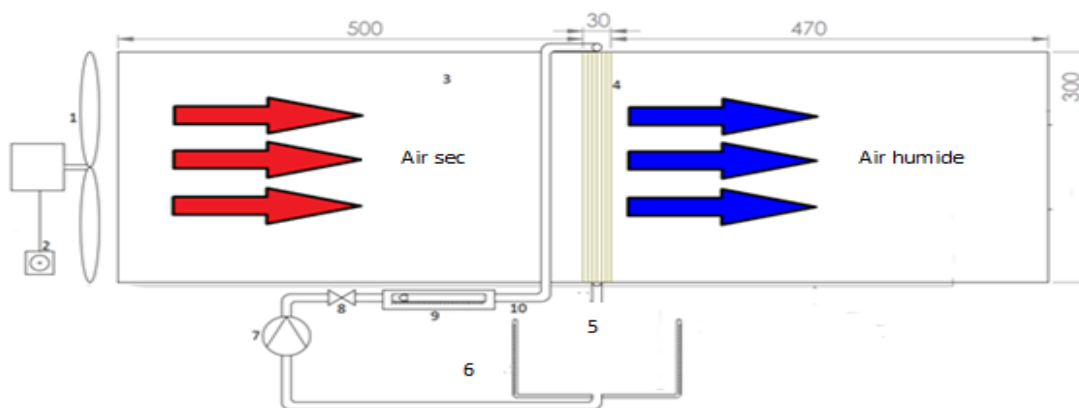
Toutes les expériences ont été réalisées dans les laboratoires pédagogiques de l'Université de Ouargla. Les tampons sont testés et placés 50 cm après l'entrée du tunnel. Le flux d'air ambiant est forcé dans le tunnel rectangulaire par un ventilateur soufflant. Le contrôle de ce ventilateur est assuré par un potentiomètre gradué pour donner un intervalle de débit massique d'air d'entrée compris entre 0,165 et 0,386 kg/s. L'opération d'arrosage du tampon a été réalisée de manière uniforme à l'aide d'un tube collecteur pour faire circuler de l'eau à température ambiante. Le processus se fait de haut en bas et l'eau drainée est collectée à la base du tampon à l'intérieur du réservoir de captage.

Les différents paramètres mesurés sont les variations d'humidité relative et de température à l'entrée et à la sortie du tunnel, les températures de l'eau, les débits massiques d'air, les consommations d'énergie et les quantités d'eau évaporée. Pour mesurer les variations d'humidité relative, un thermo-hygromètre a été utilisé. Deux détecteurs de température à résistance de type K installés à l'entrée et à la sortie du tunnel pour mesurer les températures de bulbe sec, et un autre détecteur a été installé dans le réservoir pour obtenir les températures de l'eau. Pour afficher et enregistrer les changements de température de l'entrée et de la sortie de l'installation DEC expérimentale, une carte d'acquisition de données a été utilisée et connectée

à un ordinateur. Un anémomètre à hélice est utilisé pour mesurer les vitesses moyennes des flux d'air. Le réservoir de collecte d'eau a été mis à l'échelle pour mesurer les quantités d'eau évaporée. Le tableau 1 présente les caractéristiques techniques des instruments de mesure utilisés dans la configuration expérimentale du DEC.



Figure III.3. Photo du DEC expérimental réalisé à l'Université d'Ouargla.



1) ventilateur; 3) tunnel; 4) Coussin en fibres de palmier dattier ou laine et paille; 5) tubes de drainage; 6) réservoir d'eau; 9) 10) Tube collecteur.

Figure III.4. Schéma de la configuration DEC expérimentale.

III.2 Instrumentation :

Tableau III.1. Spécifications techniques des instruments de mesure utilisés dans la configuration expérimentale du DEC.

Éléments	Spécifications techniques
DEC– Refroidisseur à évaporation directe	Configuration: tunnel rectangulaire horizontal (DEC en boucle ouverte) Matériau du tunnel: Plexiglas épaisseur: 0,004 m Polystyrène épaisseur: 0,02 m Matériau du tampon: Fibres de palmier dattier (feuille) ou paille ou laine
Ventilateur pour extraction d'air	Modèle: L300 Tension: 220 V Puissance: 130 W Vitesse de rotation: 1400 tr / min Spécifications: 300 mm Fréquence: 50 Hz
Pompe pour faire circuler l'eau	Marque: HANYU Modèle: B20-6 Tension: 220 à 240 V Fréquence: 50 Hz Puissance: 30 W Courant: 0,25 A Débit volumétrique: 17 L / min Spécification: 30 mm
Thermo-hygromètre pour mesurer l'humidité relative de l'air	Marque: testo Modèle: 625 Température de fonctionnement: -20 à +50 ° C Plage de mesure, 0 à 100% HR Résolution, 0,1% HR Précision, $\pm 2,5\%$ HR (5 à 95% HR)
Thermo-anémomètre à hélice pour mesurer la vitesse de l'air	Marque: KIMO Modèle: LVA Plage de mesure: 0 à 35 m / s Température de fonctionnement: 0 à +50 ° C Précision $\pm 0,1$ m / s pour 0,3 à 3 m / s (0,01 m / s de résolution) et résolution $\pm 0,3$ m / s pour 3,1 à 35 m / s (0,1 m / s de résolution) Marque: LUTRON Modèle: DW-6060 Température de fonctionnement: 0 à +50 ° C
Panneau de température numérique (NTC) pour obtenir la température de	Marque: EKO Modèle: TP3 Tension: 220 VAC Puissance: <3 W

l'eau	Plage de mesure: -30 à 110 ° C Résolution: 0,1 ° C pour (<100 ° C); 1 ° C pour (> 100 ° C) Résistance: 100 Ω
Thermomètres à résistance (PT100) pour obtenir les températures d'air d'entrée / sortie DEC	Plage de mesure (température): -200 à 850 ° C Plage de mesure (résistance): 0 à 400 Ω Température ± 0,35 ° X pour -200 ° C à 150 ° C (maximum (-40 à 70 ° C)) précision, à 70 ° C)) Mode 4 fils ± 0,15 ° C pour -200 ° C à 150 ° C (typique (25 ° C)) Marque: NI
Module d'entrée analogique RTD pour système NI Compact DAQ	Modèle: 9217 Type de module: PT100 RTD Nombre de canaux: 4 canaux d'entrée analogiques Température de fonctionnement: -40 à 70 ° C



Figure III.5 photos de instruments utilisés

III.3. Analyse des performances du DEC :

Certains concepts ont souvent été utilisés pour évaluer les performances thermiques du DEC, exprimées par:

L'efficacité de refroidissement par évaporation (efficacité de saturation) des coussinets en fibres de palmier dattier peut s'écrire (ASHRAE-133 2001):

$$\varepsilon = \frac{(T_{a,en} - T_{a,s})}{(T_{a,en} - T_{a,en,wt})} \tag{1}$$

Où $T_{a,en}$ est la température de bulbe sec de l'air d'admission; $T_{a,s}$ est la température de bulbe sec de la sortie

air; $T_{a,en,wt}$ est la température de bulbe humide de l'air d'admission.

À partir de l'équation (2), la capacité de refroidissement sensible (capacité de refroidissement) du DEC a été calculée en utilisant la relation suivante:

$$Q_s = m_a C_{p_a} (T_{a,en} - T_{a,s}) \quad (2)$$

Où m_a est le débit massique de l'air d'admission et C_{p_a} est la chaleur spécifique de l'air d'admission.

La capacité de refroidissement totale du DEC a été calculée par l'équation suivante (Cui et al.2015):

$$Q_{DEC} = Q_S + Q_L = m_a C_{p_a} (T_{a,en} - T_{a,s}) + m_a h_{fg} (\omega_{a,s} - \omega_{a,en}) \quad (3)$$

Ici, Q_L est la capacité de refroidissement latente du DEC; h_{fg} est la chaleur latente spécifique de l'évaporation de l'eau; $\omega_{a,s}$, out est le taux d'humidité de l'air de sortie et $\omega_{a,en}$, in est le taux d'humidité de l'air d'entrée. L'équation (4) ci-dessous a été utilisée pour déterminer le ratio d'efficacité énergétique (Lertsatitthanakorn et al.2006; Nada et al.2019):

$$EER = \frac{Q_s}{W_f} \quad (4)$$

Où W_f est la puissance du ventilateur.

Chapitre IV

Résultats et discussion.

Chapitre IV. Résultats et discussion.

Introduction :

Comme mentionné dans le chapitre précédent nous avons réalisé un bonc d'essai expérimental d'un système de refroidissement par évaporation de l'eau l'objectif principal est de tester les performances thermiques de trois types de fibres naturels à savoir la laine fdem fibre de paille dans la région de Sud ainsi nous avons également développé un modèle thermique en langage Matlab a fin de déterminer les principaux paramètres qui affectent un tel système

IV.1 Résultats expérimentaux :

Les expérimentations ont été réalisées en salle ouverte du 31 mai au 03 juin 2021 pour la période de débit massique d'air (0.19 ; 0.216 ; 0.2052 kg/sec) codifiée dans les tableaux 2 et 3 en lettres (A, B, C,). Des manipulations ont été effectuées de 09h15 à 17h15 pour chaque débit massique d'air et épaisseur de coussin ($L1 = 20$ mm et $L2 = 30$ mm), les températures de l'air et de l'eau, l'humidité relative de l'air et les quantités d'eau évaporée ont été obtenues.

Chaque période d'une heure a été mesurée pour obtenir un débit d'eau constant de 0,2 L/min. entrée et les mesures des paramètres de sortie sont données dans le Tableau 2 et le Tableau 3, respectivement.

Dans cette étude, l'acronyme à titre indicatif (A-L1 par exemple) a été utilisé pour faciliter et simplifier la lecture des données et l'interprétation des résultats.

Après la fin de chaque essai, l'opération de nettoyage du tunnel d'air rectangulaire et du réservoir d'eau est nécessaire, accompagnée de la préparation de nombreuses épaisseurs de plaquettes pour les prochaines campagnes de mesures.

Tableau IV.2. Paramètres mesurés à l'entrée

		Fdem		Fibres de laine	Fibres de paille
		1,8	2,1	2,0	1,9
Vitesse de l'air [m/s]		A		B	C
jour/mois/2021		31/05	01/06	02/06	03/06
		L1	L2	L1	L1
Ta,en [°C]	09:15	33,1	30,9	32,2	33,2
	10:15	33,2	31,3	33,5	33,4
	11:15	32,7	31,8	35,3	35,4
	12:15	36,2	32,7	35,8	36,6
	13:15	35,3	33,7	36,5	37,3
	14:15	34,7	34,8	37,6	37,7
	15:15	35,9	36,3	38,9	38,6
	16:15	35,4	36,7	40,2	36,6
	17:15	36,5	34,7	41,4	37,1
HRa,en [%]	09:15	31,2	28,5	31,7	27,4
	10:15	30,1	33,3	32,6	27,5
	11:15	28,4	29,2	29,9	24,4
	12:15	23,2	27,5	28,3	22,9
	13:15	25,3	25,3	25,2	21,8
	14:15	26,0	24,1	24,1	21,0
	15:15	22,8	19,6	20,4	20,6
	16:15	22,1	19	17,8	21,8
	17:15	21,4	24,1	16,6	22,5

Tableau IV.3. Paramètres mesurés à la sortie

Vitesse de l'air [m/s]		Fdem		Fibre de laine	Fibre de paille
		1,8	2,1	2,0	1,9
jour/mois/2021		A		B	C
		31/05	01/06	02/06	03/06
		L1	L2	L1	L1
Ta,s [°C]	09:15	30,1	25,5	29,5	26,1
	10:15	30,0	25,6	30,1	26,8
	11:15	30,3	25,7	30,2	28,8
	12:15	31,4	26,1	30,8	30,5
	13:15	32,1	26,4	31,4	31,8
	14:15	32,2	26,6	32,5	31,2
	15:15	32,8	27,3	32,4	30,4
	16:15	32,6	27,6	32,6	30,1
	17:15	31,6	27,8	32,8	30,9
HRa,s [%]	09:15	38,4	50,7	46,0	15,1
	10:15	39,4	58,3	45,5	14,9
	11:15	40,3	56,1	47,4	16,3
	12:15	35,9	53,2	44,3	15,5
	13:15	34,5	52,7	39,6	15,2
	14:15	44,2	51,2	38,9	16,8
	15:15	30,4	47,6	33,4	15,9
	16:15	30,1	47,1	36,3	14,9
	17:15	39,3	50,7	34,6	15,5
Tw [°C]	09:15	31	30	28	27
	10:15	32	29	29	28
	11:15	31	28	31	29
	12:15	29	29	30	27
	13:15	30	30	32	30
	14:15	31	30	31	28
	15:15	29	29	32	30
	16:15	29	29	29	29
	17:15	30	28	32	30
Quantité d'eau évaporée [ml]	09:15	360	150	200	225
	10:15	720	650	500	600
	11:15	1095	1125	800	975
	12:15	1475	1475	1100	1300
	13:15	1830	1925	1275	1675
	14:15	2195	2275	1625	2050
	15:15	2570	2700	1950	2425
	16:15	2930	3175	2300	2800
	17:15	3300	3550	2575	3150

IV.2 Système de refroidissement par pulvérisation :

IV.2.1. Effet de la température ambiante sur la température de sortie de l'air :

La Figure IV.1 illustre que l'effet de la température ambiante sur la température à la sortie pour le cas de fdem . Comme prévu, on remarque l'augmentation de la température de sortie lorsque la température ambiante augmente, mais cela ne signifie pas que le système n'est pas valable dans les zones chaudes, au contraire, car plus la température du milieu est élevée, plus l'écart entre celui-ci et la température extérieure. Par exemple à un degré de 36.5°C, la différence est de 5.1°C, tandis qu'à un degré de 32.7°C, la différence n'est que de 2.4°C. Donc la température de sortie est directement affectée par la température ambiante, et quant au système, il a besoin d'une température plus élevée pour de meilleures performances.

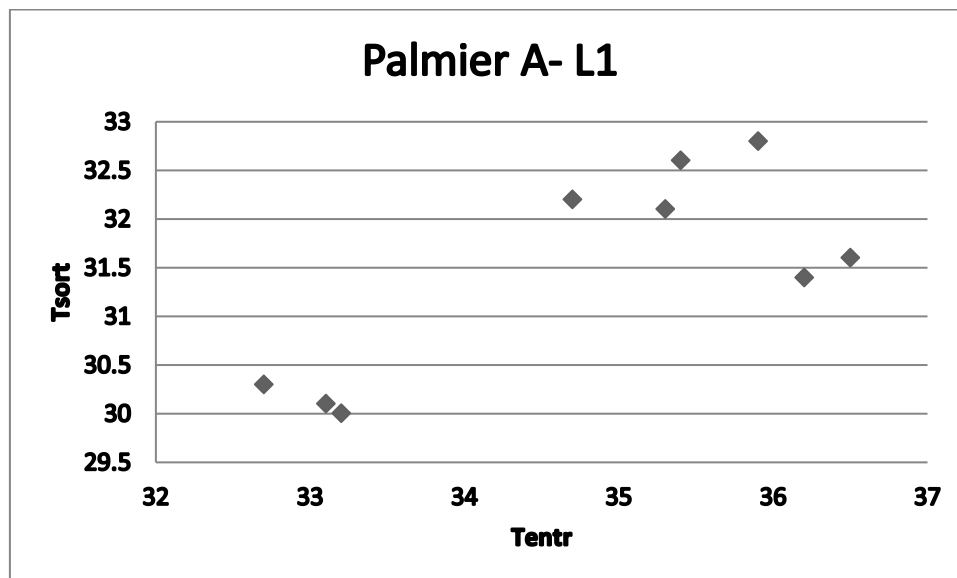


Figure IV.1. La température de sortie de l'air en fonction de la température ambiante

La Figure IV.2 illustre que l'effet de la température ambiante sur la température à la sortie pour la fibre de laine. On remarque l'augmentation de la température de sortie lorsque la température ambiante augmente, mais cela ne signifie pas que le système n'est pas valable dans les zones chaudes, au contraire, car plus la température du milieu est élevée, plus l'écart entre celui-ci et la température extérieure. Par exemple à un degré de 41.4°C, la différence est de 8.6°C, tandis qu'à un degré de 32.2°C, la différence n'est que de 2.7°C. Donc la température de sortie est directement affectée par la température ambiante, et quant au système, il a besoin d'une température plus élevée pour de meilleures performances.

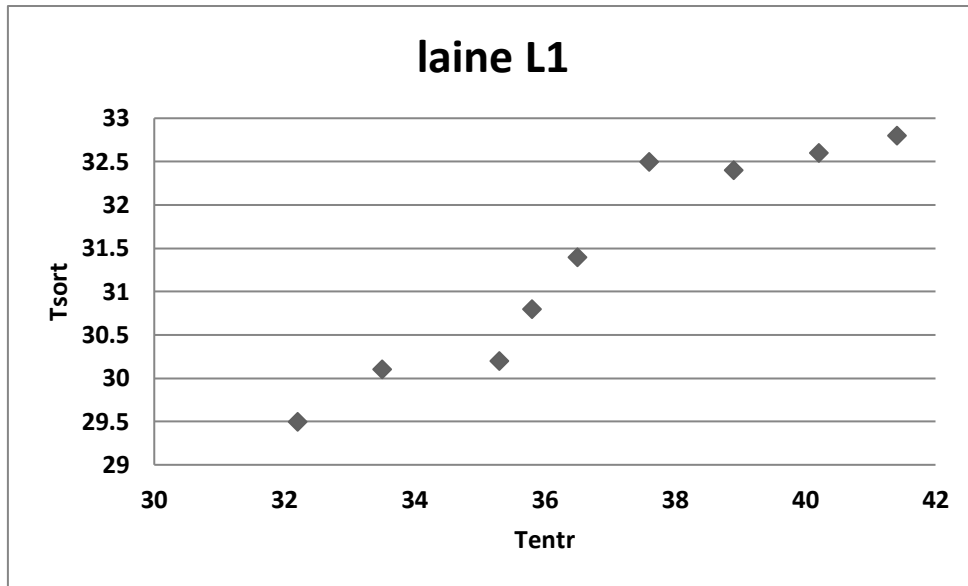


Figure IV.2. La température de sortie de l'air en fonction de la température ambiante

La Figure IV.3 illustre que l'effet de la température ambiante sur la température à la sortie pour le cas de la fibre de palmier dattier. Cette figure montre que l'augmentation de la température de sortie lorsque la température ambiante augmente, mais cela ne signifie pas que le système n'est pas valable dans les zones chaudes, au contraire, car plus la température du milieu est élevée, plus l'écart entre celui-ci et la température extérieure. Par exemple à un degré de 38.4°C, la différence est de 8.2°C, tandis qu'à un degré de 33.2°C, la différence n'est que de 7.1°C. Donc la température de sortie est directement affectée par la température ambiante, et quant au système, il a besoin d'une température plus élevée pour de meilleures performances.

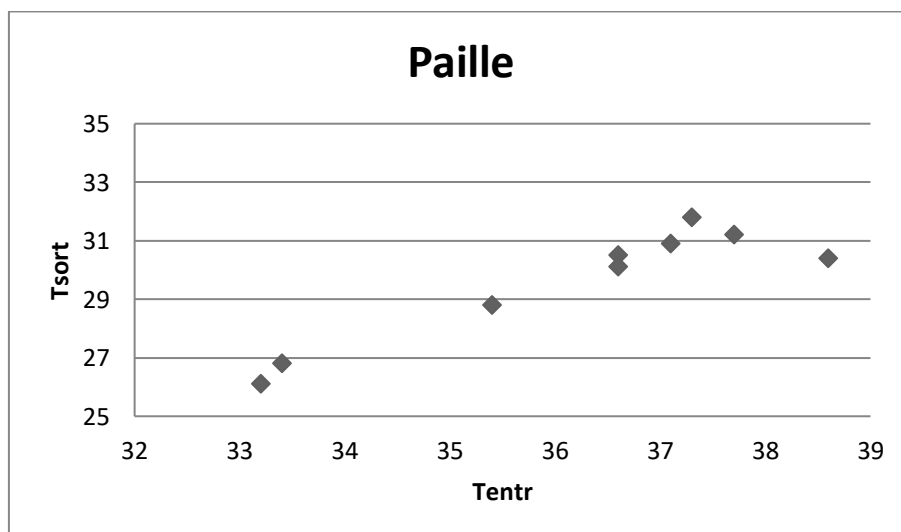


Figure IV.3. La température de sortie de l'air en fonction de la température ambiante

IV.2.2 Effet de l'humidité d'entrée sur l'humidité de sortie de l'air

La figure IV.4. montre l'effet de l'humidité ambiante sur l'humidité de l'air de sortie dans pour le cas de fdem. Comme le montre cette figure, la relation entre l'humidité ambiante et l'humidité à la sortie est une relation directe, de sorte que plus le l'humidité ambiante, l'humidité de sortie a augmenté. C'est parce que le système repose sur l'humidité lorsque l'air se refroidit. Comme prévu, lorsque l'humidité ambiante est de 26%, l'humidité de sortie est de 44 %. Ce système a donc de meilleures performances dans les zones sèches, contrairement aux zones humides, le rendement est faible.

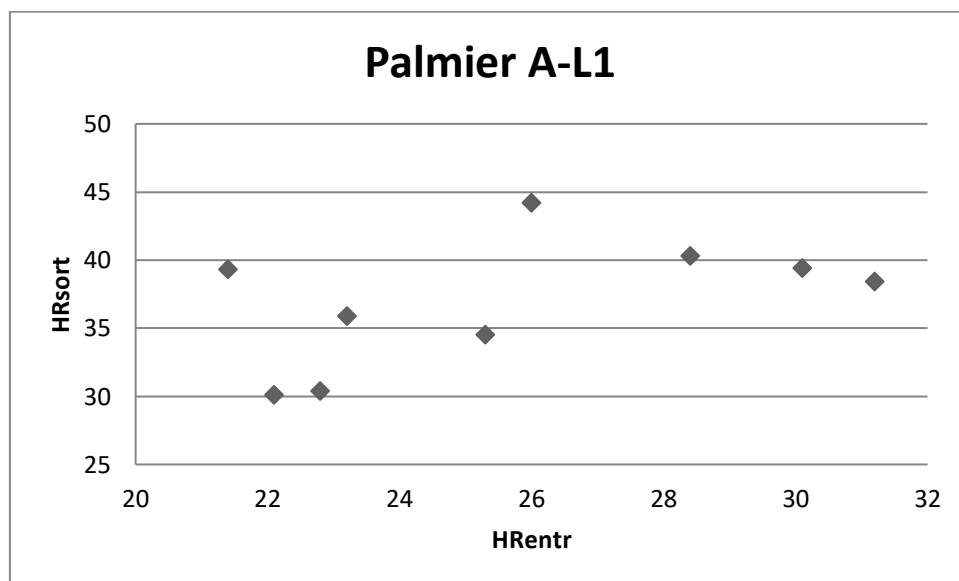


Figure IV.4. Humidité de sortie de l'air en fonction de l'humidité d'entrée

La figure IV.5. montre l'effet de l'humidité ambiante sur l'humidité de l'air sortie dans le pour le cas de la fibre de laine. Comme le montre la figure, la relation entre l'humidité ambiante et l'humidité de sortie est une relation directe, de sorte que plus l'humidité ambiante est élevée, l'humidité de sortie a augmenté. C'est parce que le système repose sur l'humidité lorsque l'air se refroidit. Comme prévu, lorsque l'humidité ambiante est de 32.6%, l'humidité extérieure est de 45.5%. Ce système a donc de meilleures performances dans les zones sèches, contrairement aux zones humides, le rendement est faible.

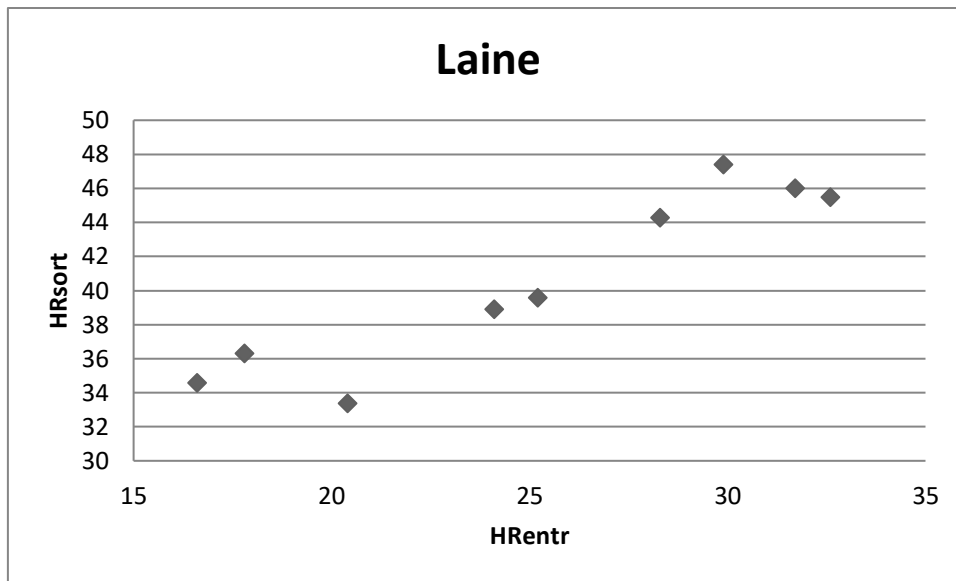


Figure IV.5. Humidité de sortie de l'air en fonction de l'humidité d'entrée.

La figure IV.6 montre l'effet de l'humidité ambiante sur l'humidité de l'air extérieur pour le cas de la fibre de paille. Comme le montre la figure, on remarque dans ce milieu, qui est constitué de fibres de paille, que la relation entre l'humidité ambiante et l'humidité de l'air de sortie est une relation inverse. L'humidité ambiante est de 27.5%, l'humidité de l'air à la sortie est de 14.9%. Par conséquent, le support en fibres de paille ne convient pas.

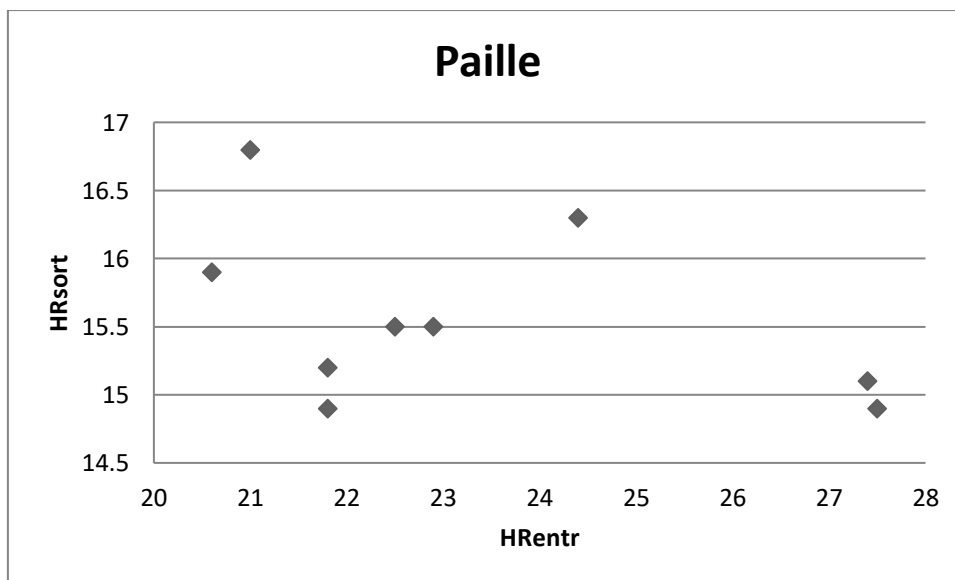


Figure IV.6. Humidité de sortie de l'air en fonction de l'humidité d'entrée

IV.2.3 Effet de l'épaisseur du tampon sur la température et l'humidité de sortir :

La figure IV.7 montre que l'effet de l'épaisseur du tampon sur la température de sortie de (couleur rouge et bleu pour L1 et L2 tableau 4.1). On peut voir clairement qu'avec l'augmentation de l'épaisseur du tampon, une diminution de la température de sortie peut être observée. Par conséquent, l'épaisseur du tampon peut être considérée comme un facteur influençant la température sortie.

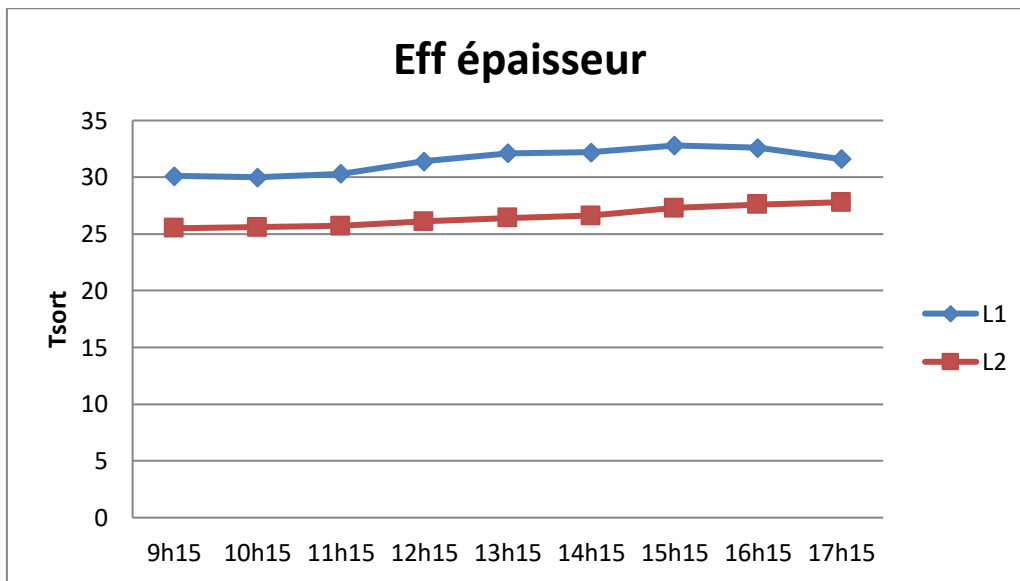


Figure IV.7. Effet de l'épaisseur du tampon sur la température de sortir

La figure IV.8 montre l'effet de l'épaisseur de tampon sur l'humidité de sortie (couleur rouge et bleu pour L1 et L2 tableau 4.1). On peut voir qu'au fur et à mesure que lorsque l'épaisseur du tampon augmente, l'humidité de sortie augmente. Par conséquent, le coefficient d'épaisseur peut être considéré comme un facteur d'influence sur l'humidité de sortie.

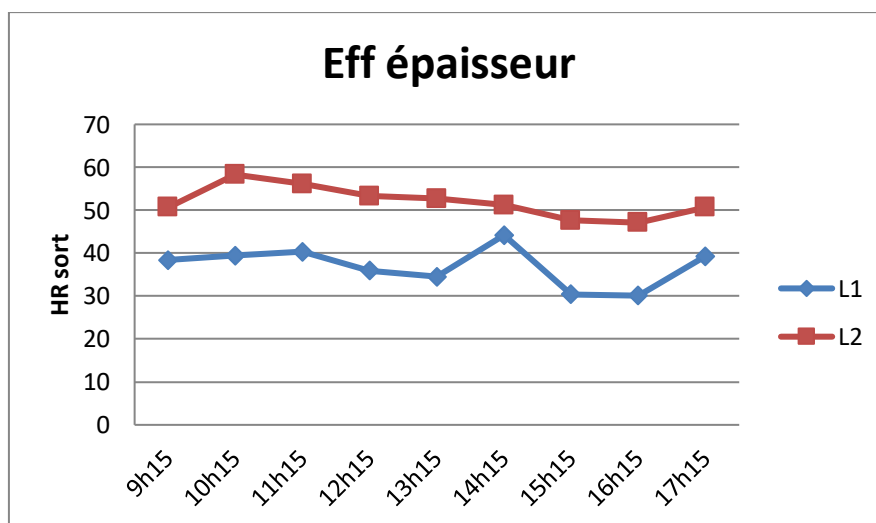


Figure IV.8. Effet de l'épaisseur du tampon sur l'humidité de sortir

IV.2.4 Quantité d'eau évaporée au fil du temps dans toutes les fibres naturelles :

La figure IV.9 montre les différences de quantité d'eau restante, à mesure que la quantité d'eau restante diminue, en raison de l'augmentation de la température ambiante, ce qui entraîne une consommation progressive d'eau due à son évaporation.

Cette influence n'est apparue qu'après trois heures de fonctionnement continu accompagnées d'une évaporation d'eau de 850 ml, ce qui explique l'augmentation de la température de l'air de sortie. A titre intentionnel, le réservoir d'eau est en contact direct avec l'air ambiant, ce qui signifie qu'il n'est pas isolé thermiquement. Cette dernière concernait à nouveau la variation de la température de l'eau. En conclusion, les conditions ambiantes, la quantité et la température de l'eau sont les facteurs déterminants de la performance d'un tel système.

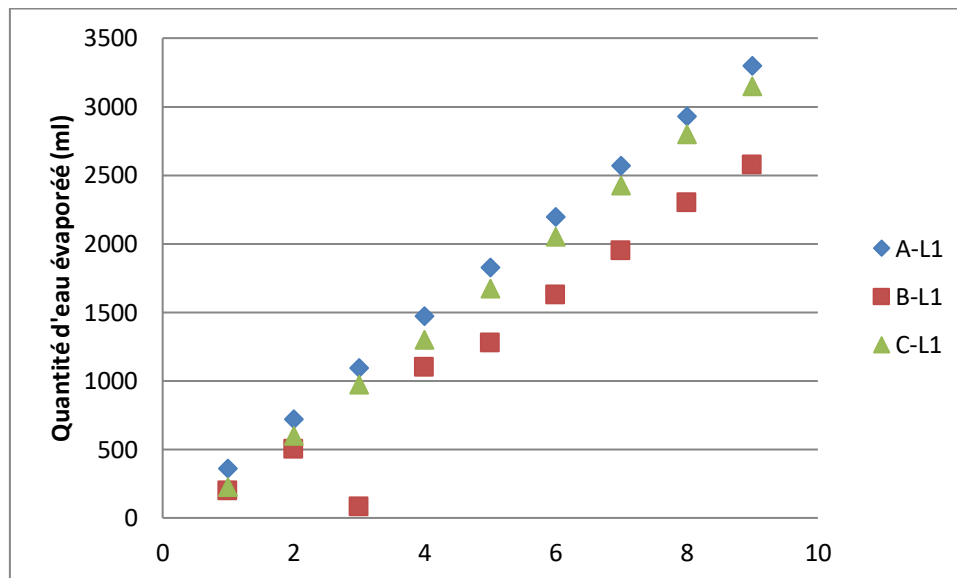


Figure IV.9. Quantité d'eau évaporée en fonction de temps

IV.2.5 Évolution de la puissance de refroidissement :

La figure IV.10 a montré une augmentation de la capacité de refroidissement au fil du temps en raison de l'effet des conditions ambiantes (température et humidité relative) pour le cas de des fdem.

En d'autres termes, l'air chaud avec une teneur en vapeur d'eau plus faible et une température de point de rosée plus basse avait une plus grande capacité de rétention d'eau que l'air chaud ou froid, entraînant un transfert de chaleur et de masse dans le coussin en fdem . Cela permet de percevoir un écart de température entre l'entrée et la sortie. Ainsi, la capacité de refroidissement est augmentée, ce qui se traduit par une meilleure productivité thermique.

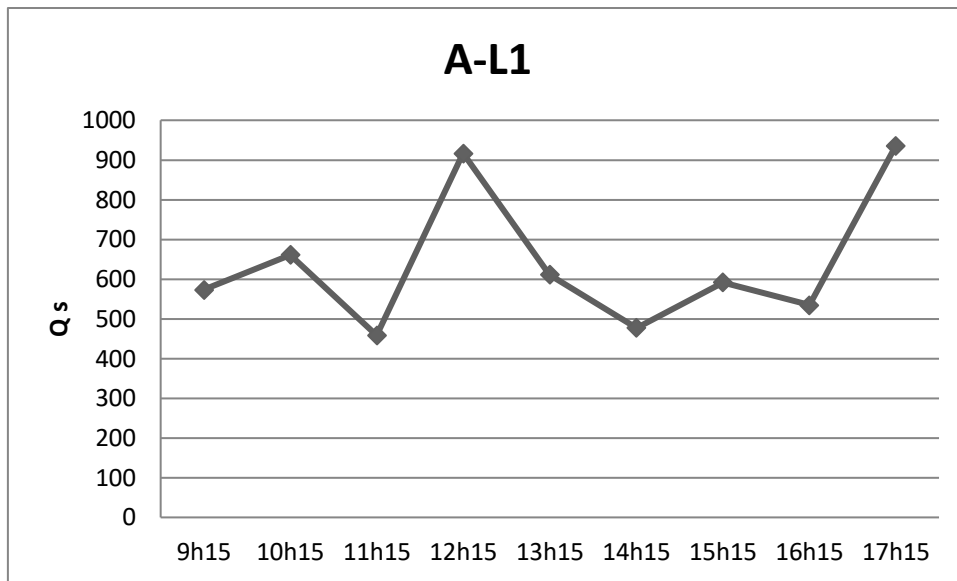


Figure IV.10. Evolution de la puissance de refroidissement en fonction du temps

La figure IV.11 a montré une augmentation de la capacité de refroidissement au fil du temps en raison de l'effet des conditions ambiantes (température et humidité relative) pour le cas de la fibre de laine.

En d'autres termes, l'air chaud avec une teneur en vapeur d'eau plus faible et une température de point de rosée plus basse avait une plus grande capacité de rétention d'eau que l'air chaud ou froid, entraînant un transfert de chaleur et de masse dans les fibres de laine. Cela permet de percevoir un écart de température entre l'entrée et la sortie. Ainsi, la capacité de refroidissement est augmentée, ce qui se traduit par une meilleure productivité thermique.

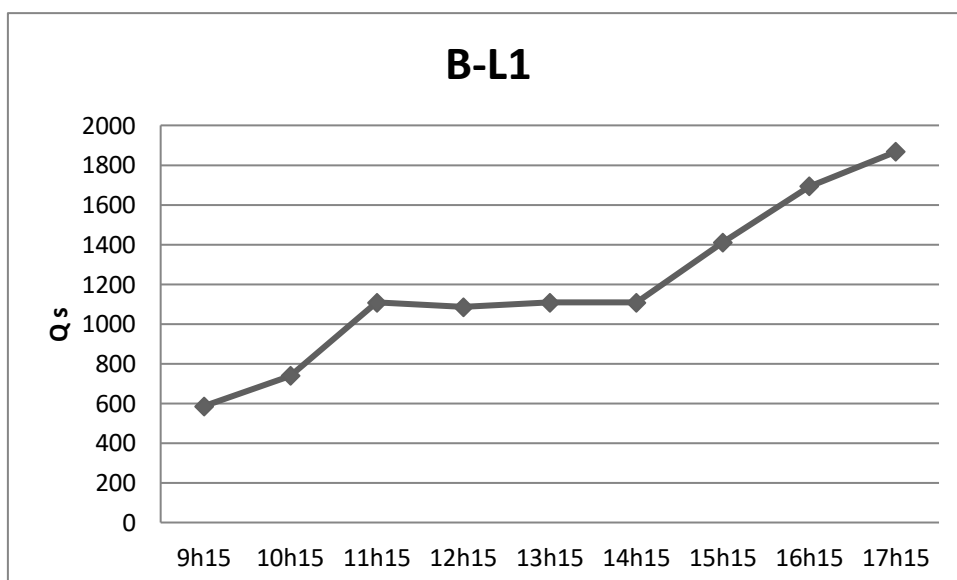


Figure IV.11. Evolution de la puissance de refroidissement en fonction du temps

La figure IV.12 a montré une augmentation de la capacité de refroidissement au fil du temps en raison de l'effet des conditions ambiantes (température et humidité relative). pour le cas de la fibre de paille.

En d'autres termes, l'air chaud à faible teneur en vapeur d'eau et à faible température de point de rosée avait une plus grande capacité de rétention d'eau que l'air chaud ou froid, entraînant un transfert de chaleur et de masse dans les fibres de paille. Cela permet de percevoir un écart de température entre l'entrée et la sortie. Ainsi, la capacité de refroidissement est augmentée, ce qui se traduit par une meilleure productivité thermique.

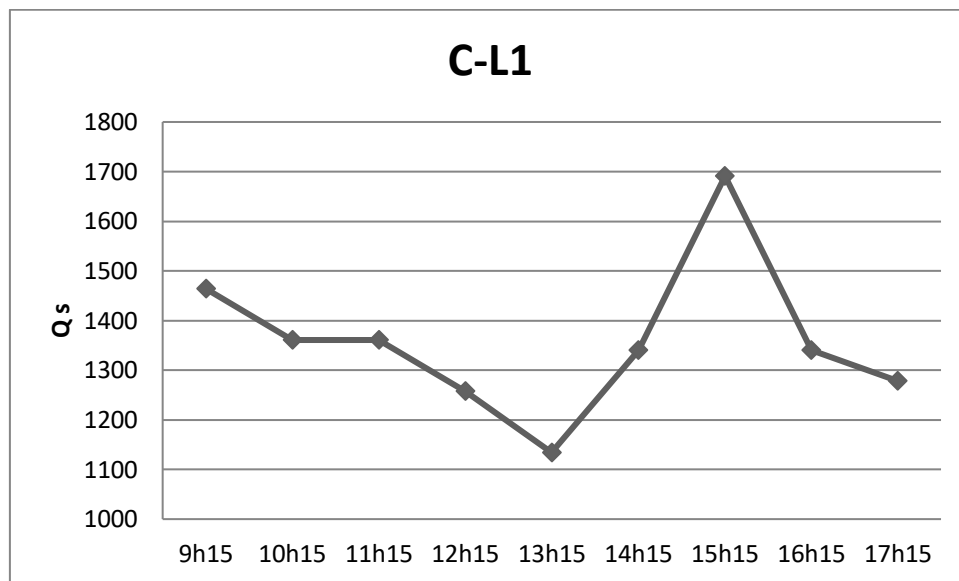


Figure IV.12. Evolution de la puissance de refroidissement en fonction du temps

Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de connaître les facteurs les plus importants qui affectent les performances de système de refroidissement par évaporation de l'eau, car nous avons constaté que la température chute de manière significative dans le milieu dans lequel l'oreiller en laine est comparé. à l'oreiller de fibres de palmier ou de paille.

Nous avons également constaté que l'épaisseur de l'oreiller a un effet positif, car plus l'efficacité de refroidissement augmente. Contrairement au flux d'air, qui donne lentement un meilleur échange de chaleur. Nous avons également constaté que ce système peut apporter un confort thermique dans des zones chaudes et sèches comme la région de Ouargla.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif de ce mémoire est d'identifier la température de l'air refroidi par un système de refroidissement évaporation de l'eau dans des endroits secs à travers des fibres naturelles.

Nous avons complété une présentation bibliographique des travaux expérimentaux menés dans le domaine de la production de froid à l'aide d'un système de refroidissement direct par évaporation où nous avons pu déterminer le degré d'évolution atteint par ce système dans le temps.

Outre, un banc d'essai expérimental est réalisé pour tester les performances de tel système en utilisant trois types de fibres naturelles (palmier dattier, laine, paille).

Nous avons réalisé et étudié comment la fibre de palmier ou la laine et la paille (un nouveau matériau) peuvent être utilisées dans des expériences comme nouveaux fibre de refroidissement par évaporation.

L'objectif est de déterminer la température de l'air refroidi ainsi que la quantité d'eau évaporée en fonction de la température et du débit d'air à l'entrée.

Sur la base des résultats obtenus, nous avons pu identifier plusieurs facteurs qui ont eu un impact sur les performances de système étudié (évaporation d'eau). Ces facteurs étaient: la température ambiante et l'humidité relative, le débit d'air entrant, ainsi que l'épaisseur des fibres et la qualité de leur charge.

Une température ambiante plus élevée avec une humidité relative ambiante plus faible avait une plus grande capacité du système à retenir l'eau, ce qui se traduisait par une augmentation du transfert de chaleur et de masse au niveau de tampon et ainsi un refroidissement plus important

Le coefficient d'épaisseur du tampon avait un effet clair sur l'efficacité du refroidissement, car l'épaisseur accrue augmente l'échange thermique au niveau du tampon, nous permettant d'obtenir plus de fraîcheur du système.

Nous avons également constaté que ce système peut apporter un confort thermique dans des zones chaudes et sèches comme la région de Ouargla.

***Références
bibliographiques***

Bibliographie :

1. <https://energieplus-lesite.be>, *humidificateurs-a-pulverisation-d-eau-froide.*, consulté le [16-06-2021]
2. AFFAIRE N.P. : SONATRACH SRGA2, L.A., *Turbine a gaz ms 5002 C LHE – manuel de formation pour la conduite et l'entretien*. AFFAIRE N.P. : SONATRACH SRGA2, LOCALITE':ALGERIE. 2001.
3. Kessler, J.F.P.e.H.J., *Surveillance, évaluation et optimisation des techniques de refroidissement par évaporation en deux étapes* Environmental Research Laboratory, University of Arizona., 1979.
4. Ghosal M.K., T.G.N., , , *Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse*.Energy Conversion and Management, 2006.47, No. 13-14, pp. 1779-1798.
5. *Évaluation des performances thermodynamiques du nouveau cycle de refroidissement à air et autres documents*.<http://www.coolerado.com/products/material-resource-center>
6. *Two-Stage Evaporative Cooling System (The importance of Relative Humidity (RH) of Air)*. [archive], HelloPortable (consulté le 13 juin 2019)
7. Bekhadouma. M A, B.M.A., *Amélioration de la qualité d'eau de refroidissement au sein de CPI/Z, Mémoire master*. Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran., 2014.
8. www.xpair.com, X.
9. D. Hantz, *Les différents procédés de refroidissement d'eau dans les installations industrielles et tertiaires*. Guide Technique, Centre technique des industries aéronautiques et thermiques CETIAT, pp 1-55, 2005.
10. JACIR, U.h.w.j.f.f.p.t.r.o.e. and C.l. propres.
11. OZONE-SERVICE, U.h.w.o.-s.f.p.h., "Solutions de and c.l. recyclage et de désinfection d'eau".
12. EUROFROID, U.h.w.e.f.f.a.m.p.E.d. and c.l. catalogue général "
13. M. Maerefat , A.P. Haghghi *Mech. Eng. Department, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran 14115-143, Iran , 2010*
14. Takahiko Miyazakia,*, Atsushi Akisawaa, Isao Nikaib

Bibliographie

- a *Tokyo University of Agriculture and Technology, Institute of Engineering, 2-24-16 Nakacho, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan*
- b *Engineering Consultant, 5-7-12 Kiminomori-minami, Ooami-shirasatomachi, Sanbugun, Chiba 299-3241, Japan*
15. Abdallah *et al.* *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 2013, 4:45 <http://www.journal-ijeee.com/content/4/1/45>
16. Madhan Anand Kumar, U. Krishnaveni * K. Ramakrishnan *College of engineering, K. Ramakrishnan College of engineering, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* ISSN: 0974-2115
ANALYSIS OF SOLAR CHIMNEY WITH EVAPORATIVE COOLING CAVITY TO IMPROVE INDOOR AIR QUALITY
17. Xu, P., *et al.*, *Experimental investigation on performance of fabrics for indirect evaporative cooling applications. Building and Environment*, 2016. 110: p. 104-114.
18. Sudaporn Sudprasert* *Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand*
19. Dođramacı, P.A., *et al.*, *Experimental study of the potential of eucalyptus fibres for evaporative cooling. Renewable Energy*, 2019. 131: p. 250-260.
20. MehranRabania
DepartmentofMechanicalEngineering, FacultyofEngineering, ArdakanUniversity, P.O.Box 184, Ardakan, Iran , 2019 .
21. Dođramacı, P.A. and D. Aydın, *Comparative experimental investigation of novel organic materials for direct evaporative cooling applications in hot-dry climate. Journal of Building Engineering*, 2020: p. 101240.
22. Nada, S., *et al.*, *Experimental investigation of energy and exergy performance of a direct evaporative cooler using a new pad type. Energy and Buildings*, 2019. **203**: p. 109449.

Résumé

Résumé

L'objectif de ce mémoire de fin d'étude est d'étudier la possibilité d'améliorer la capacité de refroidissement dans les zones arides, tout en augmentant l'humidité de l'air qui convient aux habitants des bâtiments. Un banc d'essai d'un système de refroidissement par évaporation de l'eau est réalisé au sein de l'université de Ouargla. Ainsi, nous avons étudié expérimentalement les performances de refroidissement de trois fibres naturelles (palmier dattier, paille, laine). En outre, nous avons également fait une étude comparative entre les trois fibres en étudiant l'effet de quelques paramètres tels que la température ambiante, épaisseur du tampon...etc. Les résultats montrent que le système de refroidissement par évaporation directe peut facilement fournir du confort thermique dans les zones chaudes et arides.

الملخص

الهدف من مشروعنا لمذكرة التخرج هو دراسة إمكانية تحسين قدرة التبريد في المناطق الجافة مع رفع رطوبة الجو التي تلائم سكان المباني فقمنا بدراسة تقنية التبريد التبخيري المباشر للماء باستخدام وسادة تحتوي على ألياف النخيل الطبيعية أو الصوف والقش داخل نفق حراري كما قمنا أيضا بدراسة نظرية حول تقنية التبريد بنظام رش الماء و أظهرت النتائج أن نظام التبريد التبخيري المباشر يمكن أن يوفر الراحة الحرارية بسهولة في المناطق الحارة والجافة.

Summary

The aim of our graduation project is to investigate the possibility of improving cooling capacity in arid areas, while increasing the humidity of the air that is suitable for the inhabitants of buildings, so we investigated the technique of cooling by direct evaporation of water using a pad containing natural palm fibers or wool and straw inside a heat tunnel, and we also did a theoretical study on the water spray cooling technology system. The results show that the direct evaporative cooling system can easily provide thermal comfort in hot and arid areas.