

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Installation énergétique et turbomachine

Par :

SMAILI Hichem

LOUAAR Ghoulam allah

Thème

Humidification et rafraichissement de l'air d'un local à l'aide d'un humidificateur.

Soutenu le 10/20/2021 devant le jury composé de:

Mr DJERRADA Abderrahmane

Président

Mr SADAOUI Djamel

Rapporteur

Mr HAMDI Messaoud

Examineur

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

A l'issue du cycle de notre formation nous tenons A remercier dieu le tout puissant de nous avoir Donné, santé Courage et patience pour terminer

Ce modeste travail.

Nos remerciements les plus sincères vont à Notre promoteur Ms SADAOUI Djamel

Pour Ces conseils précieux Et son suivi qu'il nous a prodigué durant tout notre travail

NOS vifs remerciements vont aux membres de jury pour avoir accepté de juger notre présent travail

En fin toute personne qui a participé de près ou de loin à

L'accomplissement de ce mémoire soit sincèrement remercié et les enseignants qui ont participé à nos formations soient sincèrement remerciés

H & Gh

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à l'âme de Mon cher père

A Ma chère mère, source de vie, d'amour et d'affection

A mes chers frères source de joie et de bonheur A toute ma famille, source d'espoir et de motivation

A Ghoulam cher ami avant d'être binôme

A tous mes amis, A vous cher lecteur

Hichem

Dédicace

Je dédié ce modeste pour ma famille

source de vie, d'amour et d'affection

A mes chers frères source de joie et de bonheur

A Hichem cher ami avant d'être binôme

A tous mes amis, A vous cher lecteur

Ghoulam

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations et Nomenclatures

I.1/ Introduction.....1

Chapitre I : Généralités sur l'air humide et le conditionnement d'air

Introduction	2
I.1. Définition et composition chimiques de l'air humide	2
I.2. L'objectif et la nécessité de conditionnement de l'air	2
I.3. Les raisons de conditionnement de l'air.....	3
I.3.1. Coté économique	3
I.3.2. Refroidissement de l'air.....	3
I.3.3. Elimination des charges électrostatiques	3
I.3.4. Eviter le séchage de stock ou matériel entreposé.....	3
I.4. Critères de décision pour humidifier l'air	4
I.5. Caractéristiques de l'air Humide.....	4
I.5.1. Caractéristiques thermodynamiques.....	4
I.5.1.1. L'humidité absolue	4
I.5.1.2. I.5.1.2 Humidité relative	5
I.5.1.3. Degré de saturation W	5
I.5.1.4. Teneur de l'air en humidité.....	5
I.5.1.5. Températures	5
I.5.1.3. I.5.1.2. Capacité thermique massique (Cp).....	8
I.5.2. Caractéristiques physiques	8
I.5.2.1. La viscosité	8
I.6. Composition d'un système de conditionnement de l'air.....	8
I.7. Grandeurs caractéristiques d'un système de conditionnement d'air.....	9
I.7.1. Les conditions de base extérieures	9
I.7.1.1. Les Conditions de base hivernales.....	9
I.7.1.2. Les Conditions de base estivales	9
I.7.2. Les Conditions de base intérieures.....	10
I.8. La psychrométrie.....	11
I.9. Diagramme de l'air humide	11

I.9.1. Diagramme de Mollier (H, P).....	11
I.9.2. Le diagramme de Carrier (τ^S ,)	12
I.10. Procédés de traitement de l'air humide.....	13
I.10.1. Mélange d'airs.....	13
I.10.2. Échauffement ou refroidissement de l'air à humidité spécifique constante.....	14
I.10.3 Refroidissement de l'air avec déshumidification	15
Conclusion.....	16

Chapitre II : Technologie des humidificateurs

Introduction	17
II.1. Notion d'humidificateur	17
II.2. Différents types d'humidificateurs	18
II.2.1. Humidificateurs adiabatiques.....	18
II.2.1.1. Humidificateur à pulvérisation d'eau froide.....	18
II.2.1.2. Humidificateur à évaporation d'eau	23
II.2.2. Les humidificateurs isothermes	26
II.2.2.1. Humidificateur à vapeur	27
Conclusion.....	33

Chapitre III : Les paramètres climatiques et thermiques d'un humidificateur à évaporation direct

Introduction	34
III.1. Généralités sur le rafraîchissement de l'air par humidification d'eau.....	34
III.2. Position de problème	34
III.3. Géométrie de locale.....	34
III.4. Description de l'humidificateur à évaporation	35
III.5. Description théorique de l'expérience.....	36
III .6. Chaleur et puissance sensible	37
III.6. 1. La chaleur sensible	37
III.6. 2. La puissance sensible.....	37
III.7. La chaleur latente et la puissance sensible	37
III.7. 1. La chaleur latente.....	37
III.7. 2. La puissance latente	37
III.8. L'efficacité d'un humidificateur	37
III.9. Détermination des paramètres climatique et thermique.....	38
III.9.1. Premiers cas.....	38
III.9.2. Deuxième cas.....	43
Conclusion.....	48

Conclusion Générale.....	49
---------------------------------	-----------

Liste des figures

Figure 1: Température humide et température sèche [6].	6
Figure 2: Température de rosée [10]	7
Figure 3: La Composition d'une centrale de traitement de l'air [7]	9
Figure 4: Diagramme de Carrier (H, P). [2]	12
Figure 5: Caisson de mélange et représentation schématique [2]	14
Figure 6: Batterie à eau (glacée ou chaud), épingle chauffante électrique et représentation schématique [12].	15
Figure 7: Batterie à eau glacée de refroidissement et déshumidification [12]	16
Figure 8: Représentation schématique du procédé de refroidissement avec déshumidification [12]	16
Figure 9: Humidificateur à pulvérisation d'eau [13].	18
Figure 10: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à pulvérisation d'eau [11].	19
Figure 11: Comportement d'un humidificateur à pulvérisation dans le diagramme d'air humide [15]	19
Figure 12: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à pulvérisation centrifuge	20
Figure 13: schéma de fonctionnement d'un humidificateur à pulvérisation d'eau par buses fixe [16]	21
Figure 14: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à ultrason [11].	22
Figure 15: schéma de fonctionnement d'un humidificateur à évaporation [11]	23
Figure 16: Comportement d'un humidificateur à évaporation dans le diagramme d'air humide.	24
Figure 17: Schéma d'un Humidificateur laveur d'eau recyclé [11]	25
Figure 18: Schéma d'un Humidificateur à évaporation d'eau perdu [11].	26
Figure 19: Rampe d'humidification pour un humidificateur à vapeur sèche non autonome [11]	27
Figure 20: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à vapeur sèche	27
Figure 21: Evaluation dans le diagramme de l'air humide d'un humidificateur à vapeur sèche [15]	28
Figure 22: Principe de fonctionnement de générateur à électrode [16]	29
Figure 23: Générateur à résistances [16]	30
Figure 24: Géométrie de local	35
Figure 25: Humidificateur à évaporation direct	35
Figure 26: Variation des températures extérieures et intérieures en fonction de temps à humidité relative (100%).	38
Figure 27: Variation d'humidité absolue	
Figure 28: Variation d'humidité relative	
	39
Figure 29: Variation de débit d'eau nécessaire en fonction de temps pour $\psi = 100\%$	40
Figure 30: Variation d'enthalpie en fonction de temps à humidité relative 100%.	41
Figure 31: Variation de la chaleur sensible et latente en fonction de temps à humidité relative 100%.	41
Figure 32: Variation de la puissance sensible et latente.	42
Figure 33: Variations des températures (<i>Text</i>) et (<i>Tsouf</i>) en fonction de temps à efficacité constante (80%).	43
Figure 34: Variations de l'humidité Relative extérieur et soufflage en fonction de temps à (efficacité 80%).	43
Figure 35: Variations de l'humidité absolue extérieur et soufflage en fonction temps à efficacité (80%).	44

Figure 36: Variation de débit d'eau nécessaire en fonction de temps pour $\epsilon=80\%$	44
Figure 37: Variation de l'enthalpie extérieure en fonction de temps.	45
Figure 38: Variation de la chaleur sensible et latente en fonction de temps.	46
Figure 39: Variation de la puissance sensible et latente en fonction de temps.	46

Liste des tableaux

Tableau 1 : critères de décision pour l'humidification de l'air [12].....	4
Tableau 2: Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à pulvérisation centrifuge [16] .	20
Tableau 3 : Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à pulvérisation d'eau par buses fixe [16]	22
Tableau 4 : Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à ultrason	23
Tableau 5: Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à laveur d'air.....	25
Tableau 6: Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à évaporation d'eau perdu	26
Tableau 7: Paramètres climatiques déterminées à l'aide du diagramme d'air humide à 100%.	38
Tableau 8 : Paramètres thermiques déterminées à l'aide du diagramme d'air humide.....	40
Tableau 9: Paramètres climatiques déterminées à l'aide du diagramme d'air humide à 80% .	42
Tableau 10 : Paramètres thermiques déterminées à l'aide du diagramme d'air humide.....	45

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unités
C_p	Chaleur massique de l'air	J/kg K
C_{pu}	Chaleur spécifique de l'air humide	J/kg K
C_{pv}	Chaleur spécifique de la vapeur d'eau à pression constante	J/kg k
H	L'enthalpie de l'air humide	J/kg
h_v	Enthalpie spécifique de la vapeur d'eau	J/kg
h_{vs}	Enthalpie spécifique de la vapeur d'eau à la température de surface du pad	J/kg
h_{sa}	Enthalpie spécifique de l'air sortant	J/kg
h_a	Enthalpie spécifique de l'air entrant après échange avec l'eau (humidité du pad)	J/kg
L	Languor du la section	M
l	La largeur de la section d'entrée	M
m_v	La masse de vapeur d'eau	Kg
m_a	La masse de vapeur d'air sec	kg/Pa
m_e	La masse d'eau	Kg
P_a	La pression de l'air sec	k/Pa
P_v	La pression partielle de la vapeur d'eau	k/Pa
P_s	La pression de la vapeur saturante qui correspond à l'état de saturation	K/Pa
Q_{vair}	Débit volumique d'air humide entré	m^3/s
Q_{mairs}	Débit massique d'air sec	kg/s
Q_{meau}	Débit massique d'eau	kg/s
r^s	Humidité absolue	g_{eau}/kg_{as}
A	Zone de la surface de transfert de chaleur mise en jeu : surface totale mouillée	m^2
h_c	Coefficient de transfert thermique entre l'air et le pad humide	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
ρ	Masse volumique de l'air traversant le pad	Kg/m^3
L	Le diamètre de la canalisation (tunnel)	M

V	Vitesse moyenne du fluide (air) traversant le pad	m/s
dm_v	La masse élémentaire de vapeur	Kg
h_m	Coefficient de transfert de masse par convection entre le pad humide et l'air	Kg/m ²
δQ	Le flux de chaleur total	W
h_v	Enthalpie spécifique de la vapeur d'eau	kJ/kg
h_{v s}	Enthalpie spécifique de la vapeur d'eau à la température de surface du pad	kJ/kg
h_{s a}	Enthalpie spécifique de l'air sortant	kJ/kg
h_a	Enthalpie spécifique de l'air entrant après échange avec l'eau (humidité du pad)	kJ/kg
m_a	Débit massique d'air	kg/s
<i>Text</i>	La température de l'air à l'extérieure. (ambiante)	°C
<i>T_{souf}</i>	La température de l'air soufflé.	°C
V_{air}	Vitesse de l'air soufflé	m/s
V^s	Volume spécifique	m_{ah}^3 / kg_{as}
ψ_{ext}	Humidity relative exterior	%
ψ_{souf}	Humidité relative d'air soufflé	%
φ_l	Puissance latent	Kw
φ_s	Puissance sensible.	Kw
Q_l	Chaleur latent	kJ/kg
Q_s	Chaleur sensible	kJ/kg
ε	efficacité du dispositif de rafraichissement	%

Introduction Général

Introduction Générale

En 1902 le conditionnement d'air scientifique a pris naissance sous l'impulsion de l'ingénieur Américain Dr WELLIS HAVALAND CARRIER, depuis lors, le conditionnement d'air est utilisé en de nombreux endroits allant des simples magasins aux grands locaux d'habitation. Quelques années plus tard le conditionnement parviendra en France pour un usage industriel avec l'apparition des premières chambres froides. L'utilisation de cette invention pour le bien être des personnes avec le terme climatisation n'est que très récent, et c'est vers le début des années soixante qu'elle a fait ses premiers pas. Aujourd'hui, la concurrence fait que, les techniques de fabrication et de production s'améliorent, la climatisation se démocratise, et de plus en plus, on trouve des appartements, des bureaux équipés avec de systèmes pour le bien-être de leurs occupants.

Outre, les tendances architecturales et l'aménagement des lieux de vie, impliquent aujourd'hui des apports thermiques qui n'existaient pas il y a seulement quelques années (baies vitrées, informatiques et machines électriques diverses). On notera que l'un des buts de la climatisation consiste à améliorer les conditions de travail, et cela pendant toute l'année, en créant dans les locaux équipés un climat confortable.

Le traitement de l'air favorise le maintien des conditions d'ambiance d'un local. Beaucoup de facteurs sont pris en compte tels que l'hygrométrie, la qualité de l'air et le niveau sonore. Il fait appel à de nombreuses technologies et requiert les connaissances de spécialités aussi différentes que la thermique, l'hydraulique, l'aéroulque, l'acoustique, la filtration, la chimie l'informatique, l'automatique et la régulation.

Ce mémoire a pour but de faire le point sur les humidificateurs et le conditionnement de l'air dans un bureau. Dans Ce fait, notre travail se scinde en deux parties :

Une partie théorique qui comprend deux chapitres :

- Le premier chapitre consacré aux généralités sur l'air humide, fait l'objet d'une étude bibliographique concernant l'air humide et ses différentes grandeurs caractéristiques.
- Le deuxième chapitre décrit les différents types d'humidificateurs, leurs principes de fonctionnement et leurs domaines d'applications.
- Le troisième chapitre explique les différents paramètres climatiques et thermiques d'un humidificateur à évaporation direct.

Chapitre I

Généralités sur le conditionnement d'air.

Introduction

L'air qui nous entoure est de l'air humide, contenant de la vapeur d'eau (l'eau à l'état gazeuse). Les propriétés thermodynamiques de ce mélange de gaz sont fortement influencés par la présence de la vapeur d'eau, qui peut également se condenser sous forme liquide ou de givre dans certaines conditions de température et de pression [1]. Il est utile de connaître l'état thermodynamique de l'air humide dans de nombreuses applications : ventilation, climatisation, séchage, humidification ...etc.

Définition et composition chimiques de l'air humide

L'air humide est un mélange en proportions variables d'air sec et de vapeur d'eau [1] considéré comme un gaz parfait.

L'air est un mélange gazeux d'une rare complexité. Sa pression et sa température varient constamment en un même point, sa composition, subit des changements dans l'espace et dans le temps en fonction des corps qu'on y rejette ou qu'on y prélève. Pesant et soumis aux lois de la thermodynamique, sa pression et sa température varient fortement avec l'altitude [2].

L'air est composé de [3] :

- Azote : 77,89% en volume.
- Oxygène : 20,7 à 20,95% en volume.
- Argon : 0,94% en volume.
- Dioxyde de carbone : 0,03% en volume.
- Hydrogène : 0,01% en volume.

Il contient aussi de petites quantités d'autres gaz, comme par exemple l'Hélium, le Néon, le Krypton, le Xénon.

L'objectif et la nécessité de conditionnement de l'air

L'objectif est d'obtenir un microclimat intérieur confortable sans être affecté par les conditions météorologiques extérieures et l'apport de chaleur intérieure. Ces conditions extérieures et ces apports internes définissent la charge qui doit être équilibrée par le système de climatisation. Selon la période de conception du système, nous l'appelons climatisation hiver, été ou annuelle

[4]. Le conditionnement d'air s'avère nécessaire pour les locaux soumis à de fortes variations des charges qui peuvent être dues à :

- Des conditions climatiques sévères (chaud et sec, climats chauds et humides en particulier).
- Des apports de chaleur interne importants et variables dans le temps (salles de spectacle par exemple).
- La conception architecturale (nombreuses baies vitrées au sud, utilisation de matériaux de construction légers conduisant à une très faible inertie de la construction).

Les raisons de conditionnement de l'air

I.3.1. Coté économique

Le contrôle des conditions physiques de l'air, en particulier de l'humidité, peut augmenter la productivité des employés ou en réduisant le taux de réjection [4].

I.3.2. Refroidissement de l'air

Une température agréable est un facteur déterminant dans la qualité de l'environnement du travail. Dans de nombreux processus industriels, des températures difficilement supportables sont atteintes. L'évaporation dans l'air d'eau pulvérisée permet à la fois l'humidification et le refroidissement de celui-ci [4].

I.3.3. Elimination des charges électrostatiques

Un air trop sec peut provoquer la formation des charges électrostatiques, ce qui est toujours désagréable et parfois un danger (incendie). À une humidité relative d'environ 20 %, l'air peut contenir une charge statique 35 000 volts. A environ 70%, cette charge n'est que de 1 500 volts [5].

I.3.4. Eviter le séchage de stock ou matériel entreposé

- Le stockage des légumes en chambre froide demande une certaine constance d'humidité si l'on désire minimiser les pertes.
- Certaines productions à base de bois requièrent une humidité stable (tenue du bois ou accrochage de la peinture).
- Les fibres textiles sont plus cassantes dans un environnement trop sec.

- La constance de l'humidité dans les imprimeries et usines de papier est un prérequis pour une production de qualité.
- Les œuvres artistiques telles que des toiles se conservent beaucoup mieux dans un environnement contrôlé [4].

Critères de décision pour humidifier l'air

Nous mentionnons les taux d'humidité valables en règle générale pour l'habitat.

Tableau 1 : critères de décision pour l'humidification de l'air [12].

Habitat	Humidification d'air			
	Déconseillée	Pas nécessaire	Conseillé	Nécessaire
0 à 25 % air très sec				X
25 à 35 % air sec			X	
35 à 50 % conditions normales		X		
50 à 65 % air humide		X		
65 à 100 % air très humide	X			

Caractéristiques de l'air Humide

I.5.1. Caractéristiques thermodynamiques

I.5.1.1. L'humidité absolue

L'humidité absolue est définie comme le rapport de la masse de vapeur à la masse d'air sec

$$r^s = \frac{m_v}{m_{as}} \left[\frac{g_{eau}}{kg_{as}} \right] \quad (I.1)$$

Et aussi en peu l'ai exprimé en termes de pression [1].

$$r^s = \frac{p_v \cdot V / R_v \cdot T}{p_a \cdot V / R_a \cdot T} = \frac{p_v / R_v}{p_a / R_a} = 0,622 \cdot \frac{p_v}{p_a} \quad (I.2)$$

Avec $p_a = p - p_v$

$$r^s = 0,622 \cdot \frac{p_v}{p - p_v} \quad (I.3)$$

I.5.1.2. Humidité relative

L'humidité relative ou le degré hygrométrique, est le rapport de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air à une température donnée, sur la quantité de vapeur d'eau maximale possible à la même température, elle est notée ψ et elle s'exprime en pourcentage [2].

$$\psi = \frac{p_v}{(p_s)_T} \quad (I.4)$$

I.5.1.3. Degré de saturation W

Le degré de saturation est le rapport de l'humidité spécifique de l'air r_s à l'humidité spécifique de l'air saturé à la même température [5].

I.5.1.4. Températures

I.5.1.4.1. Température sèche (Ts)

C'est la température réelle de l'air humide observé à l'aide d'un capteur de température ou un thermomètre non affectue par l'humidité d'air, elle s'exprime en °C [6].

I.5.1.4.2. Température humide (Th)

C'est la température enregistrée par un thermomètre où le bulbe est recouvert d'une mèche imprégnée d'eau. Les températures humides sont toujours inférieures aux températures sèches, le seul cas, où elles sont identiques est avec une humidité relative à 100 % [6].

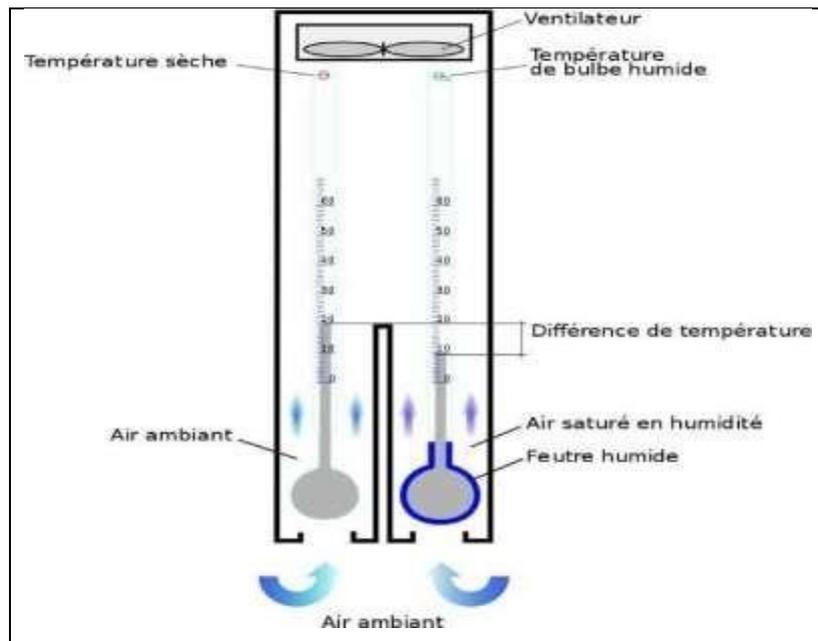


Figure 1: Température humide et température sèche [6].

I.5.1.4.3. Température de rosé (T_r)

La température jusqu'à laquelle il faut refroidir de l'air pour qu'il arrive à sa saturation. Si l'on refroidit, par un moyen quelconque, une surface S placée dans un air humide dont l'humidité spécifique est constante, on atteint une température pour laquelle la phase condensée, eau ou glace, apparaît sur la surface froide. Lorsque la surface est polie (miroir), cette phase apparaît très bien.

La température T_r est la température de rosée (ou de givre) de l'air humide

La température T_s de la surface est telle que :

$T_s < T_r$: Il n'y a aucun dépôt de phase condensée.

$T_s \leq T_r$: il y a condensation ou givrage sur la surface froide.

Le point de rosée de tout état d'air donné caractérisé par ses grandeurs d'état $T, Q, X, P_{\text{eau}}, P_{\text{ah}}$ correspond un point de rosée dont les grandeurs d'état sont les suivant : [6]

$$X_r = X$$

$Q_r = 1$ soit 100%

$$T_r = 100 \cdot \left(\frac{P_v}{288.86} \right)^{\frac{1}{8.02}} - 109.8 \quad (1.5)$$

La pression pour le point de rosé : $P_{ve}, r = P_{ve}$

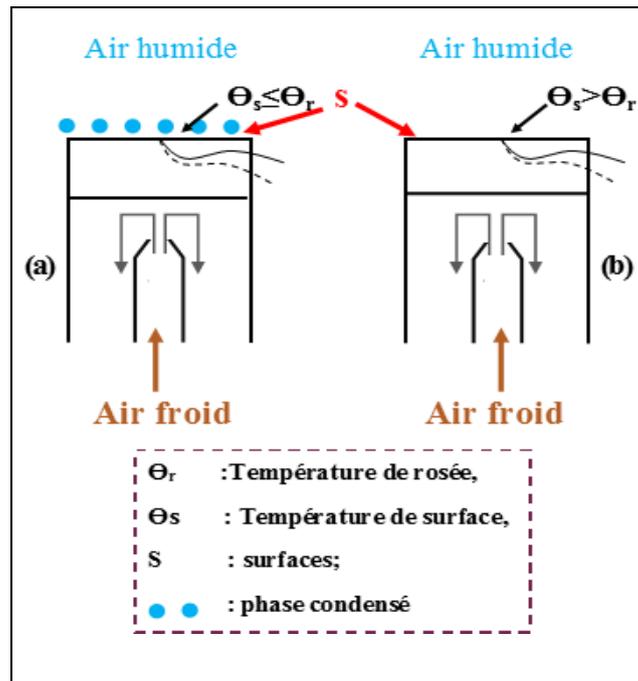


Figure 2: Température de rosée [10]

I.5.1.5. L'enthalpie

La notion d'enthalpie est difficile à définir. La méthode la plus simple est de considérer qu'il s'agit d'une mesure de l'énergie contenue dans l'air, lors des évolutions à pression constante, ou sensiblement constante.

Sachant que les phénomènes intervenant en conditionnement d'air, hors des circuits frigorifiques, se produisant à pression relativement constante [10].

L'enthalpie de l'air humide doit tenir compte de l'enthalpie de l'air sec et de l'enthalpie de l'eau qui l'accompagne. On considère, pour les calculs d'équipements [6] :

➤ Enthalpie massique

Pour l'air sec, l'eau ou l'air humide ; elle est rapportée à l'unité de masse du corps considéré et on l'exprime en J /kg, ou plus souvent en kJ/kg, on la rencontre encore souvent exprimée en unités thermiques kcal/kg

L'enthalpie massique contenue dans 1 kg d'air sec se calcule comme suite [2].

$$H_v = 2500,8 + 1,8266.T \quad (I.6)$$

➤ Capacité thermique massique (Cp)

La capacité thermique massique à pression constante, est l'une des grandeurs thermodynamiques les plus importantes dans la modélisation et la conception des systèmes énergétiques, elle s'exprime par J/ kg.K [7].

I.5.2. Caractéristiques physiques

I.5.2.1. La viscosité

La viscosité est définie comme l'ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide pour un écoulement avec ou sans turbulence. La viscosité diminue la liberté d'écoulement du fluide et dissipe son énergie.

On classe deux types de viscosité suivant :

- Viscosité dynamique
- Viscosité cinématique

I.5.1.2. Le volume spécifique (Vs)

C'est le volume d'air humide renfermant l'unité de masse d'air sec [5].

$$V^s = \frac{V}{m_a} = V^* \cdot \frac{(m_a - m_v)}{m_a} = V^* \cdot \left(1 + \frac{m_v}{m_a}\right) \quad (I.7)$$

$$V^s = V^* \cdot (1 + r^s) \quad (I.8)$$

Système de conditionnement de l'air

Un système de conditionnement de l'air est généralement composé de trois éléments [7].

1. La centrale de traitement d'air traite l'air du point de vue thermique, de la qualité et met l'air en mouvement. Elle se compose généralement de :

- Un caisson de mélange (1)
- Un caisson de filtration (2)
- Une batterie chaude (préchauffage) (3)
- Une batterie froide (4)
- Le caisson de bipasse (5)
- Un humidificateur (6)

➤ Un ventilateur (7)

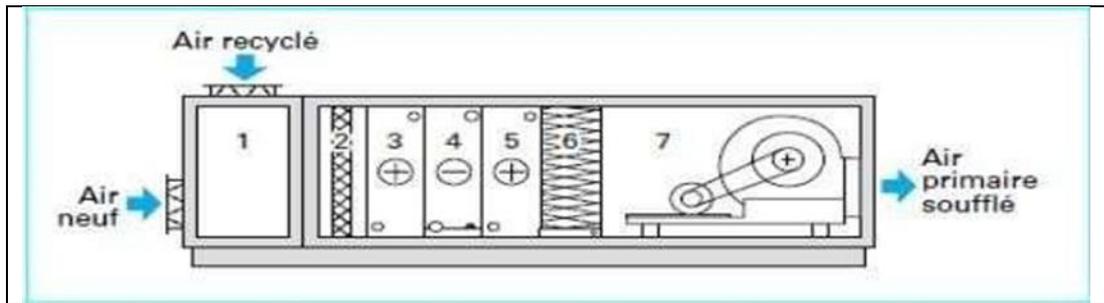


Figure 3: La Composition d'une centrale de traitement de l'air [7]

2. La régulation agit sur différents paramètres pour maintenir les valeurs mesurées proches du confort désiré.

3. Le réseau aéraulique assure les liaisons entre la centrale de traitement d'air et les locaux desservis. Il sert également, en liaison avec l'extérieur, à l'introduction et à l'extraction d'air.

Grandeurs caractéristiques d'un système de conditionnement d'air

I.7.1. Les conditions de base extérieures

Elles constituent des données fondamentales pour l'évaluation des puissances nécessaires au traitement de l'air neuf. Elles sont utiles pour le calcul des charges des locaux climatisés [7].

I.7.1.1. Les Conditions de base hivernales

La température extérieure de base correspond à la température minimale quotidienne constatée au moins 5 fois au cours de l'année [7].

I.7.1.1. Les Conditions de base estivales

Ils sont issus de l'analyse statistique des données climatiques et des facteurs de risque pour des installations raisonnables. Ces conditions ne sont pas des conditions les plus élevées pouvant être rencontrés [7].

I.7.2. Les conditions de base intérieures

Les conditions de bases intérieures qui influent sur le confort thermique sont comme suit :

I.7.2.1. Confort thermique

Le confort est un concept essentiellement subjectif qu'il est difficile de caractériser de façon rigoureuse. Toutefois, des travaux de recherche récente auprès d'un large public ont permis de mettre en évidence les facteurs principaux :

- La qualité de l'air
- Le climat thermique
- Le niveau acoustique
- L'éclairage

Le rôle de l'humidificateur est l'augmentation de l'humidité absolue de l'air, deux termes thermodynamiques sont utilisés pour décrire les modes de cette augmentation [8].

I.7.2.2. Echanges thermiques entre le corps humain et son environnement

L'homme maintient sa température interne à environ 37°C dans différentes ambiances grâce à un mécanisme thermique qu'il dispose. Pour réaliser cet équilibre thermique le corps humain produit de la chaleur par conversion d'énergie chimique, appelé métabolisme, et d'autre part donne la même quantité de chaleur à son environnement. Le mécanisme d'échange thermique utilise tous les moyens de transmission de chaleur.

- Convection: l'air au voisinage de la peau ou du vêtement s'échauffe et emporte de la chaleur. La convection est naturelle si le mouvement de l'air n'est dû qu'à son échauffement. Au contraire si l'air est pulsé ou si la personne se déplace, la convection est forcée.
- Rayonnement : le corps humain émet de la chaleur par rayonnement vers les surfaces qui l'entourent. Ce flux thermique peut s'inverser si les parois ont une température supérieure à la température superficielle de la peau ou du vêtement.
- Evaporation : le phénomène de transpiration est le moyen le plus efficace de refroidissement du corps humain. Au niveau de la peau la sueur s'évapore, évacue donc de la chaleur latente et humidifie l'air ambiant (à condition qu'il ne soit pas saturé). Même si l'on n'a pas la sensation de transpirer, le corps perd toujours un peu d'humidité (transpiration insensible). Respiration le corps perd de la chaleur par expiration parce que l'air expiré est plus chaud et plus humide que l'air aspiré. Le corps humain perd de la chaleur par expiration (renouvellement d'air).

$$L_v = 4180(883 + 0,668 \cdot T_w) \quad [Wh/kg]$$

L_v : Chaleur latente d'évaporation [Wh/kg]

La psychrométrie

La psychrométrie désigne les caractéristiques physiques et thermodynamiques d'un mélange gaz-vapeur. L'air humide étant un mélange gaz-vapeur, l'étude de ses caractéristiques est appelée « Psychrométrie ». Un des premiers appareils permettant de mesurer deux grandeurs fondamentales de l'air humide est le psychromètre [2, 5].

- Le psychromètre

Cet appareil, constitué de deux thermomètres, permet de mesurer :

- La température sèche de l'air (appelée aussi « de bulbe sec » par analogie au bulbe du thermomètre) qui définit le « degré d'agitation moléculaire de l'air ».
- La température humide de l'air (appelée aussi « de bulbe humide ») obtenue par la mesure à l'aide d'un bout de tissu enveloppé sur l'élément de mesure (bulbe), imbibé d'eau et ventilé pour provoquer l'évaporation de cette eau. Cette température est par la nature même de l'échange thermodynamique eau/air (évaporation) inférieure à la température sèche de cet air.

Ces deux mesures permettent de définir de façon relativement précise les caractéristiques de l'air humide. Le diagramme représentant les caractéristiques de l'air humide (« Diagramme de l'air humide ») est donc naturellement appelé « Diagramme Psychrométrique » [2], [5].

Diagramme de l'air humide

I.9.1. Diagramme de Mollier (H, P)

Le diagramme enthalpie sert à faire des calculs de bas pour choisir et dimensionné les éléments D'une machine et de mieux comprendre le cycle frigorifique

I.9.2. Le diagramme de Carrier

Le diagramme psychrométrique de Carrier est le diagramme le plus souvent utilisé dans le monde, il permet de visualiser les caractéristiques principales d'un mélange gaz-vapeur (air humide), et également de reproduire l'évolution de l'air au cours d'un traitement. Il suffit d'avoir deux de ces grandeurs pour retrouver l'ensemble des propriétés de l'air humide grâce à une simple lecture sur le diagramme [12].

Avec :

- Droite bleue : Température sèche [°C]

- Droite rouge : Humidité absolue [kg/kg_{air}]
- Ligne oblique verte : Enthalpie H [KJ/kg_{air}]
- Courbe noire fine : Humidité relative ψ s'exprime en [%] par rapport à la courbe de saturation $\psi = 100\%$ (courbe noire en gras)
- Ligne oblique orange : Volume spécifique V_s [m^3/kg_{air}]
- Flèche vert clair : Température de rosé [$^{\circ}C$]
- Flèche noire : Température humide θ_h [$^{\circ}$]
- Le point O: ($24^{\circ}C$, 50%) est un point de référence de l'échelle des facteurs de chaleur sensible (S.H.F)
- Le point L c'est le point virtuel correspond à l'enthalpie h_l utilisé dans calcul des quantités de chaleur latentes et sensibles.

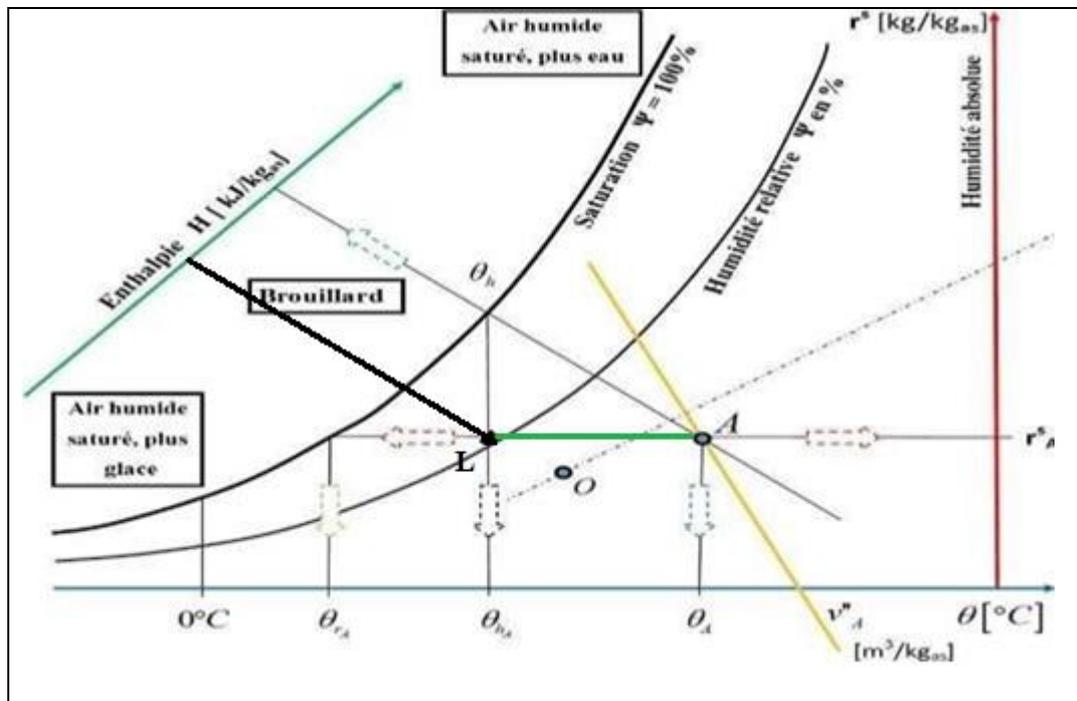


Figure 4: Diagramme de Carrier (H, P). [2]

Procédés de traitement de l'air humide

L'air est le transporteur préféré dans les zones chaudes, froides ou humides, il est donc généralement soumis à un certain nombre d'opérations de conversion car il est capté de l'extérieur, puis distribué dans la chambre à ajuster :

- Mélange adiabatique de deux airs humides de caractéristiques différentes ;

- Réchauffage d'un air humide ;
- Refroidissement d'un air humide sans ou avec déshumidification ;
- Humidification d'un air ;
- Déshumidification d'un air.

Nous allons présenter dans les paragraphes qui suivent quelques opérations de traitement d'air utilisées dans notre étude [12].

I.10.1. Mélange d'air

Dans le processus de traitement de l'air, nous devons mélanger deux airs naturels différents, afin d'obtenir un mélange avec des caractéristiques différentes d'où le manque d'échange thermique entre eux et les rend adiabatiques [2].

En pratique, il s'agit généralement de mélanger l'air dans les appareils de traitement d'air, par exemple, un mélange d'air extérieur et d'air intérieur en circulation. En général, Les caractéristiques d'air extérieur et de l'air de recirculation sont connues, et à l'aide d'équations d'équilibre (Masse et énergie) on retrouvera les caractéristiques du mélange des deux derniers.

a. Bilan massique de l'air sec :

$$m_{a3} = m_{a1} + m_{a2} \quad (I.9)$$

b. Bilan massique de l'eau :

$$m_{a3} \cdot r_3^s = m_{a1} \cdot r_1^s + m_{a2} \cdot r_2^s \quad (I.10)$$

c. Bilan énergétique :

$$m_{a3} \cdot H_3 = m_{a1} \cdot H_1 + m_{a2} \cdot H_2 \quad (I.11)$$

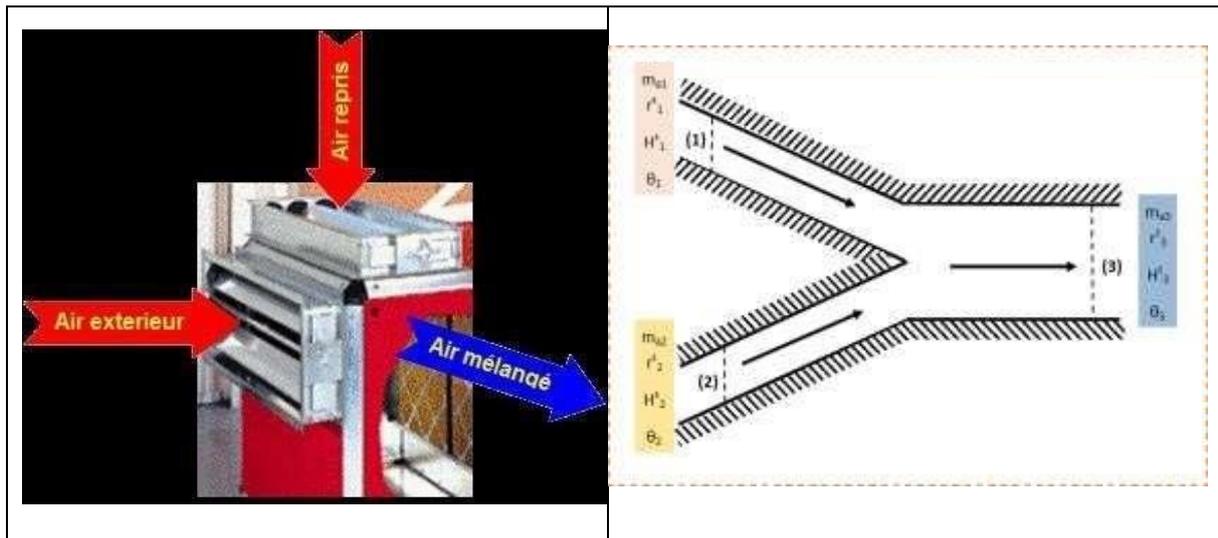


Figure 5: Caisson de mélange et représentation schématique [2]

I.10.2. Échauffement ou refroidissement de l'air à humidité spécifique constante

Il s'agit du processus de refroidissement ou de chauffage de l'air sous humidité constante (fourniture ou extraction de chaleur sensible), les méthodes de traitement de chaque cas sont similaires.

Par conséquent, nous utilisons la résolution du bilan massique et énergétique pour déterminer la puissance d'une batterie froide en refroidissement et d'une batterie chaude en chauffage [2]

Bilan massique de l'air sec :

$$m_{a1} - m_{a2} = 0 \quad (I.12)$$

Bilan massique de l'eau :

$$m_{a1} = m_{a2} = m_{as}$$

Bilan énergétique :

$$m_{a1} = m_{a2} = m_{as} \quad (I.13)$$

$$r_1^s = r_2^s \quad (I.14)$$

➤ **Echauffement à humidité spécifique constante**

$$Q_c = m_{as} \cdot (H_2^* - H_1^*) \quad (I.15)$$

$$q_c = \frac{Q_c}{m_{as}} = (H_2^* - H_1^*) \quad (I.16)$$

➤ **Refroidissement à humidité spécifique constante**

$$m_{as1} \cdot H_1^s - Q_f - m_{as2} \cdot H_2^s = 0 \quad (I.17)$$

$$q_f = \frac{Q_f}{m_{as}} = H_1^s - H_2^s \quad (I.18)$$

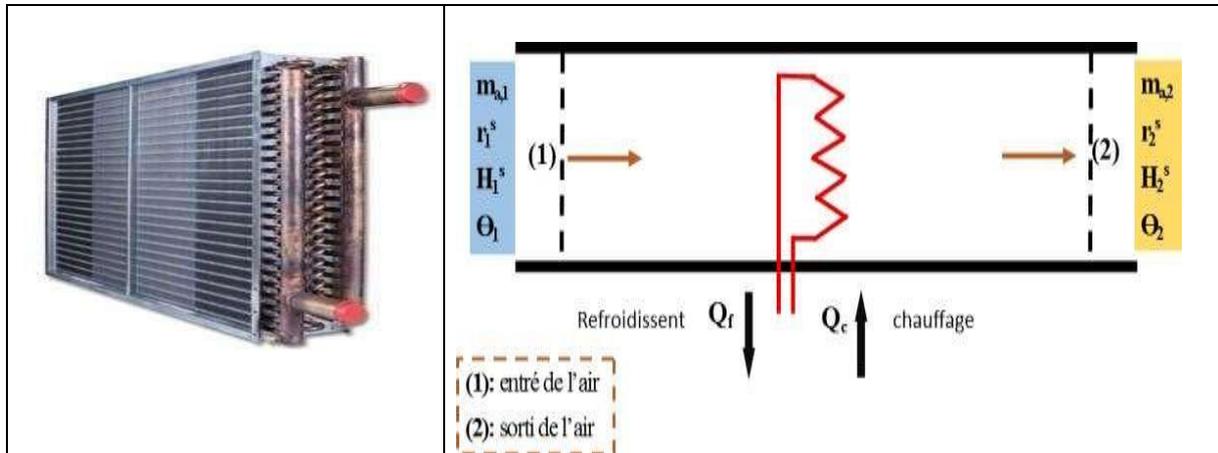


Figure 6: Batterie à eau (glacée ou chaude), épingle chauffante électrique et représentation schématique 12.

I.10.3. Refroidissement de l'air avec déshumidification

Lorsque l'air se refroidit à une température inférieure à son point de rosée, le refroidissement produit une déshumidification (en réduisant sa teneur en eau), qui est le changement le plus important dans la climatisation.

Pour réaliser cette dernière, il est impérativement nécessaire que la température de surface de la batterie froide soit inférieure à la température de rosée de l'air entrant [12].

L'écriture des équations du bilan massique et énergétique va nous permettre de déterminer la puissance de la batterie froide dans ce cas.

Bilan massique de l'air sec :

$$m_{as1} - m_{as2} = 0$$

$$(I.19)$$

$$m_{as1} = m_{as2} = m_{as} \quad (I.20)$$

Bilan massique d'eau :

$$(m_{as1} \cdot r_1^s) - (m_{as2} \cdot r_2^s) - m_e = 0 \quad (I.21)$$

$$m_e = m_{as} \cdot (r_1^s - r_2^s) \quad (I.22)$$

$$\frac{m_e}{m_{as}} = (r_1^s - r_2^s) \tag{I.23}$$

Bilan énergétique :

$$Q_f = m_{as} \cdot (H_2^s - H_1^s) \cdot (m_e \cdot H_e^s) \tag{I.24}$$

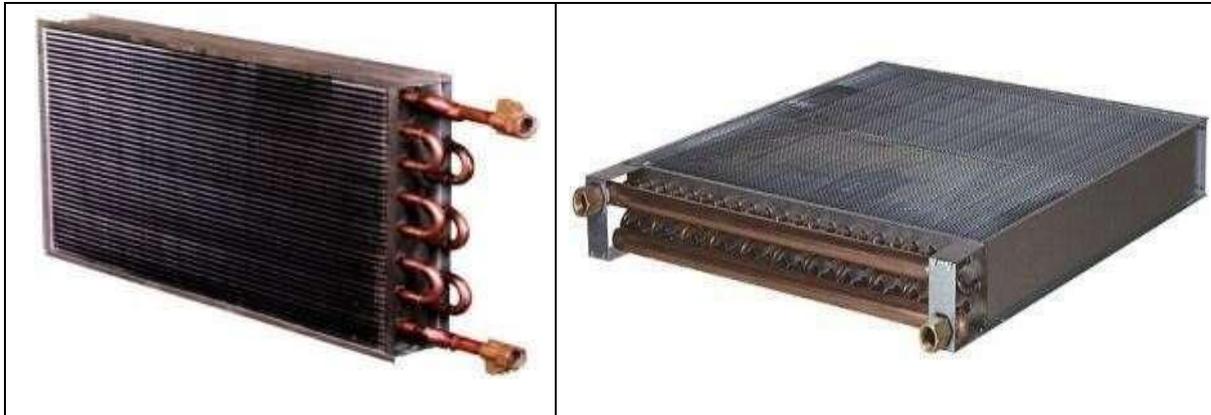


Figure 7: Batterie à eau glacée de refroidissement et déshumidification [12]

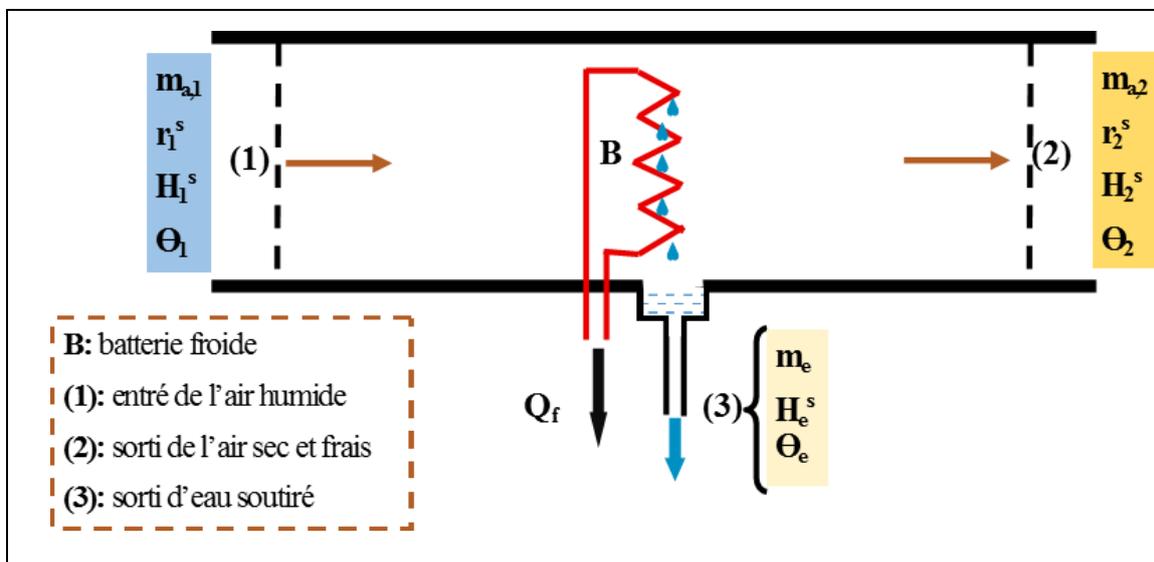


Figure 8: Représentation schématique du procédé de refroidissement avec déshumidification [12]

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons établi un bilan de connaissance concernant l'air et ses différentes propriétés. En effet, on a présenté quelques généralités sur l'air humide en passant par la présentation du diagramme psychrométrique qui permet de lire l'ensemble des caractéristiques utilisées pour une étude de traitement de l'air. A la fin, on a exposé les différents procédés de conditionnement d'air qui vont nous permettre d'aboutir aux caractéristiques finales souhaitées.

Chapitre II

Technologies des

humidificateurs

Introduction

Dans les climats chauds ou froids (à cause de chauffage), une faible humidité relative dans les environnements intérieurs est liée à l'inconfort des occupants et à des problèmes de santé [1, 2]. En particulier, une faible humidité relative peut entraîner une sécheresse du nez, de la gorge et des yeux, des maux de tête et une irritation de la peau. En outre, elle peut faciliter la transmission de virus et de bactéries entre les personnes [3]. À l'heure actuelle, les valeurs minimales d'humidité relative recommandées [4] se situent autour de 30 à 40 % pour la plupart des environnements bâtis, tels que les bureaux, les habitations, les écoles et les hôpitaux. Pour cette raison, il existe un intérêt qui est la conception, l'optimisation et la gestion des humidificateurs d'air, qui peuvent fournir la quantité adéquate de vapeur d'eau à l'air intérieur afin d'atteindre l'humidité relative souhaitée. Les humidificateurs commerciaux peuvent être classés en deux groupes principaux tels que les systèmes adiabatiques et les systèmes isothermes [4].

II.1. Notions d'humidificateur

Un humidificateur est un appareil destiné à augmenter l'humidité dans l'air. C'est généralement un appareil utilisé dans une pièce, mais il existe des systèmes pour traiter de grands volumes tels que les maisons ou des bâtiments entiers. On distingue deux types d'humidificateur :

Un humidificateur est un appareil destiné à augmenter l'humidité dans l'air. C'est généralement un appareil utilisé dans une pièce, mais il existe des systèmes pour traiter de grands volumes tels que les maisons ou des bâtiments entiers. On distingue deux types d'humidificateur :

- Humidificateurs adiabatiques : l'air est humidifié par d'eau liquide, un processus quasi-isenthalpique se produit, avec une augmentation du taux d'humidité et une diminution de la température du bulbe sec. L'air humide fournit l'enthalpie s'évaporation à l'eau liquide, qui se refroidit.
- Humidificateurs isothermes : l'humidification est réalisée en fournissant directement de la vapeur, générée dans un dispositif approprié, au flux d'air. Le processus est presque isotherme : l'air humide subit une augmentation du taux d'humidité et une légère augmentation contextuelle de la température du bulbe sec [5, 6].

II.2. Différents types d'humidificateurs

II.2.1. Humidificateurs adiabatiques

II.2.1.1. Humidificateur à pulvérisation d'eau froide

Les humidificateurs à pulvérisation d'eau froide sont des équipements insérés dans les centrales de traitement d'air. Leur rôle est de pulvériser l'eau et de créer un brouillard par des microgouttelettes d'eau afin de faciliter l'évaporation. Ces humidificateurs présentent des inconvénients hygiéniques liés à la stagnation de l'eau, donc un entretien régulier est indispensable augmentant les coûts d'exploitation [13].



Figure 9: Humidificateur à pulvérisation d'eau [13].

II.2.1.1.1. Principe de fonctionnement

Le principe de base de l'humidification et du refroidissement adiabatique à pulvérisations repose sur le principe de la projection de gouttes d'eau extrêmement fines, l'eau est atomisée par l'intermédiaire de buses spéciales. Les fines gouttelettes d'eau (aérosols) atteignent un diamètre de 10-20 μm seulement et s'évaporent instantanément sans apport d'énergie (chaleur) additionnelle. Le mélange eau – air doit être intime afin que l'évaporation de l'eau puisse se faire le plus rapidement possible [11].

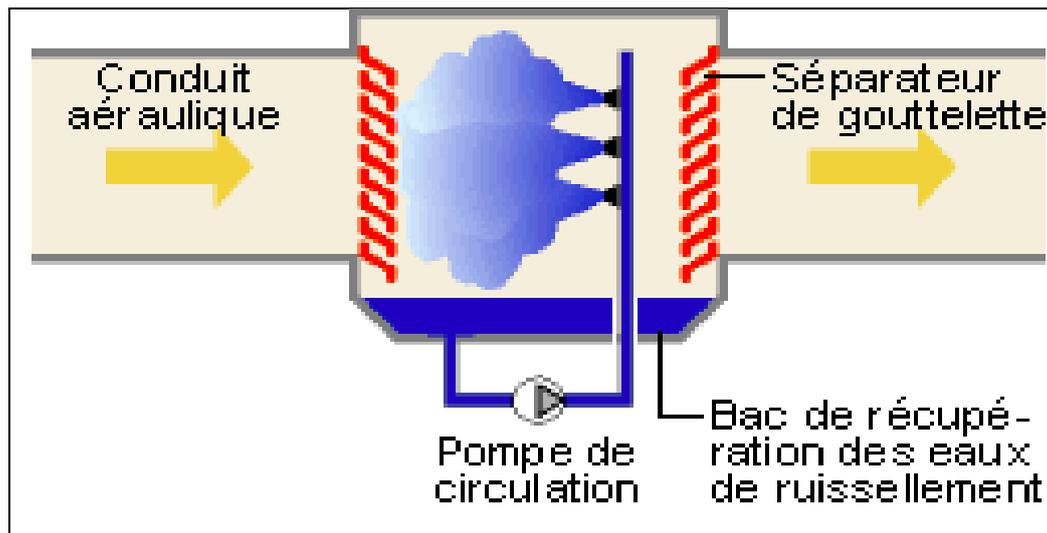


Figure 10: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à pulvérisation d'eau [11]

II.2.1.1.2. Evolution dans le diagramme de l'air humide

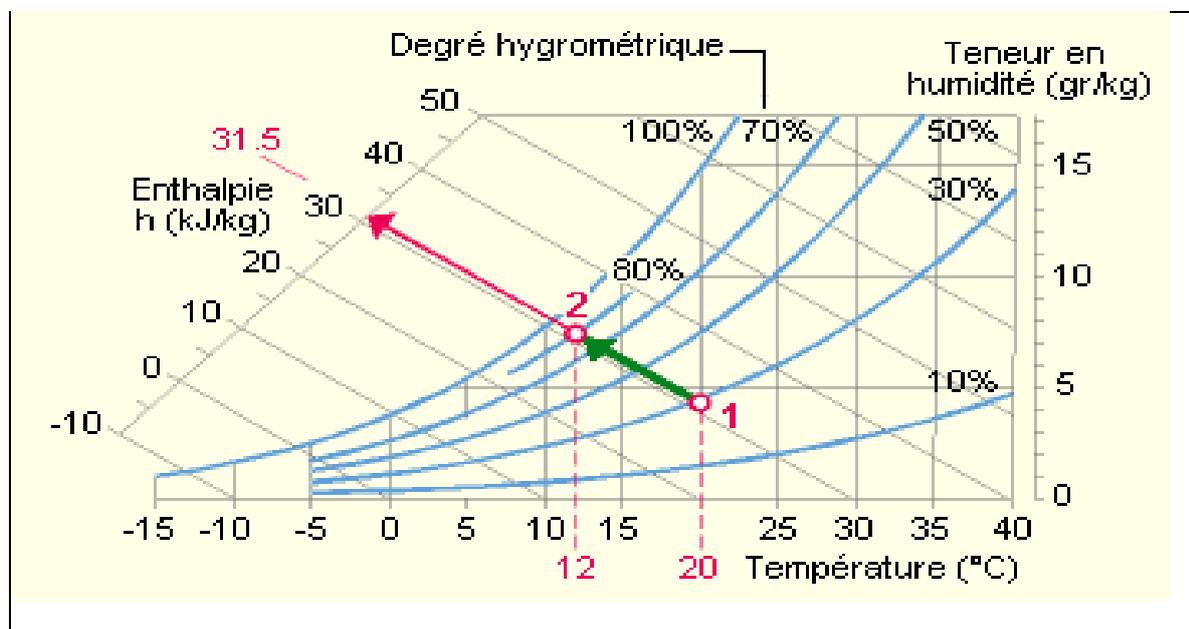


Figure 11: Comportement d'un humidificateur a pulvérisation dans le diagramme d'air humide [15]

Dans un humidificateur, les gouttelettes passent de l'état liquide (eau) à l'état gazeux (vapeur). Ce changement d'état nécessite de la chaleur appelée chaleur de vaporisation. Cette chaleur vient de l'air qui se refroidit au passage dans la boîte (semblable à la sensation de froid en sortant d'une baignoire : d'eau sur notre peau s'évapore, emportant la chaleur évaporative de notre corps... froid). Le bilan énergétique global est neutre : la chaleur perdue par l'air est transférée à la vapeur d'eau contenue dans l'air. On parle d'équilibre d'enthalpie neutre. On

l'appelle aussi humidificateur isenthalpique ou adiabatique. Dans le diagramme de l'air humide l'air se refroidit le long d'une enthalpie [15].

II.2.1.1.3. Technologie des appareils à pulvérisation

II.2.1.1.3.1. Humidificateur à pulvérisation centrifuge

A: Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de ce type d'humidificateur est comme suit : l'eau entre dans une conduite et forme à sa surface un film de faible épaisseur avec un disque de plastique qui tourne à très grande vitesse. La force centrifuge du disque permet la pulvérisation du jet d'eau en petites gouttelettes lesquelles se brisent à leur tour sur les dents de la roue dentée à la sortie du disque de pulvérisation. Ces gouttelettes entrent en contact avec l'air ce qui entraîne son humidification [7].

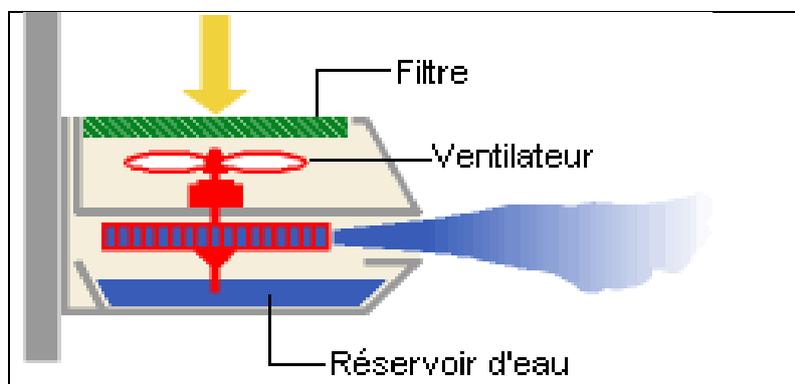


Figure 12: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à pulvérisation centrifuge

Dans ces systèmes, les gouttelettes s'évaporent complètement dans l'air pulsé transportant ainsi le sel de l'eau jusqu'au site. La décision de fournir de l'eau adoucie pour ces équipements dépend des exigences sanitaires et de la sensibilité des équipements dans les locaux [7].

B : Avantages et Inconvénients

Tableau 2: Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à pulvérisation centrifuge [16]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ La facilité de son installation grâce à sa petite taille. ➤ Son faible coût d'exploitation et de maintenance. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inapplicable dans les endroits étroits car il faut toujours laisser une distance minimum pour permettre l'évaporation des gouttelettes.

C : Domain d'application

- Humidification des ateliers textile de l'industrie, du bois, du papier, ...etc.
- Comme un des éléments insérés dans une centrale de traitement d'air [16]

II.2.1.1.3.2. Humidificateur-laveur à pulvérisation d'eau par buses fixe

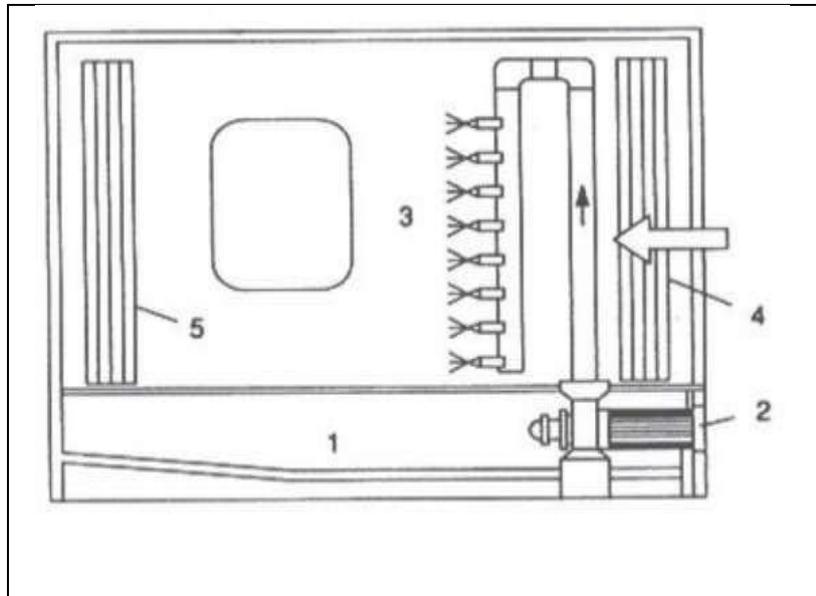


Figure 13: schéma de fonctionnement d'un humidificateur à pulvérisation d'eau par buses fixe [16]

A : Principe de fonctionnement

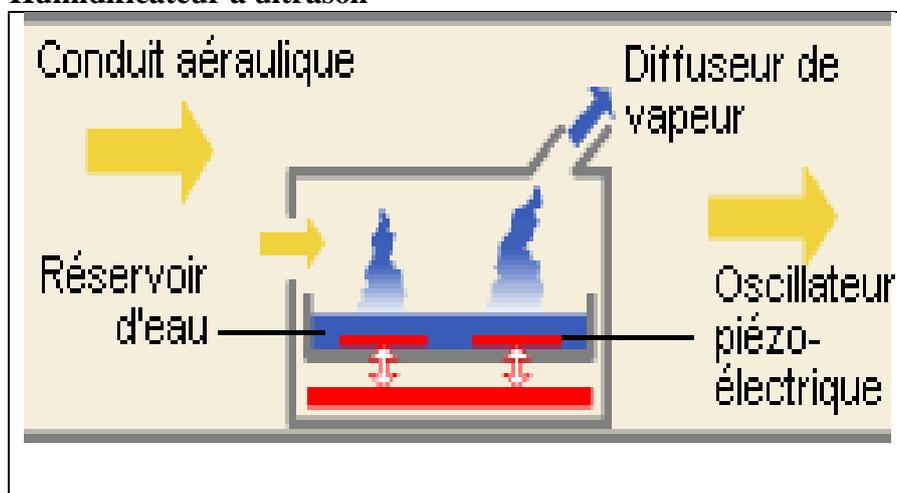
L'eau de récipient (1) est aspirée par la pompe de circulation (2) qui l'envoie dans la rampe de gicleurs (3) qui contiennent des buses de pulvérisation où l'eau est pulvérisée en très fines gouttelettes. L'air entre par le redresseur des lignes de courant (4) qui a le rôle d'uniformiser ce courant, par la suite cet air se mêle avec les gouttelettes d'eau ce qui permet leur évaporation (humidification de l'air). Ce type d'humidificateur est aussi appelé humidificateur-laveur car les gouttelettes d'eau aident au lavage de l'air de ses impuretés comme les poussières et certaines gazes. En fin, l'air humide passe par le séparateur (5) qui élimine les gouttelettes non évaporées, puis la quantité de l'air humide injecté dans le local à humidifier [17].

B : Avantages et inconvénients**Tableau 3 : Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à pulvérisation d'eau par buses fixe [16]**

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ➤ La facilité de son installation grâce à sa petite taille. ➤ Son faible coût d'exploitation et de maintenance. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inapplicable dans les endroits étroits car il faut toujours laisser une distance minimum pour permettre l'évaporation des gouttelettes.

C : Domain d'application

L'humidification des ateliers textile, dans l'industrie, du bois, du papier, ...etc. [16]

II.2.1.1.3.3. Humidificateur à ultrason**Figure 14: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à ultrason [11]**

L'humidificateur d'eau pulvérisée par ultrasons est fait d'un élément de base à savoir un réservoir d'eau vidangeable, une électrovanne, un interrupteur à flotteur qui contrôle le niveau d'eau dans le réservoir, et un transducteur piézoélectrique fixé au fond du réservoir [18].

A : Principe de fonctionnement

Les humidificateurs à ultrason appliquent une vibration à haut fréquence à l'eau à l'aide d'un transducteur piézo-électrique. Comme le transducteur se déplace rapidement à travers un réservoir d'eau, un vide partiel est créé, ce qui génère une cavitation (une petite bulle de vapeur d'eau). Instantanément, lorsque le transducteur recule, il pousse la vapeur de la surface de l'eau.

Celle-ci se condense rapidement en des minuscules gouttelettes. Cet humidificateur nécessite une alimentation en eau déminéralisée pour éviter la mise à l'échelle du transducteur et pour empêcher les particules fines de pénétrer dans l'air. Le réservoir d'eau doit être vidangé automatique pour éviter l'accumulation de bactéries [8].

B: Avantages et inconvénients

Tableau 4 : Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à ultrason [16]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Par rapport à d'autres humidificateurs, le débit d'eau de cet humidificateur est plus élevé (toute l'eau est presque atomisée). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ L'humidificateur n'a pas de système de traitement de l'eau ce qui nécessite l'utilisation d'une eau traitée.

C : Domain d'application



Figure 15: schéma de fonctionnement d'un humidificateur à évaporation [11]

- Magasin de détail de viande
- Les vitrines réfrigérées
- Chambre froide
- Industrie alimentaire (fromage, légume,)

II.2.1.2. Humidificateur à évaporation d'eau

II.2.1.2.1. Principe de fonctionnement

Dans ce type d'humidificateur, l'air passe à travers des panneaux perméables à l'électricité statique de matériaux (papier, plastique, céramique ou fibre de verre) qui sont saturés d'eau, laquelle s'évapore de la surface humide [8]. L'air circule à contrecourant ou à courant croisé avec le circuit d'eau. Le contacte d'eau avec l'air permet sa vaporisation. Cette vaporisation

dépend de l'état thermodynamique de l'air à l'entrée et de l'état d'eau sachant que la meilleure vaporisation se fait lorsque :

- L'écart de température est important ($T_{air} > T_{eau}$).
- La vitesse de l'air entrée est importante.
- L'humidité faible de l'air à l'entrée [17].

Dans cet appareil, un bac maintient l'eau à niveau constant grâce à un flotteur. La pompe envoie l'eau au sommet de l'appareil, d'où elle s'écoule dans le média ou sur le support. La fraction non évaporée est recueillie dans le bac et recyclée [16].

II.2.1.2.2. Evolution dans le diagramme de l'air humide

L'évaporation de l'eau nécessite un changement d'état, et donc une quantité de chaleur appelée "chaleur de vaporisation". Cette énergie est prise sur l'air, qui se refroidit en s'humidifiant. Globalement, dans le système "eau + air", rien ne se perd, rien ne se crée. L'énergie totale est conservée : l'énergie de l'air "sec et chaud" est égale à l'énergie de l'air "froid et humide". On dit que la transformation est "isenthalpique" ou encore "adiabatique". Sur le diagramme de l'air humide, l'évolution de l'air suit une isenthalpique. Au maximum, l'air peut atteindre la saturation [16].

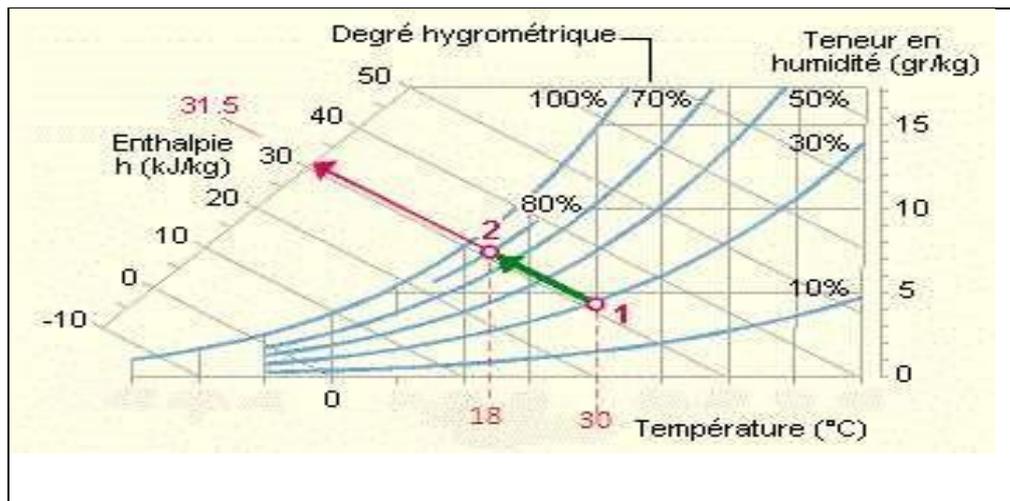


Figure 16: Comportement d'un humidificateur à évaporation dans le diagramme d'air humide.

II.2.1.2.2. Technologies des appareils évaporation d'eau

II.2.1.2.2.1. Humidificateurs type laveurs d'air

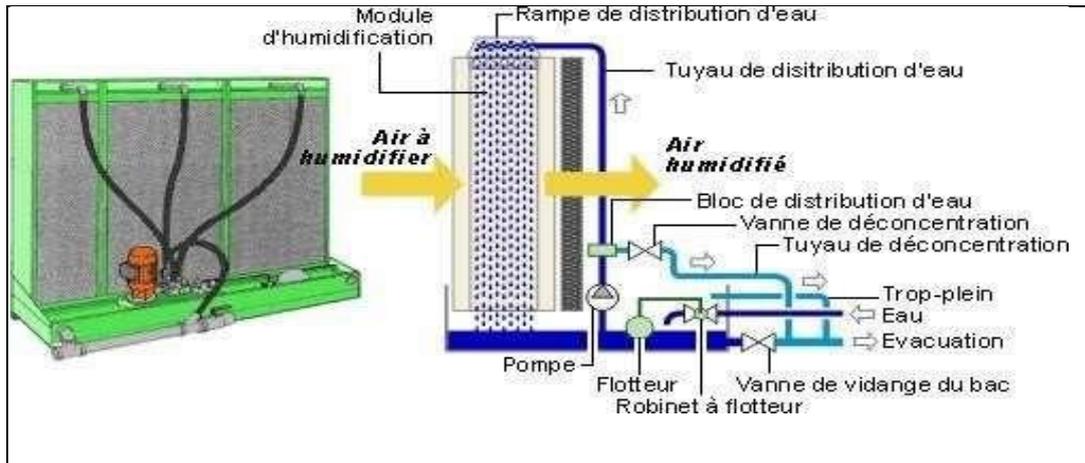


Figure 17:Schéma d'un Humidificateur laveur d'eau recyclé [11]

A. Principe de fonctionnement

La pompe puise l'eau à partir du réservoir, puis l'envoie dans la rampe de distribution. L'eau circule verticalement sur la surface formée sous forme de fine couche. Ensuite, le flux d'air et d'eau se croisent en mélangeant ces surfaces humides, l'évaporation de ces couches d'eau est alors assurée. Le reste d'eau qui ne s'est pas encore évaporé retombe dans la marmite pour un nouveau cycle. Puisque le niveau du réservoir d'eau est contrôlé par le flotteur [17].

La vitesse de circulation de l'air est généralement comprise entre 1 et 3 m/s. En plus de cela, il serait utile de prévoir un casse-goutte qui collectera les microgouttelettes portées par le flux d'air [16].

B. Avantages et inconvénients

Tableau 5: Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à laveur d'air

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ne pas transférer de sels (calcaire) dans l'air pulsé vers les locaux. ➤ Purifier l'air davantage puisque l'humidificateur agit comme un filtre humide. ➤ Un encombrement généralement réduit. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le média est souvent un lieu de prolifération de bactéries, de champignons, ... ➤ L'humidificateur à ruissellement est parfois difficilement nettoyable. ➤ Les pertes de charge sont augmentées par rapport aux autres systèmes d'humidification.

C : Domain d'application

- Ce type d'humidificateur (généralement monté sur roulettes) est utilisé dans des bureaux, des salles de musées, etc.

II.2.1.2.2.2. Humidificateur à évaporation d'eau perdue

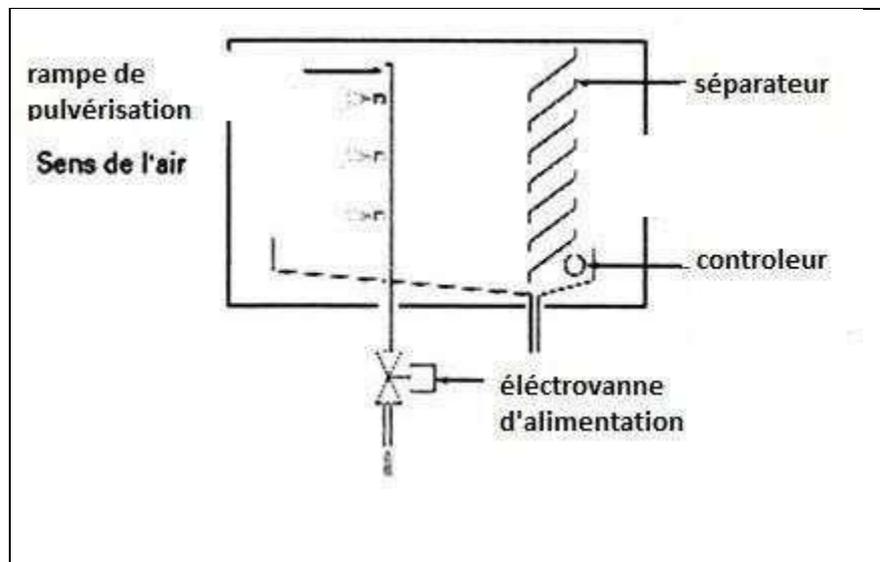


Figure 18: Schéma d'un Humidificateur à évaporation d'eau perdue [11]

A. Principe de fonctionnement

Dans ce modèle, l'air à humidifier circule à contre-courant avec un flux de gouttelettes d'eau pulvérisées grâce à des buses fixes. Les gouttelettes se mettent en contact avec de l'air de température plus élevée ce qui assure la vaporisation de certaines de ces gouttelettes jusqu'à la saturation de l'air. Les gouttelettes restantes non évaporées vont être piégées par un séparateur de gouttes, puis retombent pour être évacuées à travers un tuyau d'évacuation [18].

B: Avantages et inconvénients

Tableau 6: Avantages et Inconvénients d'un humidificateur à évaporation d'eau perdue [16]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ La filtration de l'air est assurée par le lavage des gouttelettes d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Absence d'un système de traitement d'eau.

C : Domain d'application

- Les centrales de traitement de l'air.
- Les locaux comme la maison, salle de musée, etc. [16]

II.2.2. Les humidificateurs isothermes

II.2.2.1. Humidificateur à vapeur

L'humidificateur à vapeur est un système qui génère de la vapeur et la disperse dans l'air à humidifier. Il est composé d'un générateur de vapeur saturée, d'une rampe d'injection de vapeur dans l'air ainsi que l'équipement pour transporter la vapeur entre ces deux composants [19]. Les rampes sont placées soit dans les caissons de traitement d'air, soit directement dans la gaine d'air conditionné [16].

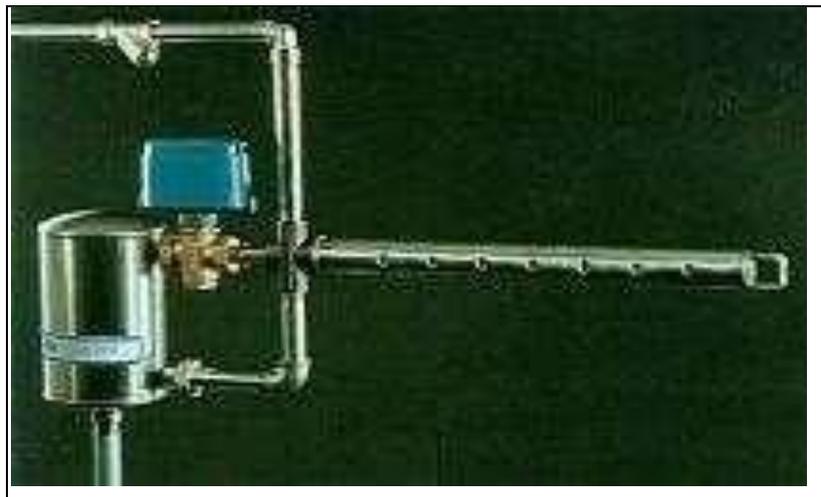


Figure 19: Rampe d'humidification pour un humidificateur à vapeur sèche non autonome [11]

II.2.2.1.1. Principe de fonctionnement

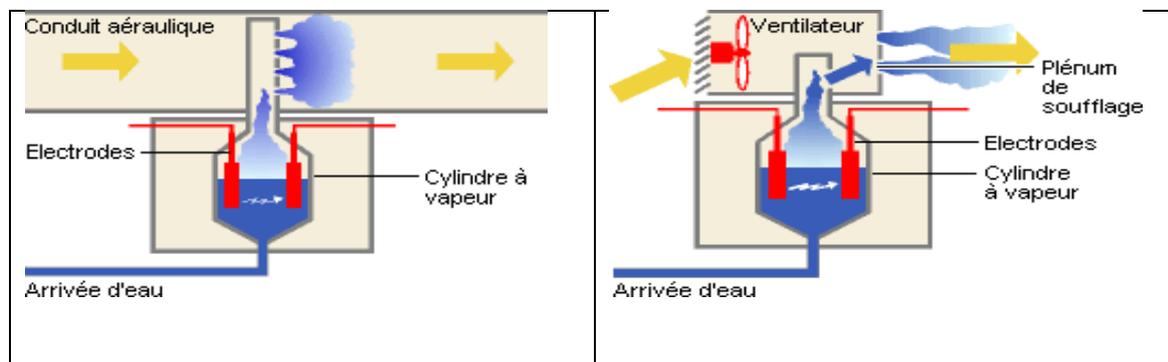


Figure 20: Schéma de fonctionnement d'un humidificateur à vapeur sèche

Un humidificateur à vapeur injecte de la vapeur d'eau dans l'air à humidifier. Celle-ci est produite soit dans une chaudière à vapeur (grandes installations), soit dans des appareils autonomes. La vapeur est conduite vers les rampes d'injection (tubes percés d'orifices

calibrés) placées soit dans les centrales de traitement d'air, soit directement dans la gaine de climatisation.

La vapeur arrive sèche dans la rampe (gaz invisible). Au contact de l'air froid elle se condense en microgouttelettes (brouillard visible). L'air s'échauffe grâce à la chaleur de condensation de la vapeur. Cette chaleur permet à la vapeur de se vaporiser, qui revient à un état gazeux invisible, mélangée à l'air [16].

II.2.2.1.2. Evaluation dans le diagramme de l'air humide

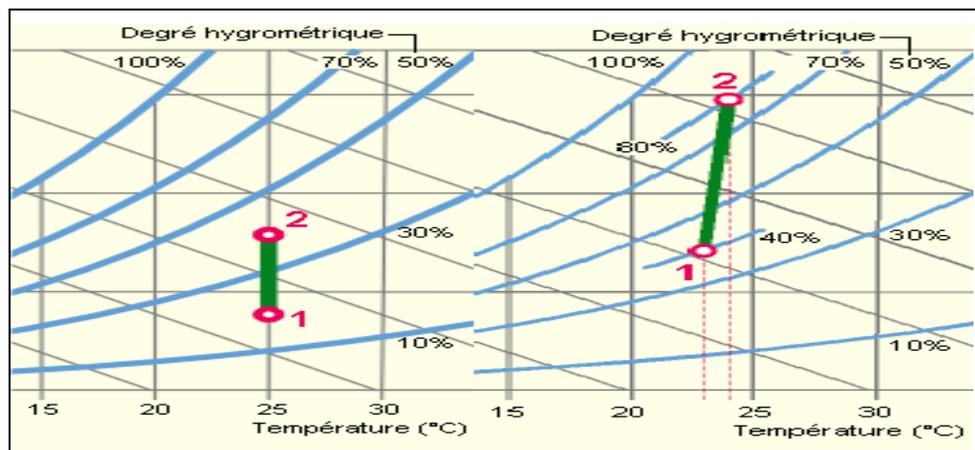


Figure 21: Evaluation dans le diagramme de l'air humide d'un humidificateur à vapeur sèche [15]

En première approximation, l'humidification de l'air par injection de vapeur va provoquer un déplacement vertical de la carte d'air humide. L'air « sec » (1) suit une évolution constante de la température et finit par devenir « humide » au point (2). En réalité, un très léger échauffement existe, mais négligeable dans la pratique.

Cette énergie de vaporisation lui est nécessaire pour maintenir la vapeur dans l'air. Dans une certaine mesure, la diffusion de l'eau dans l'air « fournit sa propre énergie de vaporisation

». Si l'air se réchauffe, c'est parce que quelques grammes d'eau chaude sont mélangés à l'air. Par conséquent, l'image exacte de l'air humidifié avec des jets de vapeur est une ligne légèrement inclinée vers la droite. Les concepteurs ignorent souvent cette légère augmentation de température [16].

II.2.2.1.3. Technologies des appareils à vapeur

II.2.2.1.3.1. Humidificateur autonome à vapeur – générateur à électrode

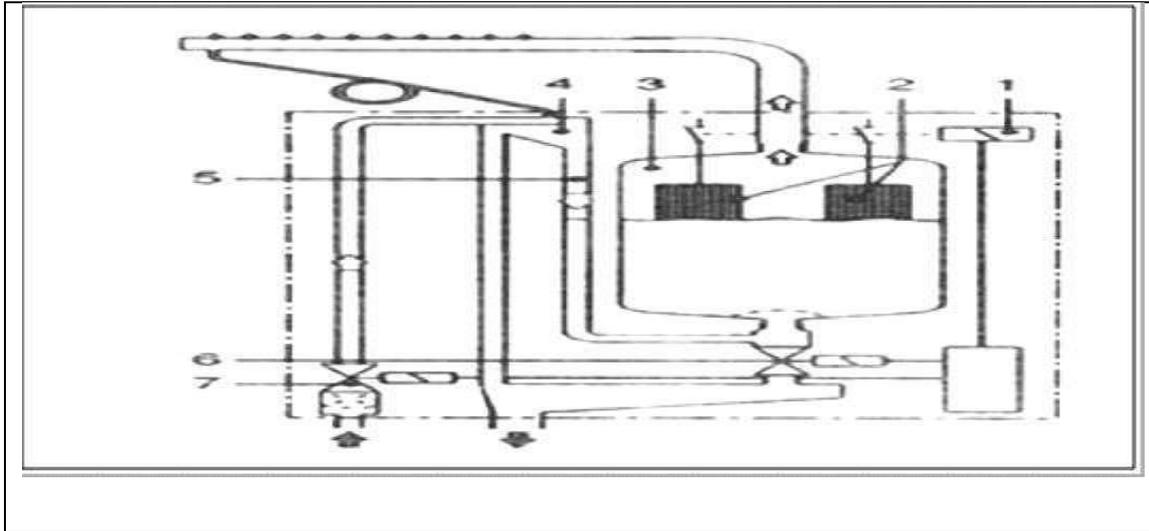


Figure 22: Principe de fonctionnement de générateur à électrode [16]

A : Principe de fonctionnement

Dans ce cas, l'air est humidifié par la vapeur sèche produite par l'humidificateur lui-même à l'aide des électrodes.

La figure (II.10) montre un exemple de cet humidificateur dont le principe de fonctionnement est comme suit : des électrodes (2) sont émergées dans un réservoir d'eau. Lorsqu'il y a demande de vapeur, les électrodes sont mises sous tension à l'aide de contacteur principale (1) constitué d'un ensemble de pièces électroniques programmables.

Le courant passe entre les électrodes à travers l'eau qui joue le rôle d'une résistance chauffante. L'eau s'échauffe et lorsqu'elle atteint la température de saturation elle commence à s'évaporer. La vapeur remonte vers le haut où elle sera diffusée à travers la rampe de distribution.

Le niveau du réservoir est maintenu à une certaine hauteur grâce à une sonde qui contrôle le niveau en fermant la vanne d'eau (7) dès que le niveau est atteint. Lorsque le débit de vapeur nécessaire est atteint, la vanne d'alimentation en eau (7) se ferme, et s'ouvre à nouveau lorsqu'il y a demande de vapeur.

La vapeur produite étant pur c.-à-d. exempte de sels et de minéraux, ce qui entraîne l'augmentation de la concentration de ces dernières dans l'eau restant dans le réservoir. Cette augmentation en sels et en minéraux provoque à son tour l'augmentation de la conductivité électrique de l'eau, ce qui signifie augmentation du courant consommé.

Pour remédier à ce problème, le réservoir est pourvu d'un système de purge de déconcentration automatique pour évacuer l'eau à forte concentration et la remplacer par de l'eau neuve en

provenance de réseau. Une certaine quantité de vapeur est condensée dans la rampe lors du démarrage à froid d'où l'appareil est équipé d'un système qui permet de récupérer ses condensats et les renvoyer dans le réservoir à travers un tuyau [20].

B : Avantages et inconvénients

Tableau 7 : Humidificateur autonome à vapeur – générateur à électrodes [16]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ce type d'humidificateur n'a pas besoin d'un système de traitement d'eau car (la vapeur produite est pure) ➤ L'efficacité de cet humidificateur est élevée, car toute la vapeur produite se mélange avec l'air. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le faible rendement en eau à cause des purges de déconcentration

C : Domaines d'application

On peut trouver l'humidificateur-générateur à électrodes dans les domaines suivants : centrale de traitement d'air ; conduits aérauliques ; bains de vapeur, hammams, [17].

II.2.2.1.3.1. Humidificateur autonome à vapeur – générateur à résistances

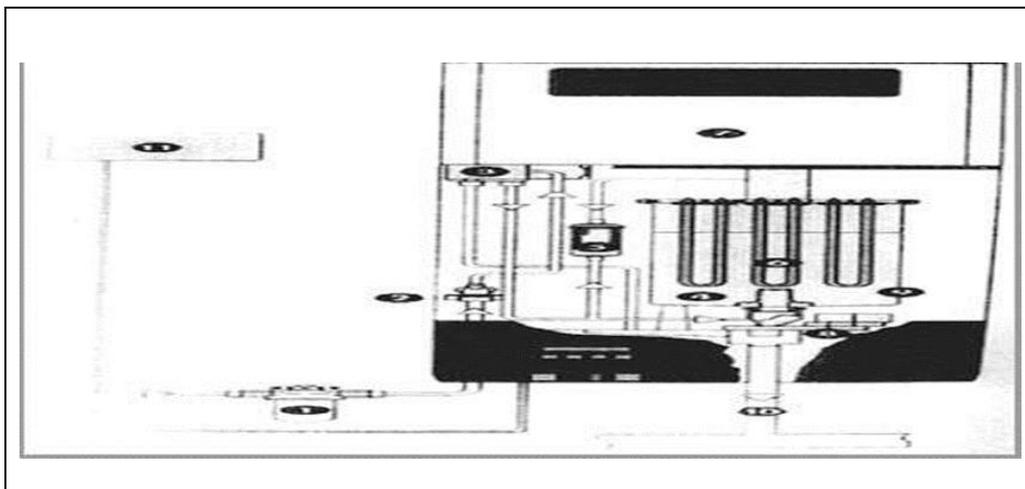


Figure 23: Générateur à résistances [16]

A : Principe de fonctionnement

Dans ce type d'humidificateur la vapeur est produite grâce à des thermoplongeurs (6), qui sont des résistances électriques du type barre ou serpentín émergées dans une cuve (4) (où réservoir d'eau), dont le niveau est maintenu constant grâce au régulateur de niveau d'eau (5).

La vapeur produite est diffusée dans l'air par à un ventilateur (7). L'eau en provenance du réseau passe par le robinet principal avec filtre (1) où elle est filtrée de ses impuretés de taille importante.

Comme dans le cas des humidificateurs à électrodes, il y a petit à petit augmentation de la concentration en minéraux dans la cuve ce qui nécessite une purge de déconcentration contrôlée par la vanne d'écoulement (8). Ces sels minéraux purgés de la cuve sont évacués au moyen d'un sac à calcaire rigide (10), [20].

B : Avantages et inconvénients

Il représente les mêmes avantages et inconvénients qu'un humidificateur-générateur à électrodes.

C : Domaines d'application

On l'utilise également dans les mêmes domaines que celui de l'humidificateur- générateur à électrodes.

Conclusion

Dans un projet d'installation d'humidification, il faut déterminer dans quelles conditions l'installation projetée pourra fonctionner de façon optimale. Ce qui nécessite de connaître les et les inconvénients des différents humidificateurs.

Chapitre III

Les paramètres d'air humide

Introduction

Le rafraîchissement de l'air par humidification est un processus de traitement de l'air qui utilise l'évaporation de l'eau pour refroidir l'air chaud. Ce procédé de conditionnement de l'air comme alternatif à la climatisation conventionnelle dans les régions à climat chaud, le rafraîchissement évaporatif de l'air se manifeste par un abaissement de la température et une augmentation de l'humidité par un phénomène de transfert de masse et de chaleur entre l'air et l'eau dans l'enceinte d'évaporation. Cette technique est très économique et ne manifeste aucun rejet polluant pour l'environnement [21].

III.1. Généralités sur le rafraîchissement de l'air par humidification d'eau

Le rafraîchissement d'air est un processus qui a pour but d'augmenter l'humidité de l'air à l'intérieur de l'habitat et de diminuer sa température, cela pour provoquer une sensation de fraîcheur dans la saison estivale. [22] Ce procédé de traitement d'air est très adaptable aux régions arides et semi-arides qui sont caractérisés par un climat sec et chaud en période d'été. D'autre part, ce procédé est très économique, simple à réaliser comparativement aux autres procédés conventionnels qui fonctionnent suivant des évolutions thermodynamiques coûteuses, en raison d'une consommation électrique très élevée [23].

III.2. Position de problème

Dans ce chapitre là nous exposons notre problème on s'intéresse à l'étude du rafraîchissement de l'air par humidification d'eau, choisissant la wilaya de BOUIRA et basant sur la période estivale. L'élévation de la température dans la wilaya de BOUIRA en période de l'été atteindre des valeurs supérieures de 35°C jusqu'à 45°C. Utilisons un humidificateur à évaporation pour rafraîchirai l'air d'un local.

III.3. Géométrie de locale

Notre local est un bureau de longueur de 4 m et de 3 m de largeur ainsi que de 2.80 m de hauteur.

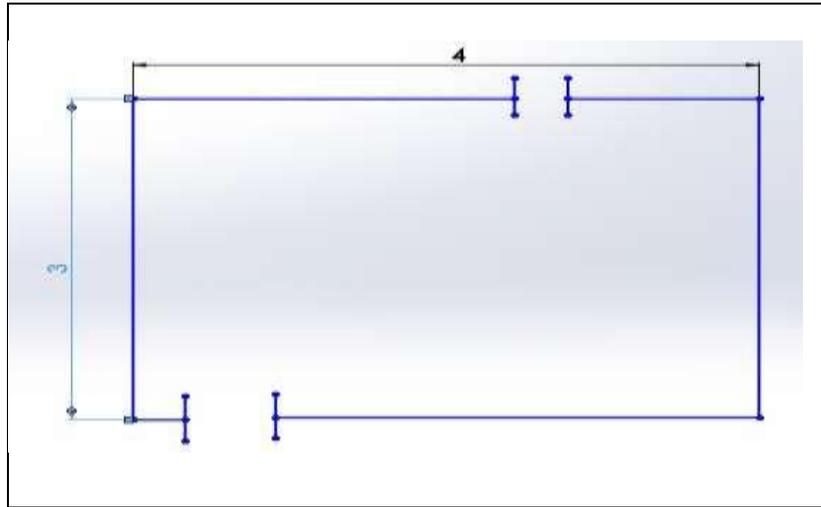


Figure 24: Géométrie de local

III.4. Description de l'humidificateur à évaporation

Dans notre travail on utilise l'humidificateur à évaporation directe. C'est le procédé le plus simple, dans lequel l'air extérieur est alimenté par un ventilateur, cet air passe ensuite dans une pièce où il entre en contact avec l'eau. Celle-ci est fournie soit par un asperseur, sous forme de fines gouttelettes d'eau, soit par un milieu poreux humidifié. Durant le contact avec l'air chaud l'eau s'évapore, ce qui abaisse sa température et augmente sa teneur en humidité.

Pour des raisons pratiques, on a un intérêt à ce que l'air ne soit pas saturé entièrement à 100%. Généralement, ce procédé est également appelé « refroidissement adiabatique » par les fabricants, par le fait qu'il n'y a pas d'échange de chaleur autre qu'entre l'air et l'eau avec laquelle il est en contact. [24]

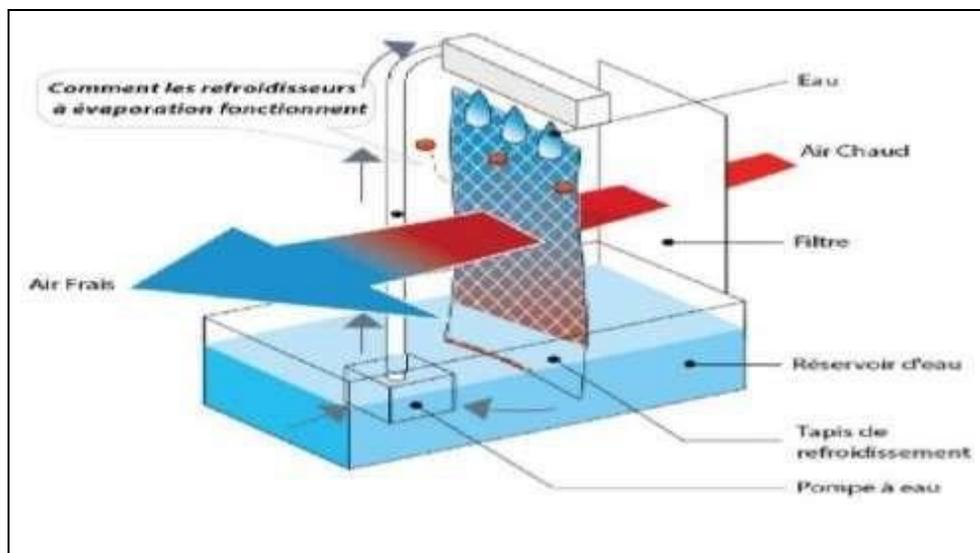


Figure 25: Humidificateur à évaporation direct

III.5. Description théorique de l'expérience

Dans notre expérience en va étudier la variation de la température et l'humidité relative de l'air dans un local (bureau) en fonction de $Qv\ eau$

Utilisant un humidificateur direct qui se caractérise de :

La masse volumique d'air humide $\rho_{ah} = 1.225 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

La vitesse d'air entre à l'humidificateur $v_{air} = 5 \left[\frac{m}{s} \right]$

La section de canal d'entrée (s) $s = l.L = 0,4.0,3 = 0,12m^2$

❖ Calcul de débit volumique d'air humide

$$q_{vah} = s \cdot v_{air} \quad (III.1)$$

$$q_{vah} = 0.6 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

❖ Calcul de débit massique d'air humide

$$q_{mah} = \rho_{ah} \cdot q_{vah} \quad (III.2)$$

$$q_{mah} = 0.735 \text{ [kg}_{ah}/\text{s]}$$

❖ Calcul de débit massique d'air sec

$$q_{mas} = \frac{q_{vah}}{v_s} \text{ [kg}_{as}/\text{s}] \quad (III.3)$$

❖ Calcul de débit massique d'eau consommé

$$q_{meau} = q_{mas} \cdot (r_{souf}^s - r_{ext}^s) \text{ [g}_{eau}/\text{s}] \quad (III.4)$$

III.6. Chaleur et puissance sensible

III.6.1. LA chaleur sensible

La chaleur sensible modifie la température d'une matière sans changement de l'état physique.

Voir figure 04 page 12 :

$$Q_s = (h_l - h_{ext}) \text{ [kJ/kg}_{as}] \quad (III.5)$$

III.6.2. La puissance sensible

Le flux de chaleur sensible est défini comme le flux de chaleur qui est transféré par la surface à l'atmosphère par conduction thermique, elle s'exprime avec la formule suivante :

$$\phi_s = Q_{mas} \cdot (h_l - h_{ext}) \quad [KW] \quad (III.6)$$

III.7. La chaleur latente et la puissance latente

III.7. 1. La chaleur latente

$$Q_l = (h_{souf} - h_l) \quad [kJ/kg_{as}] \quad (III.7)$$

III.7.2. La puissance latente

Le flux de chaleur latente est l'équivalent énergétique du flux de molécules d'eau qui s'évaporent à la surface.

$$\phi_l = q_{mas} \cdot (h_{souf} - h_l) \quad [KW] \quad (III.8)$$

III.8. L'efficacité d'un humidificateur

Le rendement est défini par le rapport entre l'abaissement réel de la température de bulbe sec de l'air et l'abaissement de température théorique maximale, si le rendement était à 100 et l'air soufflé était saturé. Pour évaluer la performance de rafraichissement de l'air, ils utilisent le concept d'efficacité énergétique, exprimé par la relation suivante :

$$\varepsilon = \frac{T_{ext} - T_{soufflage}^{réel}}{T_{ext} - T_{soufflage}^{saturation}} \quad (III.9)$$

T_{ext} : Température à l'entrée de l'humidificateur

T_{souf}^r : Température réel au soufflage (la sortie de l'humidificateur)

T_{souf}^s : Température de soufflage à la saturation

$$\varepsilon = \frac{\Psi_{réel} - \Psi_{extérieur}}{\Psi_{saturation} - \Psi_{extérieur}} \quad (III.10)$$

Ψ_r : Humidité relative réel à la sortie d'humidificateur.

Ψ_{ext} : Humidité relative à l'entrée d'humidificateur.

Ψ_s : Humidité relative à la saturation (100%).

Théoriquement, on dit un humidificateur idéal ($\varepsilon=1$) lorsque tout le débit de l'air sec soufflés passent sur la surface humide et se charge de l'eau, mais réellement y'aura des particules qui ne se charge pas avec de l'eau sa ce qu'on appelle le taux de bay passe.

III.9. Détermination des paramètres climatique et thermique

III.9.1. Premiers cas

- Supposant l'humidificateur idéal d'où l'efficacité égale à 1
- Les températures et l'humidité relative le 16 septembre 2021 à BOUIRA de 10h à 19h
- Détermination des températures et des humidités et le volume à le soutient d'un diagramme de l'air humide. [P = 101300 Pa ; altitude (m) : 200 à 600]

Tableau 7: Paramètres climatiques déterminées à l'aide du diagramme d'air humide à 100%

	r_{ext}^s [g _{eau} /kg _{gas}]	r_{souf}^s [g _{eau} /kg _{gas}]	ψ_{ext} [%]	ψ_{souf} [%]	T_{ext} [°C]	T_{souf} [°C]	ΔT [°C]	V^s [m ³ _{ah} /kg _{gas}]	q_{mas} [kg/s]	q_{meau} [g/s]	ε (%)
10H	6,3	12,5	20	100	33	17,2	15,8	0,907	0,662	4,104	100
11H	6,18	12,9	18	100	34	18	16	0,912	0,658	4,409	100
12H	6,1	13,4	16	100	36	18,4	17,6	0,916	0,655	4,782	100
13H	6	13,9	15	100	37	18,9	18,1	0,919	0,653	5,158	100
14H	5,7	13,5	14	100	37	18,5	18,5	0,918	0,654	5,297	100
15H	5,5	14,1	12	100	39	19,2	19,8	0,924	0,649	5,581	100
16H	5,4	13,6	13	100	38	19,2	18,8	0,921	0,651	5,401	100
17H	05,2	13	13	100	37	19,1	17,9	0,917	0,654	5,078	100
18H	5	12,4	14	100	35	17,4	17,6	0,913	0,657	4,862	100

❖ Variation de la température

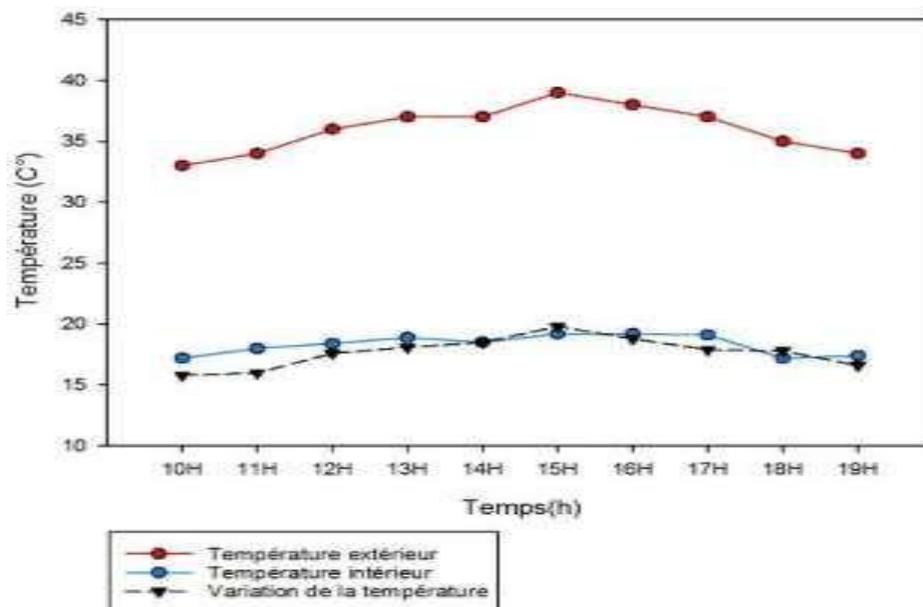


Figure 26: Variation des températures extérieures et intérieures en fonction de temps à humidité relative (100%)

Commentaire

Dans le diagramme figure (27) qui représentent la variation des températures avant et après l'humidification, nous remarquons que les températures de soufflage et les températures extérieures varient ordinairement avec le temps. Lorsque (T_{ext}) augmente (T_{souf}) augmente aussi d'où à 10h (T_{ext}) égale à sa valeur minimale ($T_{ext\ min} = 33^{\circ}C$) qui correspond à la valeur minimale de (T_{souf}) ($T_{souf\ min} = 17,2^{\circ}C$). A 15h les deux températures atteindre la valeur maximale ($T_{ext\ max} = 39^{\circ}C$) et ($T_{int\ max} = 19,4^{\circ}C$). L'écart ΔT varie entre ($15,8^{\circ}C$ et $19,8^{\circ}C$) ce qui affirmer un très bon rafraichissement.

❖ Variation d'humidité

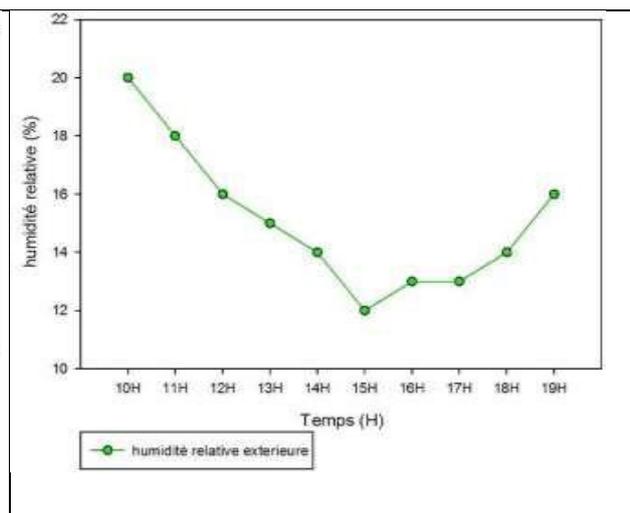
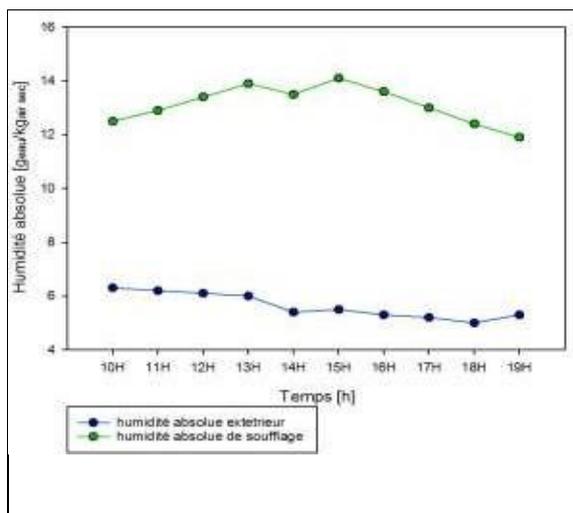


Figure 27: Variation d'humidité absolue
Commentaire :

Figure 28: Variation d'humidité relative

- Pour l'humidité, son évolution durant la journée montre qu'elle est inversement proportionnelle à la température d'après figure (30) c'est-à-dire T_{ext} augmente ψ diminue, T_{ext} diminue ψ augmente.
- Notons dans le tableau que la température extérieure augmente de 10h jusqu'à 15h et Diminue de 15h jusqu'à 19h. Remarquons que l'humidité absolue extérieure et intérieure varient régulièrement avec T_{ext} , quand T_{ext} augmente r_{souf}^S augmente et le contraire est vrai.

❖ Variation de débit d'eau

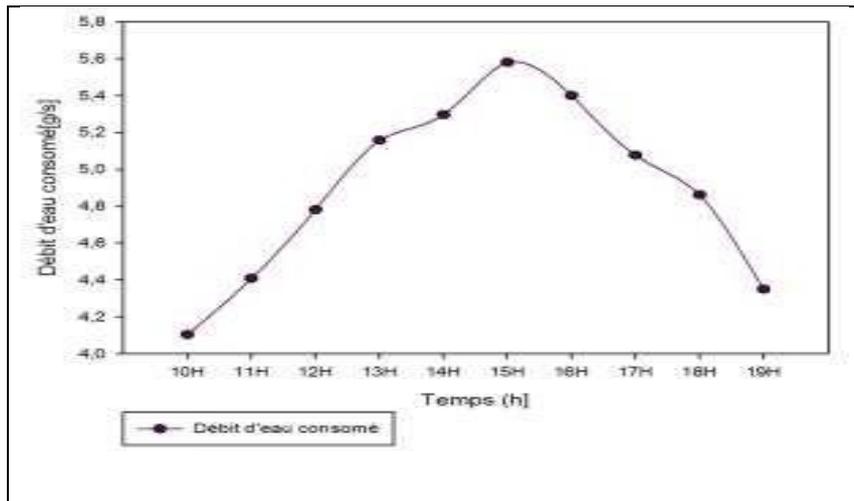


Figure 29: Variation de débit d'eau nécessaire en fonction de temps pour $\psi = 100\%$

Commentaire :

Le débit d'eau nécessaire pour rafraîchir l'air sec dépend de deux paramètres suivants :

- L'humidité relative extérieure, (ψ_{ext}) augmente d'une façon inverse avec le débit d'eau (q_{meau}).
- La température extérieure, (T_{ext}) augmente proportionnel avec le débit l'eau (q_{meau}).

Tableau 8 : Paramètres thermiques déterminées à l'aide du diagramme de l'air humide

	h_{ext} [kJ/kg _{as}]	h_l [kJ/kg _{as}]	Q_l [kJ/kg _{as}]	Q_s [kJ/kg _{as}]	ϕ_s KW	ϕ_l KW
10 H	49,1	35,9	13,2	-13,2	-8,7384	8,7384
11 H	50	36,1	13,9	-13,9	-9,1462	9,1462
12 H	52,2	36,8	15,4	-15,4	-10,087	10,087
13 H	53,3	38	15,3	-15,3	-9,9909	9,9909
14 H	52	36,8	15,2	-15,2	-9,9408	9,9408
15 H	53,1	35,1	18	-18	-11,682	11,682
16 H	51,9	34,2	17,7	-17,7	-11,5227	11,5227
17 H	50	32,7	17,3	-17,3	-11,3142	11,3142
18 H	48,9	33,1	15,8	-15,8	-10,3806	10,3806
19 H	46,2	31	15,2	-15,2	-10,0168	10,0168

❖ Variation d'enthalpie

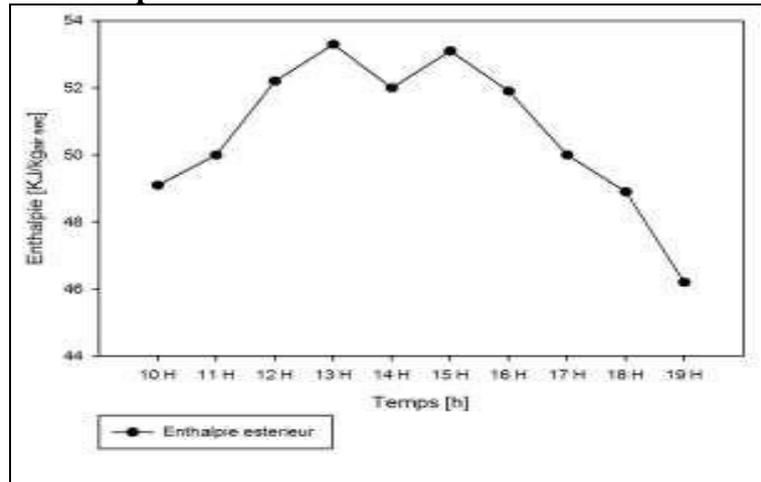


Figure 30: Variation d'enthalpie en fonction de temps à humidité relative 100%

Commentaire :

Dans le diagramme de la figure (30), on observe que l'enthalpie extérieure augmente régulièrement avec la température extérieure jusqu'à 15h puis il diminue de la même façon jusqu'à 19h.

❖ Variation de la chaleur sensible et latente

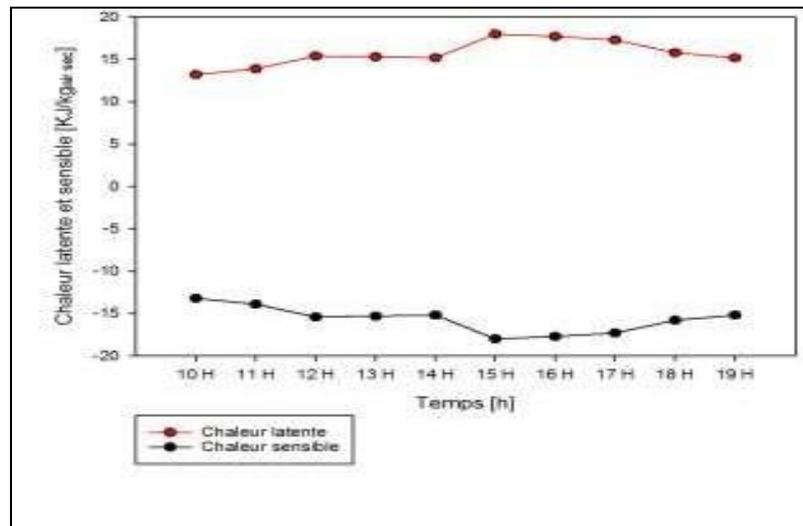


Figure 31: Variation de la chaleur sensible et latente en fonction de temps à humidité relative 100%

Commentaire :

Dans cette figure on remarque que les valeurs des chaleurs latentes et sensibles sont les mêmes avec un signe (-).

L'air sec cède sa chaleur sensible ce qui fait diminuer sa température, cette chaleur reçue par l'eau comme une chaleur latente ce qui provoque l'évaporation de l'eau pour augmenter l'humidité de l'air.

❖ Variation de la puissance sensible et latente

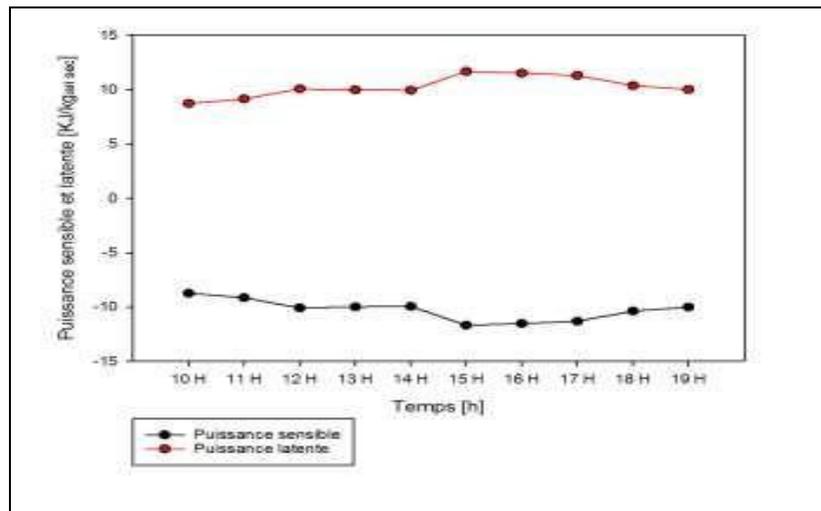


Figure 32: Variation de la puissance sensible et latente

Commentaire :

La puissance latente varie de la même façon avec la température extérieure d'où on peut déduire la puissance maximal (13,23 KW) qui convient à la température extérieure maximal (39°C) à 15h et la puissance minimal (9,702 KW) aussi correspond à la température minimale (33°C) à 10h, par contre la puissance sensible varie inversement avec la température extérieure.

III.9.2. Deuxième cas:

- Les températures et l'humidité relative le 16 septembre 2021 à BOUIRA de 10h à 19H fixant l'efficacité à 80% et utilisant le diagramme de l'air humide en trouve
- Détermination des températures et des humidités et le volume à l'aide d'un diagramme de l'air humide.

Tableau 9: Paramètres climatiques déterminées à l'aide du diagramme de l'air humide à 80%

	r_{ext}^S [g _{eau} /kg _{as}]	r_{souf}^S [g _{eau} /kg _{as}]	ψ_{ext} [%]	ψ_{souf} [%]	T_{ext} [°C]	T_{souf} [°C]	ΔT [°C]	V^S [m ³ _{ah} /kg _{as}]	q_{mas} [kg/s]	q_{meau} [g/s]	ε (%)
10H	6,3	12	20	84	33	20,36	12,64	0,900	0,666	3,796	80
11H	6,2	12,4	18	83,6	34	21,2	12,8	0,912	0,658	4,079	80
12H	6,1	12,8	16	83,2	36	21,92	14,08	0,916	0,655	4,388	80
13H	6	13	15	83,2	37	22,52	14,48	0,918	0,654	4,578	80
14H	5,4	13	14	82,8	37	22,2	14,8	0,919	0,653	4,963	80
15H	5,5	13,2	12	82,4	39	23,16	15,84	0,923	0,650	5,005	80
16H	5,3	12,6	13	82,6	38	22,76	15,24	0,922	0,654	4,774	80
17H	5,2	12,3	13	82,6	37	22,67	14,33	0,917	0,657	4,650	80
18H	5	11,8	14	82,8	35	21	14	0,913	0,655	4,454	80

❖ La variation de la température

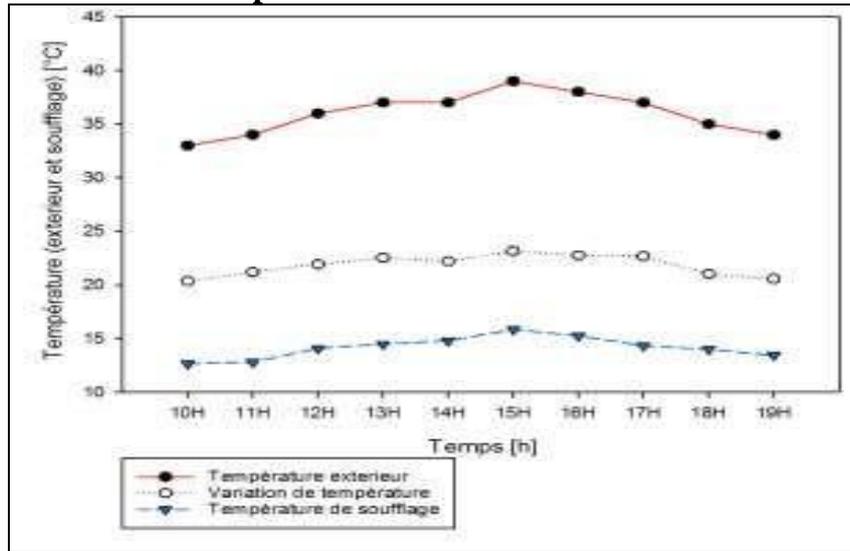


Figure 33: Variations des températures (T_{ext}) et (T_{souf}) en fonction de temps à efficacité constante (80%)

Commentaire :

On constate dans ce graphique que les deux températures, extérieure (T_{ext}) et soufflage (T_{souf}) elles se varient de la même manière avec le temps. On remarque une augmentation des températures de 10h jusqu'à 15h où les deux températures sont maximales telle que : ($T_{ext}max = 39^{\circ}C$) ; ($T_{souf}max = 23,16^{\circ}C$).

❖ La variation de l'humidité

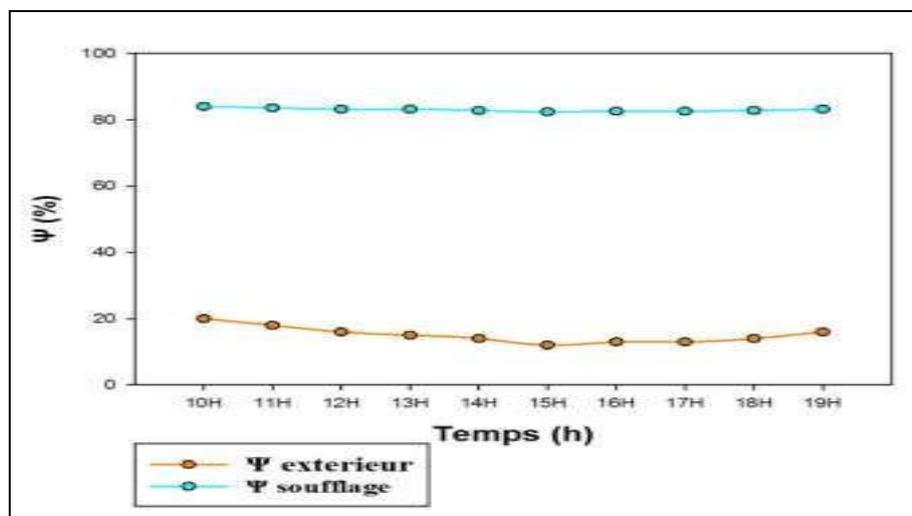


Figure 34: Variations de l'humidité Relative extérieure et soufflage en fonction de temps à (efficacité 80%)

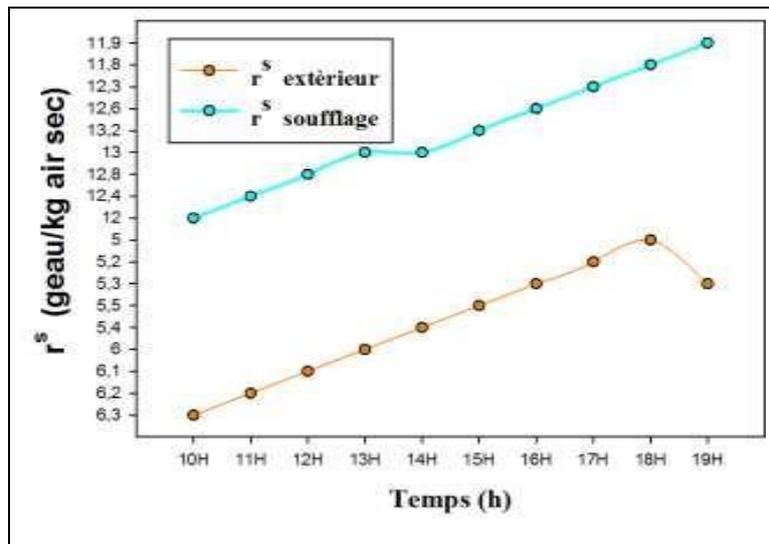


Figure 35: Variations de l'humidité absolue extérieure et soufflage en fonction temps à efficacité (80%)

❖ Variation de débit d'eau

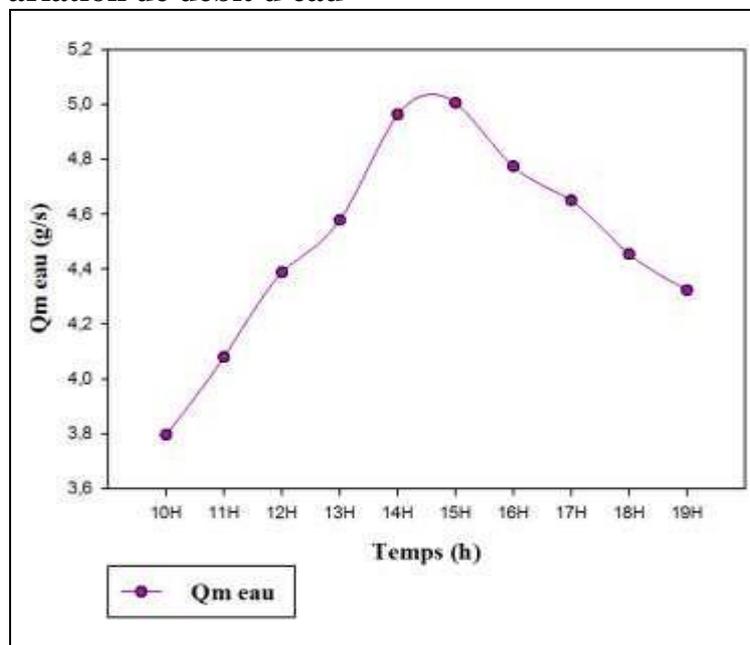


Figure 36: Variation de débit d'eau nécessaire en fonction de temps pour $\varepsilon=80\%$

Commentaire :

On remarque dans cette figure qui représente l'évaluation de débit d'eau consommé par rapport le temps, l'augmentation de débit d'eau dépend de la température extérieure, lorsque la température augmente, la consommation d'eau augmente.

❖ **Détermination de l'enthalpie et de la chaleur sensible et latente ainsi que la puissancesensible et latente.**

Tableau 10 : Paramètres thermiques déterminées à l'aide du diagramme de l'air humide

	h_{ext} [kJ/kg _{as}]	h_l [kJ/kg _{as}]	Q_l [kJ/kg _{as}]	Q_s [kJ/kg _{as}]	ϕ_s KW	ϕ_l KW
10 H	49,1	37	12,1	-12,1	-8,058	8,058
11 H	50	36	14	-14	-9,219	9,219
12 H	52,2	36,7	15,5	-15,5	-10,152	10,152
13 H	53,3	38	15,3	-15,3	-10,006	10,006
14 H	53	38	15	-15	-9,795	9,795
15 H	53,1	31,5	21,6	-21,6	-14,04	14,04
16 H	51,9	32	19,9	-19,9	-13,015	13,015
17 H	50	30,5	19,5	-19,5	-12,812	12,812
18 H	48,9	31	17,9	-17,9	-11,725	11,725
19 H	46,2	29	17,2	-17,2	-11,266	11,266

❖ **Variation de l'enthalpie**

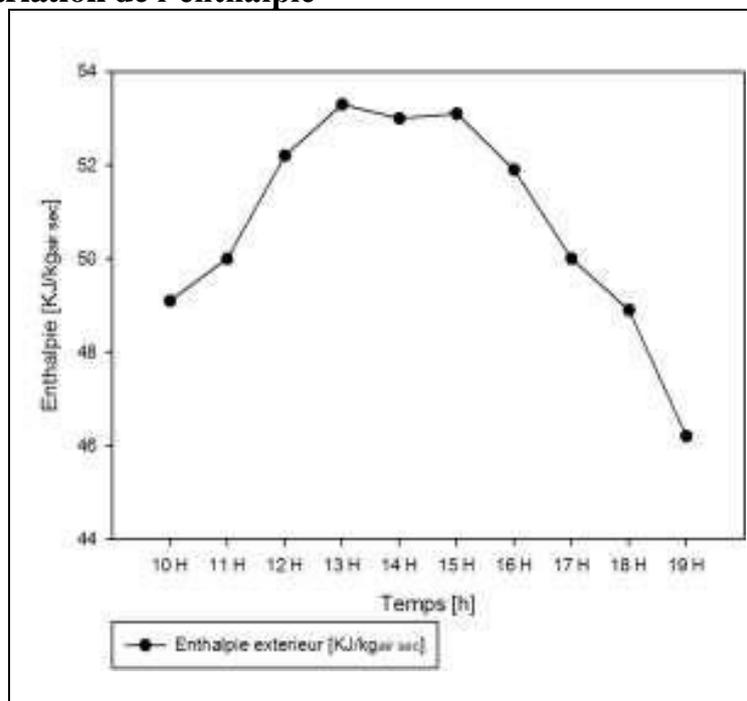


Figure 37: Variation de l'enthalpie extérieure en fonction de temps.

❖ Variation de la chaleur sensible et latente

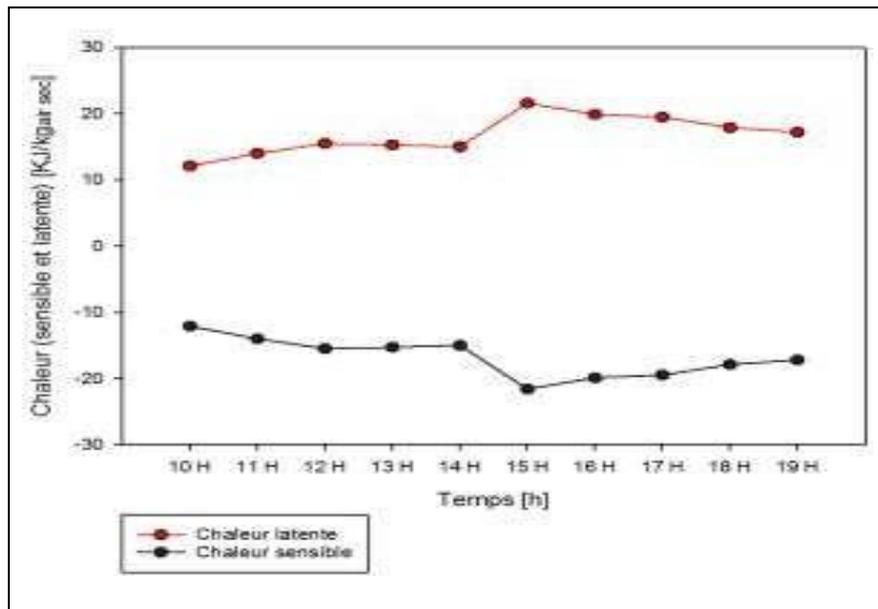


Figure 38: Variation de la chaleur sensible et latente en fonction de temps.

❖ Variation de la puissance sensible et latente

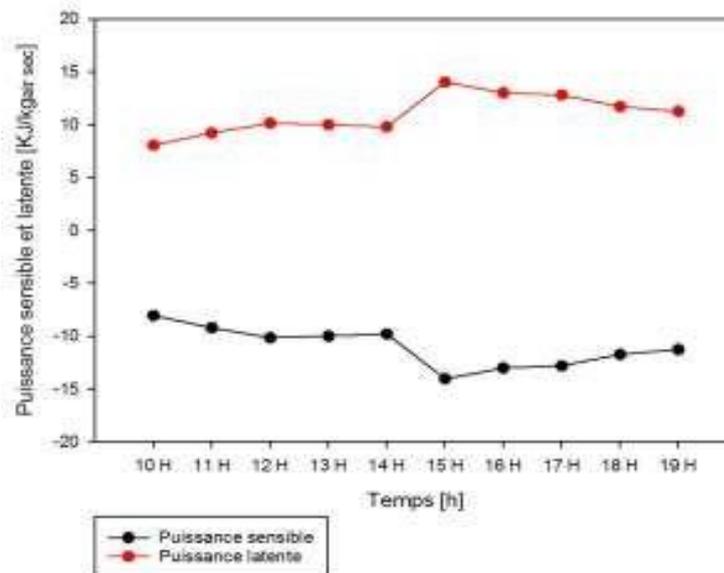


Figure 39: Variation de la puissance sensible et latente en fonction de temps.

Commentaire :

A travers les deux graphes (figure38, figure 39), on observe que la variation de chaleur et la puissance sensible et latente par rapport le temps, est symétrique c'est-à-dire que la chaleur cédée par l'air sera récupéré par l'eau, ce qui permet la condensation de la vapeur et le refroidissement d'air au soufflage.

Conclusion

Dans ce chapitre on a déterminé les paramètres climatiques et thermiques de l'humidificateur adiabatique à évaporation direct, au premier cas pour une humidification idéal l'efficacité égale à 1, nous avons obtenus de température intérieure basses que le deuxième cas qui ressemble à une efficacité de (0,80), dans ce dernier on a obtenu des températures intérieures qui varient dans un intervalle de 18 ,9°C jusqu'à 21°C qui appartient à la zone du confort thermique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Au terme de notre étude, nous pouvons dire que le ventilo-humidificateur constituerait une solution beaucoup intéressante pour les pays tropicaux chauds et secs.

Notre étude a comme objectif d'obtenir un climat confortable utilisant un système de rafraîchissement d'air avec évaporation.

L'objectif de ce système de rafraîchissement d'air par effet d'évaporation d'eau est la diminution de la température de l'air avec augmentation de l'humidité par un phénomène de transfert de chaleur et de masse entre l'air et l'eau.

Les principaux paramètres climatiques contrôlés et mesurés dans cette étude sont ; la température de l'air à l'entrée et la sortie du l'humidificateur (température de soufflage), ainsi que l'humidité relative en fonction du temps, principalement le débit d'air véhiculé et le débit d'eau utilisé pour humidifier un local.

Les résultats présentés dans le chapitre III, dédié à l'étude sur le rafraîchissement de l'air par évaporation direct, dans le premier cas supposons l'humidificateur idéal ($\epsilon=1$), trouvons des températures et des humidités basses que le deuxième cas qui se caractérise par un humidificateur de ($\epsilon=0,8$).

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1]: L. Borel et D. Favrat Errata de livre Thermodynamique et Energétique de, Vol 1(édition2005).
- [2]: [DUMINIL, Maxime. Air humide. Techniques de l'ingénieur. Génie énergétique, 1996, vol. 1, no B2230, p. B2230. 1-B2230. 13.]
- [3]: PNR France : buses et accessoires de pulvérisation depuis 1968. Système d'humidification [en ligne] <http://www.pnr-france.fr/site-web/Systeme-d-humidification?lang=fr> (consulté le dimanche12 May 2013)].
- [4] : Thermique du bâtiment, Chap G:Climatisation-Conditionnement d'air [enligne]<http://iuttice.ujfgrenoble.fr/ticespaces/GC/thermique/chapG/0schap/conditionnement.pdf>
- [5] : F. REIMUTH, Climatisation et conditionnement de l'air modernes par l'exemple (tome 1 les calculs) ; PYC livres éditions ; 1999.
- [6] : CRETINON, Bernard. Mesure des paramètres de l'air humide. Technique de l'Ingénieur R, 1995, vol. 3, p. 045.
- [7] : https://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user3775/documents/actes/congres_2009/Communications/152.pdf.
- [8]: Humidification. (Knowledge et al., n.d.) 2012
- [9] : J. BOUTELOUP, M. LE GUAY, J LIGEN ; Climatisation et conditionnement de l'air 4 les systèmes ; les éditions parisiennes.
- [10] : R. CADIERGUES, calcul des charges de climatisation et conditionnement d'air, Livre PYC,.PARIS, 1998.
- [11] HAMZAOUI, Narimane, KHELIFI, Cherif, et al. Humidification de l'air d'un local par pulvérisation d'eau dans un milieu saharien. 2013. Thèse de doctorat. Université Adrar

- [12] Castaig-Lasvignottes, “Air humide : propriétés thermodynamiques, opérations unitaire et technologie associées a son emploi.,” Univ. PAU DES PAYS L’ADOUR, vol. 84, pp. 487–492, 2003.
- [13] Wolkoff, P. (2018). Indoor air moisture, air quality, and health-an overview. *International journal of environmental hygiene and health*, 221(3), 376-390.
- [14]: Derby, M. M., Hamehkasi, M., Eckels, S., Hwang, G. M., Jones, B., Maghirang, R., & Shulan, D. (2017). Updated scientific evidence for specifying lower relative humidity limit levels for comfort, health, and indoor environmental quality in occupied spaces (RP-1630). *Science and Technology for the Built Environment*, 23(1), 30-45.
- [15]: Xie, X., Li, Y., Chwang, A. T., Ho, P. L., & Seto, W. H. (2007). How far droplets can move in indoor environments--revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor air*, 17(3), 211-225.
- [16] ASHRAE Handbook, HVAC systems and equipment, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, USA, 201
- [17] Kovak, B., Heimann, P. R., and Hammel, J. (1997). Sanitizing effects of desiccant cooling. *Ashrae Journal*, 39(4), 60.
- [18] Straus, D., Larranaga, M. D., Karunasena, E., Holder, H. W., & Beruvides, M. G. (2011). Improving indoor environmental quality using desiccant-assisted heating, ventilation, and air conditioning systems. In *chemistries, emission control, radioactive pollution and indoor air quality*. IntechOpen Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)
- [19] Walker JEC, Wells R Humidificateur a pulvérisation centrifuge E, Merill EW. Heat and water exchange in the respiratory tract. *Suis J Med* 1961; 6: 259-67
- [20] Chalon J, Loew DAY, Malebranche J. Effects of dry anesthetic gases on the tracheobronchial hair epithelium. *Anesthesiology* 1972; 37: 338-43

[21]: S. H. SELLAM, A. MOUMMI, and A. Hakim, « Rafraichissement de l’Air par Effet d’Evaporation d’Eau en utilisant la Fibre de Palmier Dattier, Application dans les Zones Arides et Semi-arides, » First Arab Conférences on Mechanical Engineering (ARCME’17) (2017).

[22]: bdelkader Hachaichi, « Etude de l’effet de la température de l’eau et du débit d’air sur les performances d’une installation de rafraichissement par humidification », mémoire de master, Université Mohamed khider de Biskra, Algérie(2018)

[23]: Zohra Lahlouhi, « Etude expérimentale du rafraichissement de l’air par effet d’évaporation d’eau », mémoire de master, Université Mohamed khider de Biskra, Algérie (2018)

[24]: Renato Lazzarin, 27e note d’Information sur les technologies du froid-Institut International du Froid,pp.1-6,(janvier 2015)

Résumé

Le confort thermique des locaux (maisons, bureaux, locaux commerciaux, serres agricoles ...) nécessite le respect strict des consignes de température et d'hygrométrie. Pour cela, la mise en place d'une installation d'humidification contrôlée est indispensable.

Ce travail comporte une étude sur la technique de rafraîchissement de l'air par humidification basé sur le principe d'évaporation d'eau. Ce système permis de réduire la température de l'air tout en augmentant l'humidité relative grâce aux phénomènes de transfert de chaleur et de masse entre l'air et l'eau par contact direct. L'étude a été faite sur les paramètres de température, d'humidité relative. Les résultats obtenus montrent que l'état de confort du local s'est nettement amélioré après humidification on a enregistré (33°C jusqu'à 39°C) et (12% jusqu'à 20%) avant humidification et (17,2°C jusqu'à 19,2) et (100%) après humidification.

Mots clés

Air humide, conditionnement d'air, psychrométrie, rafraîchissement de l'air, Humidification, confort thermique.

Abstract

The thermal comfort of premises (houses, offices, commercial premises, agricultural greenhouses, etc.) requires strict compliance with temperature and hygrometry guidelines. For this, the installation of a controlled humidification system is essential.

This work includes a study on the technique of air cooling by humidification based on the principle of water evaporation. This system allows to reduce the air temperature while increasing the relative humidity thanks to the phenomena of heat and mass transfer between air and water by direct contact.

The study was made on the parameters of temperature, relative humidity. The results obtained show that the state of comfort of the room is clearly improved after humidification we recorded (33°C to 39°C) and (12% to 20%) before humidification and (17.2°C to 19.2) and (100%) after humidification.

Key words

Humid air, air conditioning, psychrometry, air cooling, humidification, thermal comfort.